

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
<b>Изучение микроструктуры керамических материалов, стабилизированных энтропией</b>
УДК: <u>666.3:544.322</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б71	Шэнь Юань		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дедова Е.С.	к.т.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Былкова Т.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Сечин А.И.	д.т.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Ваулина О.Ю.	к.т.н., доцент		

Томск – 2021 г.

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

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
<b>УК(У)-2</b>	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
<b>УК(У)-3</b>	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
<b>УК(У)-4</b>	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке (-ах)
<b>УК(У)-5</b>	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
<b>УК(У)-6</b>	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
<b>УК(У)-7</b>	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
<b>УК(У)-8</b>	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен использовать в профессиональной деятельности знания о подходах и методах получения результатов в теоретических и экспериментальных исследованиях

<b>ОПК(У)-3</b>	Готов применять фундаментальные математические, естественнонаучные и общеинженерные знания в профессиональной деятельности
<b>ОПК(У)-4</b>	Способен сочетать теорию и практику для решения инженерных задач
<b>ОПК(У)-5</b>	Способен применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов
<b>ПК(У)-2</b>	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
<b>ПК(У)-3</b>	Готов использовать методы моделирования при прогнозировании и оптимизации технологических процессов и свойств материалов, стандартизации и сертификации материалов и процессов
<b>ПК(У)-4</b>	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
<b>ПК(У)-5</b>	Готов выполнять комплексные исследования и испытания при изучении материалов и изделий, включая стандартные и сертификационные, процессов их производства, обработки и модификации
<b>ПК(У)-6</b>	Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро - и нано- структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями

<b>ПК(У)-7</b>	Способен выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов
<b>ПК(У)-8</b>	Готов исполнять основные требования делопроизводства применительно к записям и протоколам; оформлять проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с нормативными документами
<b>ПК(У)-9</b>	Готов участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки покрытий, материалов и изделий из них, систем управления технологическими процессами

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

\_\_\_\_\_  
 О.Ю.Ваулина  
 (Подпись)                      (Дата)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б71	Шэнь Юань

Тема работы:

Изучение микроструктуры керамических материалов, стабилизированных энтропией	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 57-52/с от 18.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объект исследования данной работы - (Zr, Hf, Nb, Ti)C. Готовится методом горячего прессования. Многокомпонентная керамика, полученная путем стабилизации энтропии, характеризуется высокой твердостью, износостойкостью и низкой диффузионной подвижностью компонентов, что значительно расширяет возможности
---------------------------------	---

	использования материалов из электронной и химической промышленности до крупномасштабного использования, например, в трибологическом соединении.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обзор литературы</li> <li>2. Материалы и методики исследования</li> <li>3. Результаты исследования</li> <li>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> <li>5. Социальная ответственность</li> <li>6. Заключение по работе</li> <li>7. Список литературы</li> </ol>
<b>Перечень графического материала</b>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<i>Финансовый менеджмент</i>	Былкова Татьяна Васильевна, доцент отделения социально-гуманитарных наук
<i>Социальная ответственность</i>	Сечин Александр Иванович, профессор, отделение 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
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
1. Обзор литературы (русский язык)	
2. Материалы и методики исследования (русский язык)	
3. Результаты проведенного исследования (русский язык)	
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение (русский язык)	
5. Социальная ответственность (русский язык)	

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

**Задание выдал руководитель**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения материаловедения	Дедова Е.С.	к.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б71	Шэнь Юань		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 98 с., 12 рис., 18 табл., 30 источника.

Ключевые слова: микроструктуры, керамические материалы, стабилизированные энтропии.

Объектом исследования является (Zr, Hf, Nb, Ti)C.

Цель работы- изучение изменения микроструктуры (Zr,Hf,Nb,Ti)C при повышении температуры.

В процессе исследования используются электронный микроскоп и рентгеноструктурный анализ.

Результатом исследования является то, что увеличение температуры горячего прессования приводит к изменению микроструктуры и фазового состояния керамической системы ZrC-HfC-NbC-TiC. Показано, что повышение температуры спекания с 1400 до 1900 оС приводит к уменьшению пористости керамики с 14 до 8 %, при этом средний размер пор изменяется незначительно. Установлено, что однофазный керамический твердый раствор замещения (Zr,Hf,Nb,Ti)C с ГЦК решеткой по типу NaCl формируется при температуре горячего прессования 1700 °С из эквимольной порошковой смеси ZrC-HfC-NbC-TiC. Образование керамики (Zr,Hf,Nb,Ti)C происходит через формирование более простых твердых растворов на основе карбидов переходных металлов. Параметр элементарной ячейки твердого раствора составил 0,4522 нм. Показано, что средний размер зерен керамики был равен  $2,7 \pm 0,1$  мкм. Распределение зерен по размерам носило бимодальный характер.



Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: полученные в ходе исследования результаты, могут быть использованы в разработке технологических рекомендаций для производства изделий из стабилизированной керамики конструкционного и функционального назначения.

Степень внедрения: результаты будут использованы для разработки стабилизированной керамики.

Область применения: данный материал может применяться в литий-ионные аккумуляторы, суперконденсаторы, катализ, охрана окружающей среды, диффузионные барьеры для приложений микроэлектроники, термоэлектрии, электронная керамика, теплоизоляторы, бисовместимые покрытия.

Экономическая эффективность/значимость работы: данный проект является только научной разработкой и началом исследования, то интегральный финансовый показатель разработки рассчитать не представляется возможным. В целом, данный проект является перспективным с точки зрения ресурсопотребления, так как в отличие от аналогов в проекте предусмотрены меньшие затраты на себестоимость будущей продукции за счет использования местных недорогих сырьевых материалов и возможное достижение требуемых физико-механических характеристик.

В будущем планируется изучить микроструктуру энтропийно стабилизированной керамики.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	11
1. Материалы, стабилизированные энтропией.....	14
1.1 Керамики, стабилизированные энтропией.....	14
1.2. Структурообразование материалов, стабилизированных энтропией.....	17
1.3. Способы получения стабилизированных керамических материалов.....	22
1.4. Структура и свойства стабилизированной керамики.....	30
2. Материалы и методики.....	37
3. Изучение микроструктуры керамических материалов, стабилизированных энтропией.....	38
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	47
5. Социальная ответственность.....	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	93
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	94

## ВВЕДЕНИЕ

На протяжении тысячелетий люди использовали такие металлы, как золото, серебро, медь, железо и олово, в качестве основных материалов для инструментов, утвари, оружия и аксессуаров. Однако характеристики чистых металлов часто не могут удовлетворить потребности производства. За почти сто лет после промышленной революции человечество разработало огромное количество систем сплавов, и технология обработки материалов быстро развивалась, что значительно повысило уровень жизни человечества.

Как мы все знаем, традиционные сплавы принимают металлический элемент в качестве основного элемента, делают его основным компонентом и на этой основе добавляют различные легирующие элементы для получения определенных специфических свойств. Теперь они широко используются человечеством, например ферросплавы, Алюминиевый сплав, магниевый сплав, титановый сплав и т. д. С развитием науки и техники потребности человека возросли, особенно стремление к освоению космоса и глубоководным морям. Люди предъявляют все более высокие требования к физико-механическим свойствам материалов. Традиционные сплавы и традиционные методы обработки трудно удовлетворить это требование. Сплавы сталкиваются с серьезными проблемами. Однако дизайнерские идеи традиционных систем сплавов основаны на одном или двух компонентах, и на их основе добавлено небольшое количество других элементов для улучшения его характеристик. Эта дизайнерская идея приводит к кристаллической структуре, физическим и механическим свойствам сплава. Все они

подвержены влиянию основных элементов, которые отрицательно сказываются на общих свойствах сплава. На основе этого мышления разрабатываются многокомпонентные сплавы.

В 2004 году тайваньский ученый Е Цзюньвэй предложил новую модель конструкции сплава, которая создала новую область исследований металлических материалов - многокомпонентных высокоэнтропийных сплавов. Этот режим проектирования ломает традиционную философию проектирования сплавов, то есть сплав больше не фокусируется на одном элементе, а использует несколько основных элементов в качестве основных компонентов. Высокоэнтропийные сплавы считаются одним из трех крупных достижений в теории легирования за последние десятилетия. Сплавы с высокой энтропией обычно содержат более 5 основных элементов, а атомная доля каждого основного элемента составляет от 5% до 35%. Его структура и свойства во многих отношениях отличаются от традиционных сплавов. Материалы, стабилизированные смешанной структурной энтропией, с большим периодом решетки, но неупорядоченным составом, вызывают большой научный и практический интерес благодаря своим уникальным характеристикам (включая высокую прочность, твердость, сверхпроводимость и т. д.) [1]. Первоначальная работа касалась высокоэнтропийных металлических сплавов [2, 3], но в 2015 году было доказано, что та же концепция может быть применена к керамике. Сегодня к категории керамики, стабилизированной энтропией, относятся оксиды, бориды, нитриды, карбиды и т. д.

Карбиды тугоплавких металлов привлекли широкое внимание благодаря своим превосходным физическим, химическим и механическим свойствам. Для повышения плотности и производительности при комнатной температуре, высокой температуре и сверхвысокой температуре были использованы различные технические процессы (включая горячее прессование и искровое плазменное спекание) для получения различных твердых растворов карбидов тугоплавких металлов [4]. Однако на сегодняшний день остаются открытыми вопросы о структуре и фазовых изменениях, происходящих в процессе получения этих материалов. Целью данной работы является изучение изменений микроструктуры карбидной керамической системы, происходящих в процессе высокотемпературной консолидации.

## **1. Материалы, стабилизированные энтропией**

### **1.1 Керамики, стабилизированные энтропией**

Сплавы с высокой энтропией состоят из 5 или более элементов, легированных в равном атомном соотношении или примерно равном атомном соотношении, и обычно образуют твердые сплавы с более высокой смешанной энтропией [5]. Согласно определению свободной энергии Гиббса, фаза с высокой энтропией имеет лучшую термодинамическую стабильность при высоких температурах. Кроме того, высокоэнтропийные сплавы обладают высокой прочностью, высокой твердостью, высокой ударной вязкостью, высокой износостойкостью, высокой стойкостью к окислению и высокой коррозионной стойкостью, а также другими превосходными свойствами, которые традиционные сплавы не могут иметь одновременно. Поэтому они являются наиболее популярными в область легирования материалов в последние годы - одна из трех исследовательских точек с потенциалом развития [6].

В последние годы концепция высокой энтропии также применялась для получения высокоэнтропийной керамики, такой как оксидная, карбидная, боридная и силицидная керамика. Поскольку карбидная керамика обычно имеет сверхвысокие температуры плавления и твердость, исследования высокоэнтропийных карбидов также привлекли особое внимание. В настоящее время сырьем для высокоэнтропийных карбидов является в основном TiC, NbC, TaC, ZrC и HfC. С одной стороны, потому что все эти 5 видов карбидов представляют собой кубические кристаллические структуры

каменной соли, и многие двойные и тройные карбидные системы (такие как HfC, TaC), использующие эти 5 видов карбидов в качестве сырья, являются однофазными твердыми растворами [7]; с другой стороны, эти 5 видов карбидов также удовлетворяют необходимому условию, что параметр разности атомных радиусов  $\alpha$  не превышает 6,6% [8]. Elnor и др. [9] приготовили керамику (Hf, Ta, Zr, Ti)C и (Hf, Ta, Zr, Nb)C, используя процесс искрового плазменного спекания, и полагали, что несоответствие решеток между карбидными компонентами может быть сформировано. -фазный твердый раствор. В то же время твердость четвертичного высокоэнтропийного карбида значительно выше, чем твердость материала, рассчитанная по закону смешения композиционных материалов. Позже Ян и др. [10] изучили микроструктуру сверхвысокотемпературной керамики (Hf, Ta, Zr, Nb)C, и результаты показали, что высокоэнтропийный карбид имеет кристаллическую структуру типа NaCl с однородным составом, а кристаллы зерна находятся на микроскопическом и атомном масштабах, сегрегация компонентов отсутствует. Что касается эксплуатационных характеристик, в дополнение к механическим свойствам высокоэнтропийной карбидной керамики, выдерживаемым при комнатной температуре, проводится все больше и больше исследований ее характеристик в различных специальных средах, таких как прочность на изгиб при высоких температурах, поведение при высокотемпературном окислении и переход хрупкой пластичности. под высоким давлением [11].

Материалы с высокой энтропией обладают превосходными свойствами и функциями. Сочетание теоретических предсказаний и экспериментов является эффективным методом разработки материалов с высокой энтропией. Стефано Куртароло из Университета Дьюка в США и Кеннет С. команда Vecchio работала вместе, чтобы предложить критерий образования энтропии, который теоретически предсказывает, могут ли быть получены высокоэнтропийные карбидные материалы, а эксперименты подтвердили применимость критерия, который обеспечивает более широкое пространство для выбора состава высокоэнтропийных карбидов [12]. YE и др. [13] подготовили высокоэнтропийную керамику  $(\text{Zr}_{0,25}\text{N}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{V}_{0,25})\text{C}$  с использованием технологии спекания в вакууме горячим прессом при 2100 °C. Материал обладает превосходными механическими свойствами. Вей и др. [14] использовали  $(\text{Ti}_{0,2}\text{Zr}_{0,2}\text{Nb}_{0,2}\text{Ta}_{0,2}\text{W}_{0,2})\text{C}$  в качестве целевого компонента и попытались получить высокоэнтропийную карбидную керамику с различным сырьем (металл и углерод, оксид и углерод, карбид). Результаты показали, что характеристика фаз XRD (X-ray diffraction-XRD) в основном такая же, но его микроструктура и элемент распределение другое. Основываясь на получении высокоэнтропийной керамики, некоторые ученые также сместили направление исследований в сторону получения порошков высокоэнтропийных карбидов [15].



## 1.2. Структурообразование материалов, стабилизированных энтропией

Традиционный взгляд на разработку сплавов полагает, что слишком большое количество легирующих элементов приведет к образованию различных интерметаллических соединений и даже хрупких сложных фаз, которые не только ухудшают свойства сплава, но также затрудняют анализ материалов и лишают практичности.

Однако высокоэнтропийные сплавы имеют тенденцию образовывать неупорядоченные твердые растворы или частично упорядоченные твердые растворы со структурами ГЦК, ОЦК или ГПУ, а не многие интерметаллические соединения. Некоторые даже выглядят аморфной фазой. Тонг и др. [16] обнаружили в полученном высокоэнтропийном сплаве  $AlXCoCrCuFeNi$  при изменении содержания Al, когда  $x = 0, 0,3$  и  $0,5$ , сплав имеет структуру ГЦК: когда  $x$  достигает  $0,8$ , структура ОЦК начинает изменяться. появляются в сплаве: когда  $x$  больше  $2,8$ , сплав имеет единственную ОЦК-структуру. Сенков и др. [17] обнаружили, что высокоэнтропийные сплавы  $TaNbHfZrTi$ ,  $Nb_{25}Mo_{25}Ta_{25}W_{25}$  и  $V_{20}Nb_{20}Mo_{20}Ta_{20}W_{20}$  имеют единую ОЦК структуру. ВСС и упорядоченный ВСС сосуществуют в высокоэнтропийных сплавах [18], а ОЦК и упорядоченный ОЦК сосуществуют. Чен и др. [19] обнаружили, что дендритная фаза сплава  $Cu_{0,5}NiAlCoCrFeSi$  представляет собой аморфную фазу и небольшое количество ОЦК-структуры, а междендритная фаза представляет собой аморфную фазу и фазу наноразмеров.

При исследовании высокоэнтропийной керамики четвертичные карбиды обычно используются как упрощенная версия высокоэнтропийной керамики с пятью элементами и выше, что может облегчить изучение микроструктуры и механизма характеристик. При исследовании однофазного процесса образования твердого раствора высокоэнтропийной керамики было обнаружено, что процесс твердого раствора включает самосплавление С и самосплавление металла. Самосплавление С требует только миграции энергии, и самосплавление металла может происходить только в ближайшем соседе. Происходит, когда образуются металлические вакансии, поэтому требуются как энергия образования вакансии, так и энергия миграции. Обычно в карбидах измеренный коэффициент самосплавления С часто составляет несколько порядков. на величину выше, чем коэффициент самосплавления металла [20], поэтому коэффициент самосплавления металлического компонента скорость плавления и скорость взаимного плавления будут основными ограничивающими факторами для образования полностью смешанной фазы высокоэнтропийного карбида. В таблице 1 показано значение энергии образования вакансии металла в карбиде, рассчитанное Ю. и др. [21] с использованием теории функционала плотности электронной структуры. Результаты показывают, что Та имеет самую низкую энергию образования вакансии, за ней следуют Nb, Ti, Hf и Zr имеет наименьшую энергию образования вакансий, она должна быть в 2–3 раза выше. Элинон и др. [9] обнаружили, что компонент (Hf-Ta-Zr-Nb)C легче образовать однофазный твердый раствор, чем компонент (Hf-Ta-Zr-Nb)C, путем

сравнительного исследования. По результатам испытаний и параметрам решетки, атомному радиусу и температуре плавления металла, а также предыдущему опыту исследований [7] была отсортирована взаимная диффузионная способность нескольких переходных металлов, и результат был  $Ta < Zr < Hf < Nb < Ti$ . Эти исследования внесли большой вклад в изучение процесса однофазного твердого раствора. В настоящее время синтез однофазного твердого раствора обычно осуществляется в жидкой фазе, поскольку энергия активации диффузии в расплавленном карбиде намного меньше, чем энергия активации в твердом состоянии. При достижении точки плавления будет образовываться твердый раствор [9].

Таблица 1 - Некоторые физические свойства тугоплавких металлических элементов и их карбидов

Элемент	Атомный радиус / $\times 10^{-10}$ м	Постоянная решетки карбида / $\times 10^{-10}$ м	Точка плавления карбида / °С	Энергия образования вакансии в карбиде / эВ
Hf	1,564	4,637	3959	9,3
Ta	1,430	4,452	3768	3,5
Zr	1,590	4,692	3427	9,4
Nb	1,448	4,470	3600	4,1
Ti	1,429	4,326	3027	8,6

В статье « $(Hf_{0,2}Zr_{0,2}Ta_{0,2}Nb_{0,2}Ti_{0,2})C$  высокоэнтропийная керамика с низкой теплопроводностью» [22] описан новый тип высокоэнтропийного карбида металла  $(Hf_{0,2}Zr_{0,2}Ta_{0,2}Nb_{0,2}Ti_{0,2})C$ . XRD использовался для характеристики кристаллической структуры и фазового состава, показывая

однофазную структуру каменной соли (пространственная группа  $Fm\bar{3}m$ ), где пять металлических элементов (Hf, Zr, Ta, Nb и Ti) могут иметь общие катионные позиции, в то время как элемент С занимает анионные сайты. Высокоэнтропийная фаза  $(Hf_{0,2}Zr_{0,2}Ta_{0,2}Nb_{0,2}Ti_{0,2})C$  имеет термическую стабильность не менее при 1140 °С в атмосфере аргона. Теплопроводность и коэффициент диффузии  $(Hf_{0,2}Zr_{0,2}Ta_{0,2}Nb_{0,2}Ti_{0,2})C$  низкие, намного ниже, чем у пяти двойных карбидов HfC, ZrC, TaC, NbC и TiC. Низкая теплопроводность может быть вызвана массивным рассеянием фононов на искаженной анионной подрешетке. Модуль упругости и твердость  $(Hf_{0,2}Zr_{0,2}Ta_{0,2}Nb_{0,2}Ti_{0,2})C$  сравнимы с таковыми для пяти двойных карбидов, что можно отнести к прочной ковалентной связи металл-углерод.

В статье «Микроструктура высокоэнтропийного карбида (Hf-Ta-Zr-Nb) С на микро- и нано / атомном уровне» [10] высокоэнтропийная сверхвысокотемпературная керамика (Ultra High Temperature Ceramics – УНТС) (Hf-Ta-Zr-Nb) С с плотностью 99% была приготовлена шаровая мельница и плазменное спекание (Spark Plasma Sintering - SPS). Для изучения характеристик микроструктуры использовались дифракция рентгеновских лучей (XRD), сканирующая электронная микроскопия (Scanning Electron Microscopy - SEM) в сочетании с дифракцией обратного рассеяния электронов (Electron Back-Scattered Diffraction - EBSD) и просвечивающая электронная микроскопия (Transmission Electron Microscope - TEM). Сканирующая просвечивающая электронная микроскопия (Scanning Transmission Electron Microscope STEM) в сочетании с энергодисперсионной рентгеновской

спектроскопией (Energy Disperse Spectroscopy - EDS) использовалась для определения атомной структуры и локальных химических аномалий. В соответствии с этим результатом был успешно получен высокочистый, плотный и однородный высокоэнтропийный карбид с кристаллической структурой Fm-3m. Размер кристаллического зерна составляет примерно от 5 мкм до 25 мкм, а средний размер кристаллического зерна составляет 12 мкм. Химический анализ показал, что все кристаллические зерна имеют одинаковый химический состав на микроскопическом и нанометровом / атомном уровнях без какой-либо заметной сегрегации. Тонкая аморфная граничная фаза размером около 1,5 нм содержит примеси, которые поступают из исходного порошка и процесса шаровой мельницы.

### 1.3. Способы получения стабилизированных керамических материалов

Современные керамические материалы состоят из ионных или ковалентных связей, поэтому они обладают такими превосходными свойствами, как высокая прочность, высокая твердость, высокая термостойкость, износостойкость, коррозионная стойкость и хорошая биосовместимость. Однако от керамического порошка до поликристаллического керамического материала с особыми свойствами требуется высокотемпературный процесс спекания, поскольку зеленое тело после образования керамического порошка содержит большое количество пор. По существу, спекание - это диффузия и массоперенос порошка для уплотнения. Процесс изготовления керамических материалов имеет однородную микроструктуру, стабильную форму и отличные эксплуатационные характеристики. В процессе приготовления современной керамики спекание является наиболее важным звеном. Во время процесса спекания снижение температуры спекания, сокращение времени спекания, измельчение зерен и удаление остаточных пор являются ключами к получению высокоэффективных керамических материалов. Традиционное спекание выполняется под действием внешнего нагревающего поля и нормального давления или механического давления, но эти методы имеют ограничения для спекания определенных систем материалов. За последние 20 лет отечественные и зарубежные ученые разработали множество новых процессов, способных значительно улучшить спекание керамических материалов. Например, искровое плазменное спекание (SPS), flash sintering

process (FS), cold sintering process (CS) и oscillating pressure sintering (OPS) и т. д. Создание этих новых технологий спекания открыло новые методы для приготовления высокоэффективных керамических материалов и обогащенных керамических материалов..

Первый метод - искровое плазменное спекание (Spark Plasma Sintering - SPS). Технология SPS - это новый тип технологии быстрого спекания, получивший широкое внимание и исследования в академических кругах. Рисунок 1 является принципиальной схемой его принципа работы [23]. Технология SPS позволила ввести импульсный ток постоянного тока в процесс спекания. Индентор также действует как носитель для прохождения тока при приложении давления к материалу, что отличается от традиционной технологии спекания, в которой обычно используется радиационный нагрев нагревательного элемента. Технология SPS нагревает материал за счет теплового воздействия большого тока, проходящего через форму или проводящий образец. Для изолирующих образцов в качестве материала формы обычно используется графит с хорошей проводимостью, а для быстрого нагревания образца используется тепло сопротивления образца. Для проводящих образцов можно использовать изолирующую форму для нагревания тока непосредственно через образец. Скорость нагрева может достигать 1000 °C/мин. Когда температура образца достигает заданного значения, спекание может быть завершено после короткого времени сохранения тепла. Технология SPS обладает выдающимися преимуществами: низкая температура спекания, короткое время выдержки, высокая скорость

нагрева, регулируемое давление спекания и многополюсная связь (электрическая сила-нагрев). В дополнение к обычной керамике, такой как  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{ZrO}_2$ , технология SPS также может быть использована для приготовления многих трудно спекаемых материалов, таких как  $\text{ZrB}_2$ ,  $\text{HfB}_2$ ,  $\text{ZrC}$ ,  $\text{TiN}$  и других высокотемпературных керамик и тугоплавких металлов и сплавов, таких как W, Re, Ta, Mo. С помощью специально разработанной формы, такой как ступенчатая форма, для изменения плотности тока, протекающего через форму, в образце может быть искусственно создан температурный градиент. Следовательно, технология SPS также может быть использована для подготовки функционально классифицированных материалов. Кроме того, функциональные материалы, такие как нанокристаллическая прозрачная керамика и диэлектрическая керамика, также могут быть спечены с использованием технологии SPS.

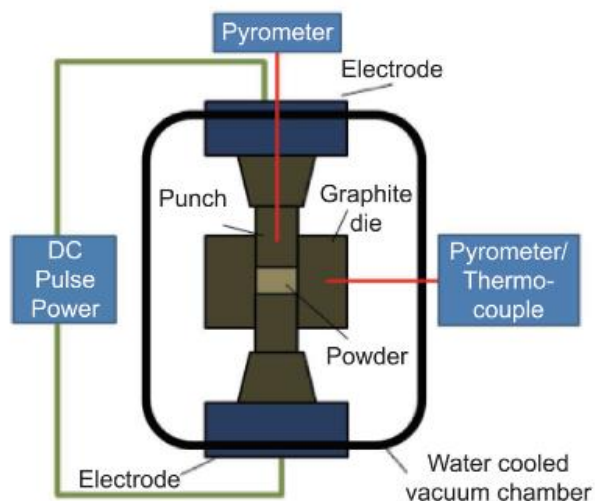


Рисунок 1 - Принципиальная схема принципа работы оборудования SPS

Второй метод - flash sintering process - FS. Технология FS была впервые опубликована Колоной и др. [24] в Университете Колорадо в 2010 году, и она



возникла в результате исследования технологии спекания с помощью электрического поля. На рисунке 2а показана принципиальная схема типичного устройства FS. Спекаемое керамическое зеленое тело выполнено в форме кости, и оба конца подвешены в модифицированном корпусе печи с помощью платиновых проволок, и к материалу приложено определенное электрическое поле постоянного или переменного тока. Термопара используется для измерения температуры, а внизу расположена ПЗС-камера для записи размера образца в режиме реального времени. Взяв в качестве примера 3YSZ, исследователи обнаружили, что по сравнению с традиционным спеканием, если напряженность электрического поля постоянного тока 20 В / см прикладывают к корпусу печи с постоянной температурой, скорость спекания может быть увеличена до некоторой степени, а потребность в спекании может быть уменьшена. Температура печи показана на рисунке 2б. При увеличении напряженности поля температура печи, необходимая для спекания, продолжает снижаться. Когда напряженность поля составляет 60 В / см, образец мгновенно уплотняется, когда температура печи возрастает примерно до 1025°C. Когда напряженность поля увеличивается до 120 В/см, температуру в печи для спекания можно даже снизить до 850°C. Эта новая технология спекания называется «мгновенным обжигом», то есть новым типом спекания, который реализует низкотемпературное и чрезвычайно быстрое спекание материалов при определенной температуре и электрическом поле технологии. Обычно существуют следующие три явления, которые будут сопровождать FS: (1) тепловое убегание внутри материала, (2) внезапное

падение удельного сопротивления самого материала, (3) явление сильного мигания. FS в основном имеет следующие преимущества: сокращение времени спекания и снижение температуры печи, необходимой для спекания [25], ингибирование роста зерен [26], возможность неравновесного спекания [27], простое оборудование и низкая стоимость.

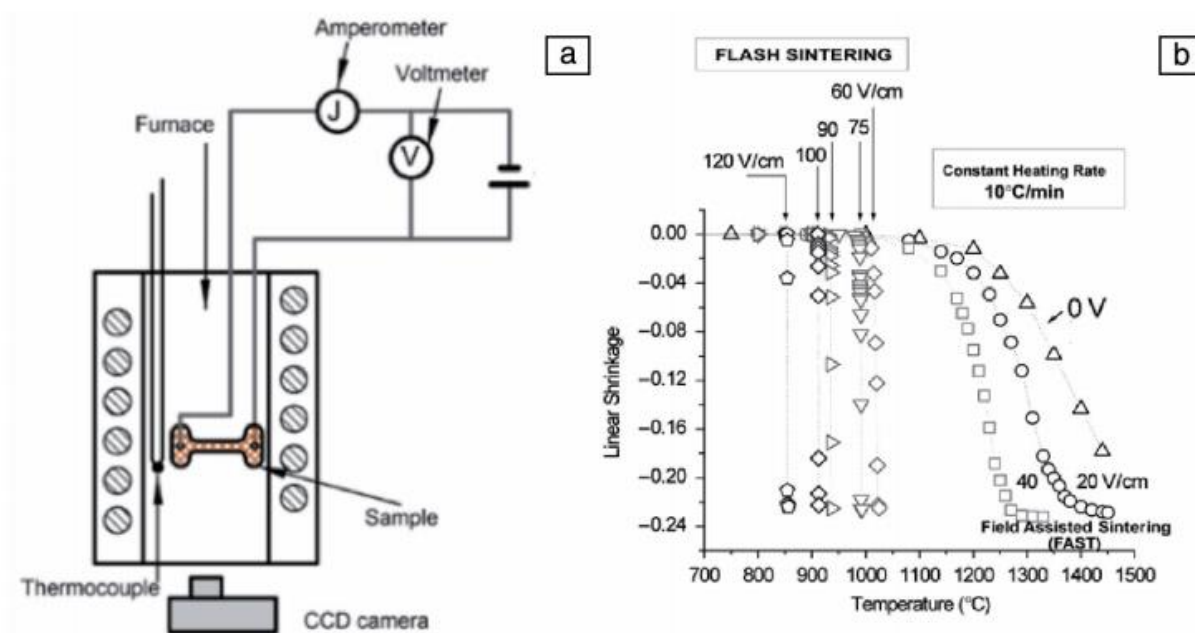


Рисунок 2 - Принципиальная схема устройства FS (a) Влияние электрического поля постоянного тока на скорость спекания 3YSZ (b)

Третий метод - cold sintering process-CS. Чтобы плотность керамического материала достигала более 95% от его теоретической плотности, температура спекания керамического материала должна достигать 50-75% его температуры плавления. Поэтому температура спекания большинства керамических материалов превышает 1000°C, что заставляет процесс производства керамических материалов потреблять больше энергии, а высокотемпературное спекание делает керамические материалы ограниченными с точки зрения синтеза материала и фазовой стабильности.

Чтобы снизить температуру уплотнения при спекании керамических порошков, применяют жидкофазное спекание, полевое спекание, FS и другие новые технологии спекания, но из-за диффузии в твердой фазе и образования жидкой фазы все еще требуется более высокая температура нагрева керамических порошков. Вышеуказанная технология не снижает температуру спекания до «низкотемпературной категории». Недавно группа Рэндал из Университета штата Пенсильвания была вдохновлена процессом горячего прессования с гидротермальной поддержкой и предложила новую технологию «керамического процесса CS». Процесс высокотемпературного спекания отличается процесс керамического CS увеличивает перегруппировку и диффузию между частицами путем добавления к порошку мгновенного растворителя и приложения большого давления (350-500 МПа), так что керамический порошок находится при более низкой температуре (120 ~ 300°C) и более короткое время для достижения спекания и уплотнения, создавая возможность низкотемпературного спекания для получения высокопроизводительной конструкционной керамики и функциональной керамики.

Четвертый метод-oscillating pressure sintering-OPS. Существующие различные технологии спекания под давлением используют статическое постоянное давление. Введение статического давления во время процесса спекания помогает устранить поры и увеличить плотность керамики, но полностью совместить ионные и ковалентные связи в специальной керамике сложно. Воздушные дыры внутри материала устраняются. По-прежнему

существуют определенные ограничения для желаемых материалов сверхвысокой прочности, высокой вязкости, высокой твердости и высокой надежности. Основные причины ограничений спекания под статическим давлением высокого давления отражены в следующих трех аспектах: (1) Перед спеканием и спеканием на ранней стадии постоянное давление не могло заставить порошок в форме полностью реализовать перегруппировку частиц для получения высокой объемной плотности. (2) На средней и поздней стадиях спекания пластическая текучесть и удаление агломератов все еще подчиняются определенным ограничениям, и трудно добиться полного равномерного уплотнения материала. (3) На более поздней стадии спекания трудно полностью устранить остаточные поры при постоянном давлении. По этой причине предлагается новая конструктивная идея введения динамического колебательного давления для замены существующего постоянного статического давления в процессе спекания порошка. Первый, кто разработал технологию и оборудование OPS, его основной принцип заключается в наложении колебательного давления с регулируемой частотой и амплитудой под действием относительно большого постоянного давления для изменения «мертвой силы», применяемой при традиционном спекании, на «Жизнеспособность», устройство сопряжения с колеблющимся давлением и принципиальная схема показаны на рисунке 3.

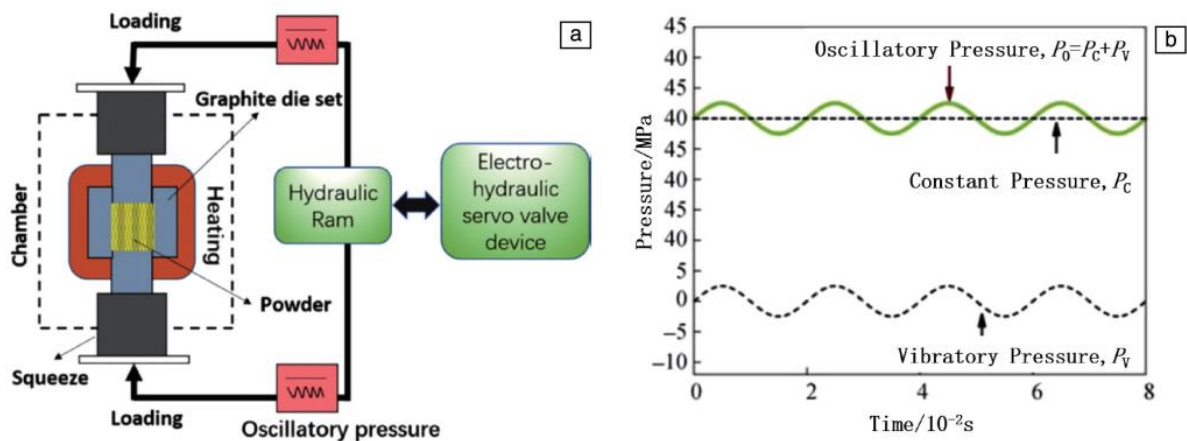


Рисунок 3 - Устройство муфты колебательного давления (а) и принципиальная схема (b)

#### 1.4. Структура и свойства стабилизированной керамики

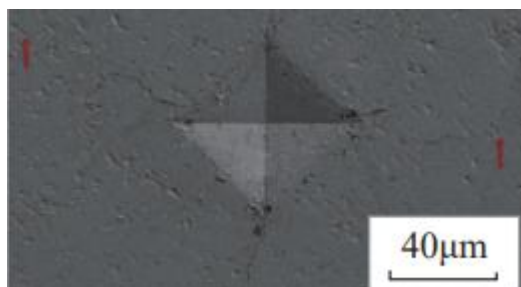
Характеристики четвертичной карбидной керамики значительно улучшены по сравнению с однокомпонентными карбидами. Элинон и др. [9] обнаружили, что (Hf-Ta-Zr-Nb)C легче образовывать однофазный твердый раствор. После дальнейшей оптимизации процесса он успешно разработал высокочистый, плотный и высокоэнтропийный карбид с плотностью до до 99%, твердость и др. Твердость и другие однокомпонентные и бинарные соединения, а также твердость, рассчитанная в соответствии с правилом смеси, показаны в таблице 2 [9], и система может быть найдена. Модуль вдавливания достиг 598 ГПа, что на 30% выше, чем значение, предсказанное соответствующим расчетом правила смешивания, и эффект хороший. Затем Dusza и др. [10] дополнительно изучили его микроструктуру на микрометровом и нанометровом / атомном уровнях и обнаружили, что, за исключением небольшого количества примесей на границе зерен, его состав хорошо однороден на микро- и наноразмерном уровне, и все зерна имеют одинаковый химический состав. Состав, диапазон гранулометрического состава составляет 5-25 мкм, а средний размер зерна составляет 12 мкм. Это высокочистая, плотная и однородная высокоэнтропийная карбидная керамика с кристаллической структурой каменной соли.

Таблица 2 - Значения модуля вдавливания и твердости для исследованных моно-, бинарных и высокоэнтропийных карбидов переходных металлов

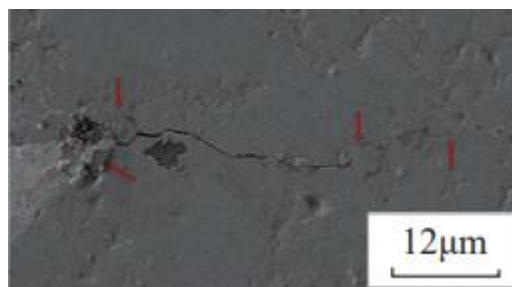
Материал	модуль упругости	Твердость
HfC	552±15	31,5±1,3
TaC	579±20	20,6±1,2
ZrC	507±16	31,3±1,4
NbC	585±23	27,1±1,7
(Hf,Ta)C	559±18	32,9±1,8
(Hf,Ta,Zr,Nb)C	598±15	36,1±1,6

Чтобы изучить механизм улучшения характеристик четвертичных карбидов, Йе и др. [13] в сочетании со средствами компьютерного моделирования изучили характеристики высокоэнтропийной керамики  $(Zr_{0,25}Nb_{0,25}Ti_{0,25}V_{0,25})C$  и смогли использовать Технология спекания горячим прессованием. После приготовления однофазного ГЭЦ с относительной плотностью 95,1% и однородным составом от микромасштаба до наномасштаба в структуре были обнаружены некоторые интересные структуры, похожие на нанолит. наблюдали, что когда трещины распространяются на эти нанопласты размером 2-5 мкм, в это время происходит прогиб, увеличивая путь распространения и сопротивление микротрещин. Как показано на рисунках 4 (а) и (б), морфология трещин Изучено, и обнаружено, что трещина имеет зубчатую форму с типичными трансгранулярными характеристиками трещины. Существует большое количество неровностей неправильной формы, выходящих из трещины. Размер этих нанолитов соответствует размерам листовых кристаллических зерен, а состав соответствует с окружающим материалом матрицы. Предполагается, что образование происходит из-за высокой энтальпии смешения матрицы и легкости образования твердого раствора. Разделение фаз

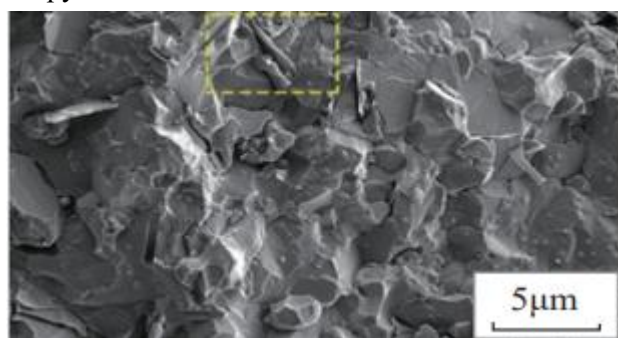
способствует образованию нанопластинок на месте, обеспечивает механизм упрочнения с отрывом, и улучшает ударную вязкость материала, как показано на рисунках 4 (в) и (г).



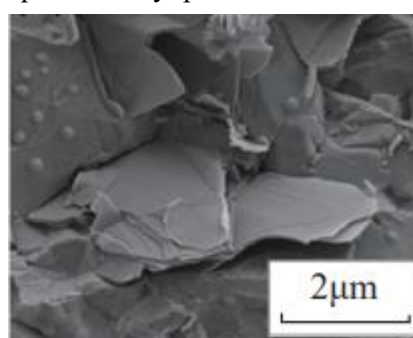
(а) СЭМ-изображение отпечатка Виккерса на хорошо отполированной поверхности, нагрузка 49 Н



(б) Сильно увеличенное изображение (а) показывает наличие механизма прогиба трещины и упрочнения.



(в) СЭМ-изображение топографии перелома



(г) Большое увеличение (в) показывает существование механизма упрочнения при вытягивании нанопластинок.

#### Рисунок 4 - СЭМ-характеристика $(\text{Zr}_{0,25}\text{Nb}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{V}_{0,25})\text{C}$

В настоящее время обнаружено, что особые свойства высокоэнтропийных карбидов включают твердость и модуль упругости, превышающие среднее значение каждого компонента, и более низкую теплопроводность, чем все компоненты. Саркер и др. [12] измерили модуль упругости и твердость шести различных высокоэнтропийных карбидов, которые все превышают среднее значение каждого компонента, что может быть связано с беспорядком кристаллической решетки. Идеальным, упорядоченным считается дислокационный волновод, подверженный



однородному сопротивлению, а распространение дислокации не подвержено никакому отражению или дисперсии. Неупорядоченная кристаллическая решетка изменяет это явление. Неравномерное сопротивление растяжению дислокации вызывает отражение и дисперсию энергии. Макроскопический вид состоит в том, что пластическая деформация, создаваемая дислокацией, сопротивляется. Кроме того, другой важной причиной может быть упрочнение твердого раствора, то есть искажение решетки препятствует движению дислокаций или изменяет их систему скольжения. Аналогичные результаты имеют и эксперименты Харрингтона и др., которые считают, что улучшение механических свойств высокоэнтропийной карбидной керамики связано не только с упрочнением твердого раствора, но и с механизмом механики деформации, на который влияет сложная электронная структура твердого раствора. Кроме того, улучшение механических свойств твердого раствора, по-видимому, связано только с высокой энтропией, а энтропийная стабильность не требуется.

Ян и др. [24] обнаружили, что теплопроводность керамики  $(\text{Ti}_{0,2}\text{Zr}_{0,2}\text{Nb}_{0,2}\text{Hf}_{0,2}\text{Ta}_{0,2})\text{C}$  намного ниже, чем среднее значение пяти однокомпонентных карбидов, и близка к теплопроводности самого низкого уровня NbC. фаза. Фононы вносят большой вклад в теплопроводность карбидов. В случае полного порядка катионы и анионы занимают каждый набор ГЦК-подрешеток. В высокоэнтропийной системе пять катионов будут иметь наименьшую степень беспорядка. метод случайным образом занимает подрешетку ГЦК, и анион будет использовать искажение подрешетки, чтобы

облегчить координацию и искажение заряда, вызванное катионом, что вызовет рассеяние фононов и уменьшит теплопередачу фонона. Вклад, тем самым снижение теплопроводности. Вдохновленная низкой теплопроводностью высокоэнтропийной керамики, команда Чжоу Яньчуня [28] превратила высокоэнтропийные карбиды в пористые материалы с пористостью до 80,99%, в то время как теплопроводность составляла всего 1/20 от теплопроводности плотной керамики, и это было стабильно до 1850 °С. Он очень подходит для использования в качестве легкого сверхвысокотемпературного термозащитного материала.

В статье «Характеристики высокотемпературной и наружной прочности тройного стабилизированного карбида, консолидированного посредством искрового плазменного спекания TaC ZrC и NbC» [29], была получена однофазная керамика Hf-Ta-Zr-Nb-C и Hf-Ta-Zr-Ti-C с повышенной нанотвердостью. В этом исследовании было изучено поведение карбидных систем TaC-ZrC-NbC при высоких температурах. Тройной однофазный стабилизированный карбид TaZrNb был получен плазменным спеканием при температуре 1920 °С. Прочность по изгибу карбида TaZrNb показала пик его прочности при 1600 °С до  $496 \pm 44$  МПа. Выше этой температуры карбидная фаза разрушалась и сопровождалась снижением прочности и модуля упругости. Несмотря на вклад пластичности в разрушение, для образца, разрушенного при температуре 1800 °С, наблюдалось значительное количество микротрещин.

Из статьи «Низкотемпературное спекание однофазной, стабилизированной карбидной керамики» [30], что исследования уплотнения с использованием коммерчески доступных карбидных порошков (например, одноатомного HfC, ZrC и т. д.) требуют более высоких температур спекания, приводят к значительному росту зерен и появлению примесных оксидных фаз в конечной керамике. Поэтому в этой работе порошок смешанного карбида был синтезирован для получения плотной  $(\text{Hf}_{0,2}\text{Zr}_{0,2}\text{Ti}_{0,2}\text{Ta}_{0,2}\text{Nb}_{0,2})\text{C}$  керамики, имеющей небольшой размер зерна (около 1 мкм) при низкой температуре. Высокоплотная стабилизированная керамика  $(\text{Hf,Zr,Ti,Ta,Nb})\text{C}$  получена методом ГП при температуры как низко 1850 °C с использованием порошков полученных процессами НЕВМ (высокоэнергетическое шаровое фрезерование) и СТР (карботермическое восстановление). Исходная относительная плотность повышалась от 95% до 99,3%, после спекания при температурах 1750 и 1900 °C. Плотная керамика имеет размер зерна от 0,6 до 1,2 мкм. Низкотемпературное уплотнение керамики  $(\text{Hf,Zr,Ti,Ta,Nb})\text{C}$  было достигнуто в этой работе, поскольку средний размер частиц карбидного порошка, полученного с использованием процесса НЕВМ-СТР, составлял около 100 нм, а содержание кислорода 0,8 вес % увеличивается с температурой спекания от 1750 °C до 1900 °C, модуль Юнга увеличивается с 405 ГПа до 452 ГПа, твердость по Виккерсу увеличивается с  $23,7 \pm 0,3$  ГПа до  $24,8 \pm 0,8$  ГПа. Керамика  $(\text{Hf,Zr,Ti,Ta,Nb})\text{C}$  имеет более высокую твердость по Виккерсу, чем карбидная керамика из-за влияния твердого раствора. Это исследование демонстрирует надежный процесс получения плотных НЕСС (однофазный

стабилизированный цементированный карбид) с мелким размером зерна и отличной производительностью.

## 2. Материалы и методики

В качестве исходных компонент для получения керамических материалов (Zr,Hf,Nb,Ti)C использовали порошки карбидов гафния, ниобия, титана и циркония в эквимолярном соотношении компонентов. Приготовление порошковых смесей с их одновременной активацией производилось в планетарной мельнице-активаторе типа АГО в среде аргона в течение 3 минут. Образцы керамики были получены горячим прессованием порошковых смесей при температурах 1400 - 1900 °С в атмосфере аргона.

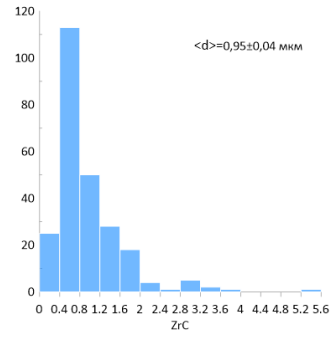
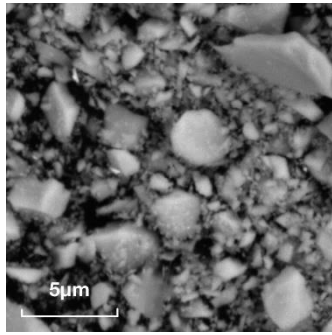
Фазовый состав керамических материалов анализировался с помощью дифрактометра с CuK $\alpha$  излучением в угловом диапазоне 20 – 80 градусов с шагом 0,05 град. и экспозицией 5 сек. Идентификация фазового анализа проводилась с помощью программного обеспечения Match!

Микроскопические исследования проводились на сканирующем электронном микроскопе Vega Tescan.

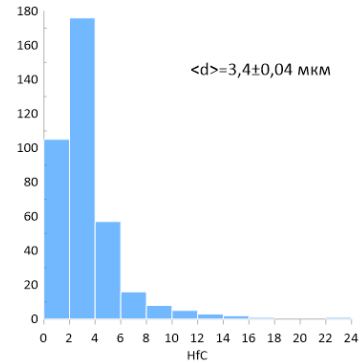
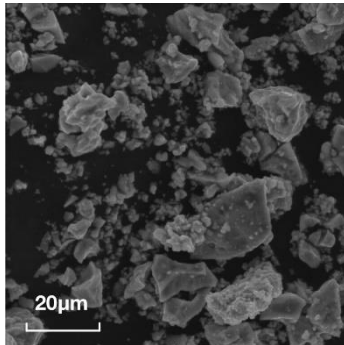
Оценка пористость образцов, средних размеров частиц порошков и пор осуществлялась методом случайных секущих по микрофотографиям.

### **3. Изучение микроструктуры керамических материалов, стабилизированных энтропией**

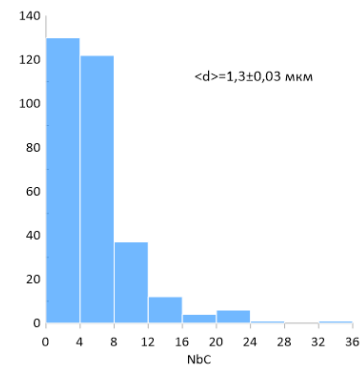
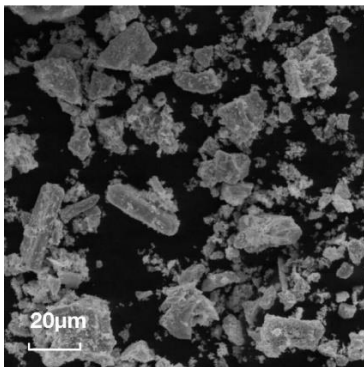
На рисунке 5 приведены изображения исходных порошков и распределение частиц по размерам. Порошок карбида циркония был представлен частицами нерегулярной формы, средний размер которых составил  $0,95 \pm 0,04$  мкм, рис. 5 (а). Морфология порошка карбида гафния представлена частицами осколочной формы, средний размер которых был равен  $3,4 \pm 0,13$  мкм, рис. 5 (б). Средний размер частиц NbC составил  $1,3 \pm 0,03$  мкм, рис. 5 (в). Порошок карбида титана представлен полиэдрическими частицами, средний размер которых составил  $6,8 \pm 0,13$  мкм, рис. 5 (г). Распределение частиц по размерам исследуемых порошков носило унимодальный характер.



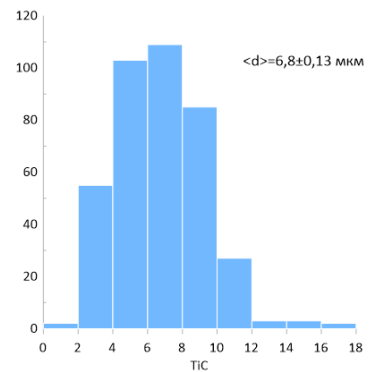
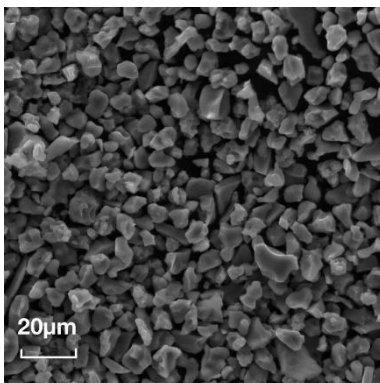
a) ZrC



б) HfC



в) NbC



г) TiC

Рисунок 5 – Изображения частиц керамических порошков и их распределение по размерам

Увеличение температуры горячего прессования с 1400 до 1900 °С привело к изменению микроструктуры керамической системы ZrC-HfC-NbC-TiC, рисунок 6. Видно, что структура керамики, полученной при температуре 1400 °С неоднородна, на полированной поверхности материала хорошо различимы границы фаз, рис.6 (а). Дальнейшее повышение температуры спекания керамики привело к изменению ее микроструктуры. Так, структура керамических материалов, полученных при температуре 1700 °С, однородна, на поверхности присутствует случайная пористость, рисунок 6 (г).

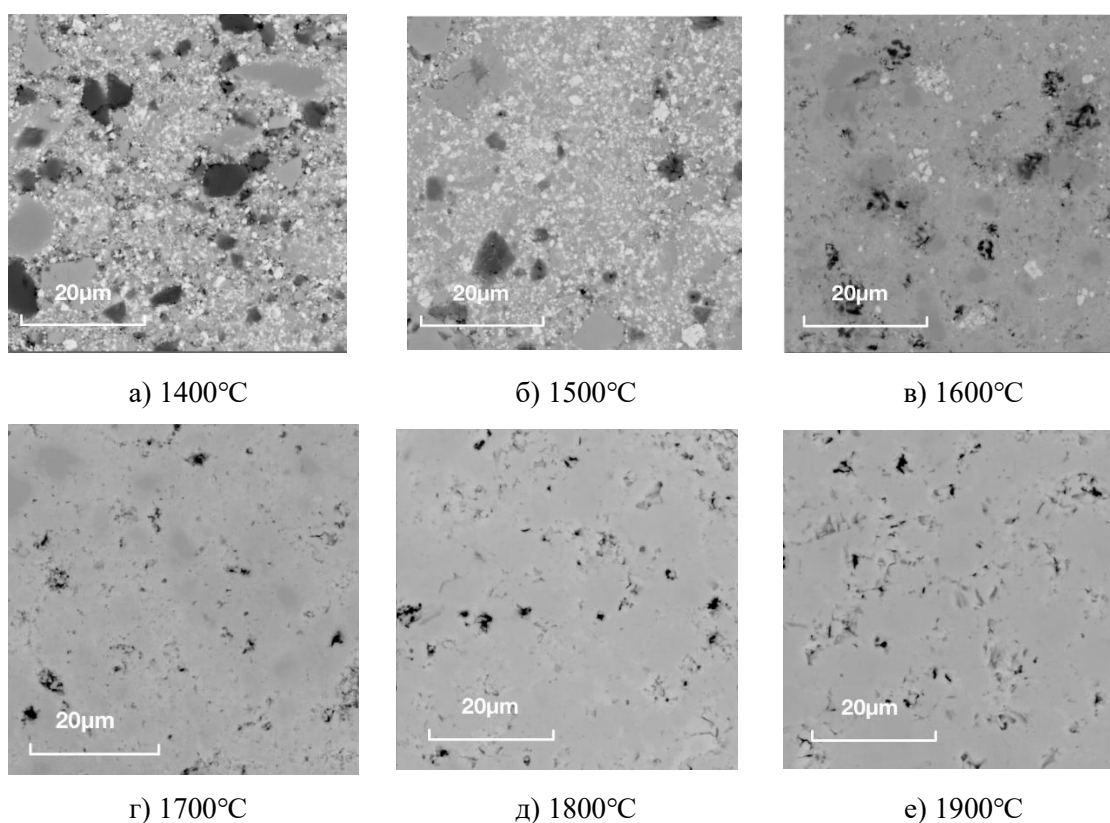


Рисунок 6 – Микроструктура керамической системы ZrC-HfC-NbC-TiC, полученной при разных температурах горячего прессования (x5000)

На рисунке 7 приведена зависимость изменения пористости керамической системы ZrC-HfC-NbC-TiC от температуры спекания. Видно, что увеличение температуры горячего прессования привело к уменьшению



пористости с 14 % до 8 % при повышении температуры спекания с 1400 до 1900 °С. При этом средний размер пор изменялся незначительно по мере роста температуры спекания, рисунок 8. Так, средний размер пор системы ZrC-HfC-NbC-TiC, полученной при 1400 °С, составлял  $0,9 \pm 0,02$  мкм. В то время, как средний размер пор ZrC-HfC-NbC-TiC, полученной при 1900 °С, был равен  $1,2 \pm 0,04$  мкм.

Плотность исследуемых керамических образцов увеличивалась по мере роста температуры спекания, рисунок 9. Видно, что для состава ZrC-HfC-NbC-TiC наблюдалось ступенчатое изменение плотности материалов с увеличением температуры. Спекание до температуры 1500 °С не оказало влияние на уплотнение керамики,  $\rho = 7,2$  г/см<sup>3</sup>. Дальнейшее повышение температуры до 1900 °С привело к значительному уплотнению материалов,  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>.

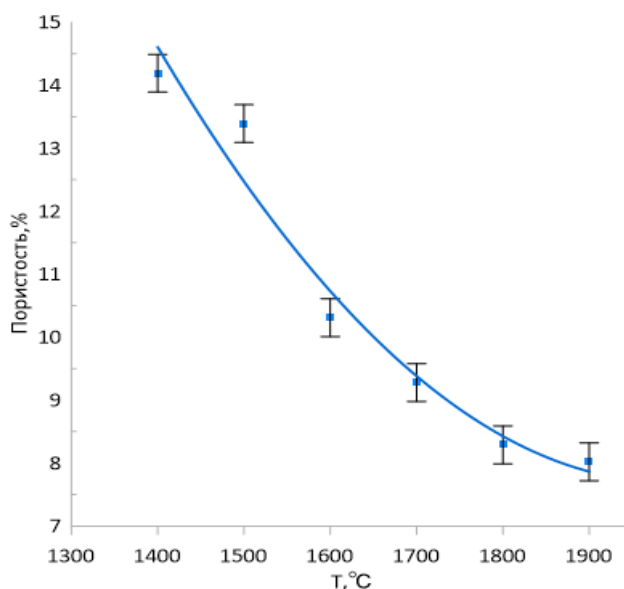


Рисунок 7 – Зависимость изменения пористости керамической системы ZrC-HfC-NbC-TiC от температуры горячего прессования

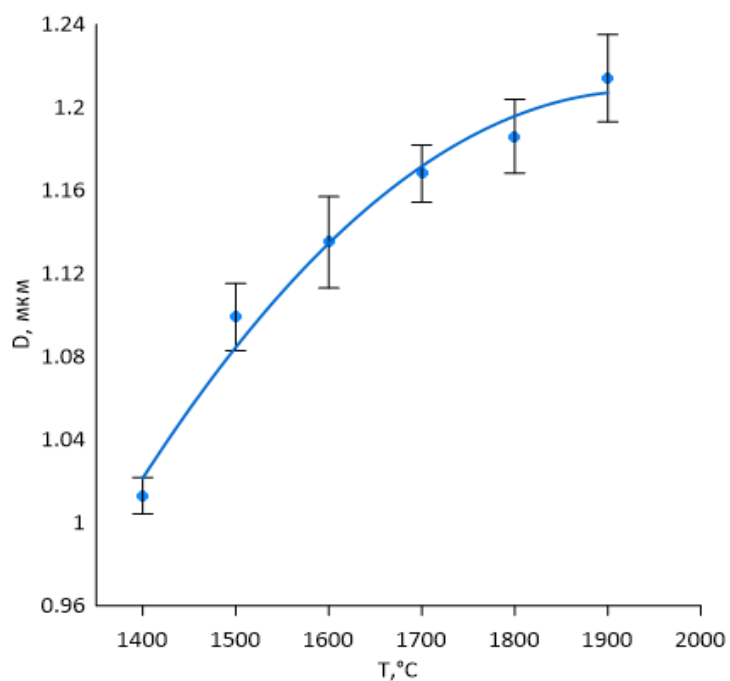


Рисунок 8 – Зависимость изменения размера пор керамической системы ZrC-HfC-NbC-TiC от температуры горячего прессования

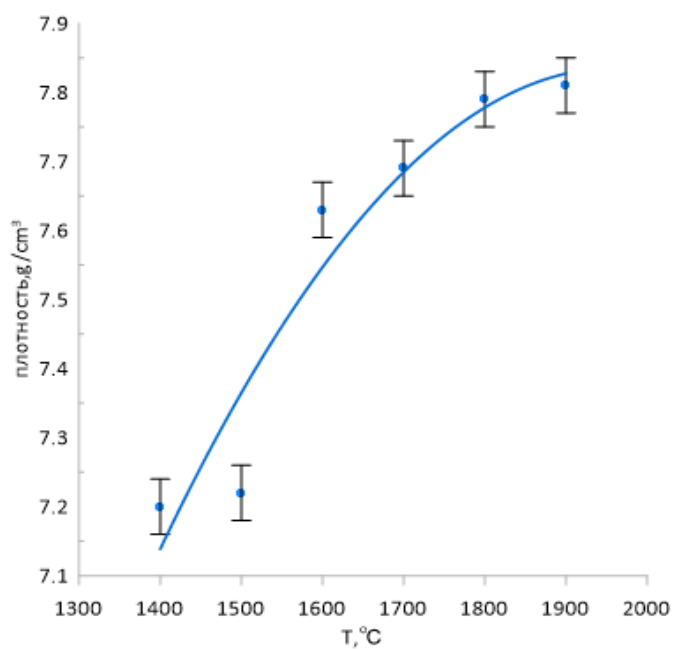


Рисунок 9 – Зависимость изменения плотности керамической системы ZrC-HfC-NbC-TiC от температуры горячего прессования

Результаты рентгеновского анализа показали, что однофазный керамический твердый раствор замещения (Zr,Hf,Nb,Ti)C с ГЦК решеткой по типу NaCl формируется при температуре горячего прессования 1700 °C из эквимольной порошковой смеси ZrC-HfC-NbC-TiC

На рисунке 10 приведены рентгенограммы керамических системы ZrC-HfC-NbC-TiC, полученной при различных температурах горячего прессования. Видно, что с повышением температуры от 1400 до 1900 °C наблюдается изменение положений рентгеновских рефлексов исходных карбидов переходных металлов и формирование рефлексов твердого раствора (Zr,Hf,Nb,Ti)C. Также на рентгенограмме наблюдается смещение дифракционных максимумов, принадлежащих карбиду циркония, в сторону больших углов. Так, угловое положение пика (111) изменяется с 33.049° в исходном состоянии на 33.225° при 1400 °C. При этом происходит перекрытие рефлексов ZrC и HfC. Дифракционные пики, характеризующие карбид гафния, становятся асимметричными со стороны рефлекса ZrC. Дальнейшее повышение температуры до 1600 °C приводит к уменьшению интенсивности рентгеновских рефлексов карбида гафния и изменению их угловых положений. Так, угловое положение пика (111) изменяется с 33.612° при 1400 °C на 33.672° при 1600 °C. Кроме этого регистрируется изменение положений пиков карбида титана в сторону меньших углов (с 36.6009° при 1400 °C на 35.543° при 1600 °C) и появлению на дифрактограммах максимумов, принадлежащих твердому раствору (Ti,Zr,Hf)C. Рефлексы твердого раствора (Nb,Ti,Zr,Hf)C регистрировались на дифрактограммах, соответствующих 1700 °C, наряду с

широкими пиками, характеризующие твердые растворы на основе карбида ниобия. Повышение температуры выше 1700 °С способствовало формированию однофазной четырёхкомпонентной высокоэнтропийной керамики.

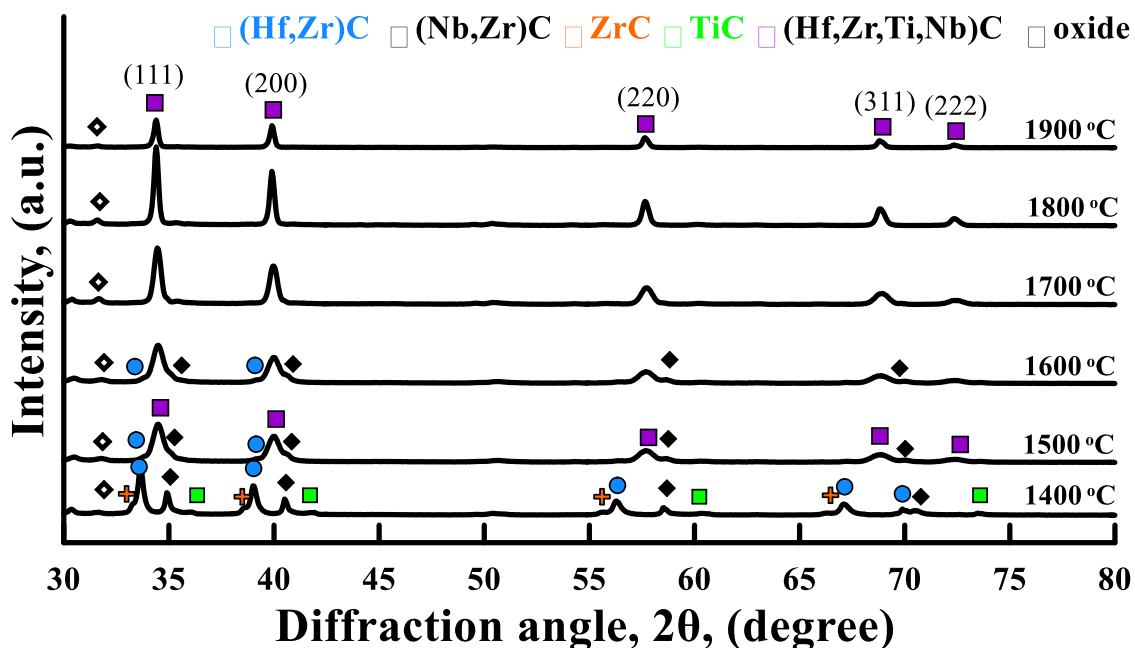


Рисунок 10 – Дифрактограммы керамической системы ZrC-HfC-NbC-TiC при различных температурах горячего прессования

На рисунке 11 приведены изображения в режиме обратно отраженных электронов (BSE) поверхности излома керамики (Zr,Hf,Nb,Ti)C. Видно, что поверхность излома представлена зернами нерегулярной формы. При этом хорошо различимы крупные и более мелкие размер керамики. Так, средний размер крупных зерен составил  $4,3 \pm 0,2$  мкм, более мелких -  $1 \pm 0,02$  мкм.

Расчеты показали, что пористость исследуемой керамики составила 8 %. При этом средний размер пор был равен  $1,2 \pm 0,04$  мкм.

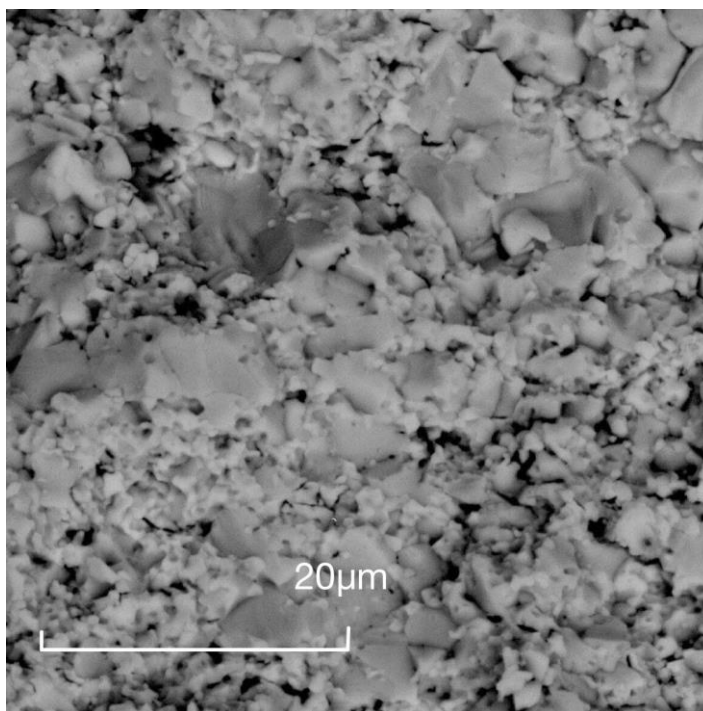


Рисунок 11 – РЭМ–изображение поверхности излома керамики  
(Zr,Hf,Nb,Ti)C.

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б71	Шэнь Юань

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 Материаловедение и технология материалов

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

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

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1.Анализ конкурентных технических решений 2.SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1.Планирование работ 2.Разработка графика Ганта 3.Формирование бюджета затрат
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка потенциального эффекта

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Альтернативы проведения НИ 4. График проведения и бюджет НИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ
---

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	01.02.2021г
---	-------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН, ШБИП	Былкова Татьяна Васильевна	канд.экон.наук		01.02.2021

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б71	Шэнь Юань		01.02.2021

## **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **4.1. Общая информация**

Целью настоящей работы является изучения микроструктурных изменений в керамической карбидной системе, протекающих в процессе высокотемпературной консолидации.

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы.

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.

### **4.2. Потенциальные потребители результатов исследования**

Используя метод сегментирования, разделим потребителей разработки о покрытиях различного состава. Основные критерии сегментирования потребителей на рынке разработок покрытия различного состава:

- 1) географический;
- 2) отрасль;
- 3) размер компании потребителя.

Представим характеристику выбранных компаний потребителей нашей разработки.

Компания «Beijing Interstellar Glory Technology Co.» Ltd., расположенная в Пекине, Китай, занимается коммерческой аэрокосмической деятельностью. В сферу деятельности компании входят: ракеты-носители, космические аппараты, твердотопливные двигатели, жидкостные двигатели и др. В 2020 году компания успешно запустила ракету «Hyperbola One».

Компания «Galaxy Power Space Technology Co.», Ltd., расположенная в Пекине, Китай, является разработчиком коммерческих ракет-носителей. В основном предоставляет недорогие, высоконадежные и быстрые системные решения для рынка запуска малых спутников. В 2020 году малая прочная коммерческая ракета-носитель «Церера 1», разработанная компанией, была успешно запущена в китайском Центре запуска спутников в Цзюцюань. .

Компания «Blue Arrow Aerospace Technology Co.», Ltd., расположенная в городе Хучжоу, Китай, занимается производством запчастей для космических аппаратов. В сферу деятельности компании входят: проектирование, НИОКР, производство и сборка транспортных средств-носителей, космических аппаратов, опорных частей космических аппаратов и вспомогательного оборудования космических аппаратов. В 2018 году осуществлен запуск ракеты «Сузаку-1».

На основании представленных критериев построим карту сегментирования рынка разработок покрытия различного состава (рис. 12).



		Виды покрытия			
		Высокотемпературное электроизоляционное покрытие	Антикоррозийное покрытие	Износостойкое покрытие	Огнестойкое покрытие
Размер кампании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

 -Фирма А Beijing Interstellar Glory Technology Co., Ltd.

 -Фирма В Galaxy Power Space Technology Co., Ltd.

 -Фирма С Blue Arrow Aerospace Technology Co., Ltd.

Рисунок - 12 Карта сегментирования рынка разработок покрытия различного состава

### 4.3. Анализ конкурентных технических решений

Представим в таблице 3 результаты сравнительной оценки конкурентов на рынке разработок покрытия различного состава

Представим характеристику конкурентов. В ходе исследования были рассмотрены две конкурирующие разработки о покрытиях различного состава:

- 1) разработка на основе метода FS (оплавление) для получения энтропийно-стабильных керамических покрытий для достижения неравновесного спекания и снижения затрат.

2) разработка, основана на CS (холодном спекании) для получения энтропийно-стабильных керамических покрытий, так что керамический порошок можно спекать и уплотнять при более низкой температуре и более коротком времени.

Таблица 3 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Актуальность исследования	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Энергоэкономичность	0,09	5	4	3	0,6	0,38	0,42
3. Точность измерительного прибора	0,13	4	5	3	0,82	0,54	0,54
4. Надежность	0,08	3	4	3	0,63	0,46	0,42
5. Проста эксплуатации	0,08	5	5	4	0,15	0,25	0,36
6. Эффективность работы	0,12	5	4	5	0,25	0,3	0,25
7. Безопасность	0,1	4	4	4	0,32	0,32	0,32
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена на расходы	0,12	4	5	3	0,48	0,6	0,36
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	3	4	0,34	0,2	0,48
3. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>45</b>	<b>41</b>	<b>37</b>	<b>4,49</b>	<b>3,67</b>	<b>3,87</b>

Расчет конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \times B_i = 0,1 \times 4 = 0,4 \quad (1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $V_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что предложенная нами разработка является наиболее актуальной и перспективной, имеет конкурентоспособность.

#### 4.4. SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

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 4.

Таблица 4 – Матрица SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b>
	<p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии</p> <p>С2. По сравнению с методом приготовления результаты исследований очень точны.</p> <p>С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.</p> <p>С4. Экологичность технологии.</p>	<p>Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения эксперимента.</p> <p>Сл2. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования.</p> <p>Сл3. Дополнительная информация о поиске каналов</p> <p>Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.</p>
<b>Возможности</b>		
<p>В1. Появление дополнительного спроса на полученные результаты исследования в учебной сфере.</p> <p>В2. Появление потенциального спроса на новые разработки в</p>		

дальнейшие технологии материаловедения. В3. Внедрение технологии в аэрокосмической области. В4. Повышение стоимости конкурентных разработок		
<b>Угрозы</b> У1. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях.		

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 5–6.

Таблица 5 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

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

Таблица 6 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</b> С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Высокие точные результаты исследования по сравнению с другими программами.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</b> Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения эксперимента Сл2. Долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования..
--	--	--

	<p>С3. Более свежая информация, которая была использована для разработки проекта.</p> <p>С4. Экологичность технологии</p>	<p>Сл3. Дополнительная информация о поиске каналов</p> <p>Сл4. Эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.</p>
<p><b>Возможности</b></p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на полученные результаты исследования в учебной сфере..</p> <p>В2. Появление потенциального спроса на новые разработки в дальнейшие технологии материаловедения.</p> <p>В3. Внедрение технологии в аэрокосмической области.</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>В2С2С3. Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции позволяет расширить спрос, использование новейшей информации и технологий соответствует потенциальному спросу на новые разработки.</p> <p>В3С2С4. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии и перспективный способ изучения соответствуют потенциальному спросу в дальнейшие технологии материаловедения. и внедрению технологии в аэрокосмической области.</p>	<p>В1Сл3Сл4. Внедрение технологии в аэрокосмической области требует долгого времени к подготовке.</p>
<p><b>Угрозы</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые результаты исследования в частных предприятиях..</p>	<p>У1С2. Более точные результаты исследования по сравнению с другими технологиями и более свежие результаты по сравнению с зарубежными аналогами</p>	<p>У1Сл4. Из-за сложности подготовки и больших ошибок, которые могут быть вызваны различными операциями, эксперимент имеет большие ошибки и неточности.</p>

SWOT-анализа позволил определить факторы отрицательно влияющие на продвижение разработки на рынок. К таким факторам относится:

- 1) отсутствие необходимого оборудования для проведения эксперимента;

2) долгое время подготовки образца, используемого при проведении научного исследования;

3) эксперименты имеют большие погрешности и неопределенности.

Предложенный проект позволяет устранить отрицательное влияние выявленных факторов. В связи с чем, результаты анализа учтены в дальнейшей научно-исследовательской разработке.

#### 4.5. Структура работ в рамках научного исследования

Результатом планирования комплекса научно-исследовательских работ является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темя диссертации, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения работ	Инженер, научный руководитель
Теоретические исследования	3	Найдите литературу по керамике, стабилизированной энтропией	Инженер
	4	Владение jм, grapher и другим программным обеспечением для анализа полученных данных.	Инженер
Экспериментальные исследования	5	Подготовьте материал ZrC-HfC-NbC-TiC и воспользуйтесь электронным микроскопом Vega Tescan для получения изображения его поверхности.	Инженер, научный руководитель
	6	Используйте программу jм для анализа пористости и плотности	Инженер

		материала ZrC-HfC-NbC-TiC при различных температурах.	
	7	Используйте программное обеспечение Grapher для построения графика влияния температуры на пористость, плотность и размер пор материала ZrC-HfC-NbC-TiC,	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Инженер
	9	Оценка правильности полученных результатов	Инженер, Научный руководитель
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Инженер

#### 4.6. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для оценки трудоемкости проводимых работ представим расчет показателей: трудоемкость, продолжительность одной работы, календарный коэффициент

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

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

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человекодни;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{ч_i} \quad (3)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ки инж} = T_{pi} \times k_{кал} \quad (4)$$

где  $T_{ки инж}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

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

$k_{кал}$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (5)$$

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.



Расчеты временных показателей проведения научного исследования

обобщены в таблице 8.

Таблица 8 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожс}$ , чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение темы диссертации, утверждение плана-графика	1	-	2	-	1,4	-	1,4	2
2. Календарное планирование выполнения работ	1	2	2	3	1,4	2	1,7	3
3. Найдите литературу по керамике, стабилизированной энтропией	-	20	-	30	-	24	24	35
4. Владение <i>jm, grapher</i> и другим программным обеспечением для анализа полученных данных.	-	25	-	35	-	29	29	43
5. Подготовьте материал $ZrC-HfC-NbC-TiC$ и воспользуйтесь электронным микроскопом <i>Vega Tescan</i> для получения изображения его поверхности.	-	5	-	8	-	6,2	6,2	9













6.Используйте программу jм для анализа пористости и плотности материала ZrC-HfC-NbC-TiC при различных температурах.	30	60	40	80	34	68	51	75
7. Используйте программное обеспечение Grapher для построения графика влияния температуры на пористость, плотность и размер пор материала ZrC-HfC-NbC-TiC,	-	5	-	8	-	6,2	6,2	9
8. Обработка полученных данных	-	40	-	50	-	44	44	65
9. Оценка правильности полученных результатов	3	8	5	10	3,8	8,8	6,3	9
10. Составление пояснительной записки		20		40	-	28	28	41
<b>Итого:</b>	35	195	44	254	41	217	198	291

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – инженер.

На основе таблицы 8 составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 9).

Таблица 9 – Диаграмма Ганта

№	Виды работ	Исп	Т <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность работ											
				Июль - сентябрь			Октябрь - декабрь			январь - март			апрель		
				7	8	9	10	11	12	1	2	3	4		
1	Составление и утверждение темы диссертации, утверждение плана-графика	Исп 1	2												

№	Виды работ	Исп	T <sub>кi</sub> . кал. дн.	Продолжительность работ												
				Июль - сентябрь			Октябрь - декабрь			январь - март			апрель			
				7	8	9	10	11	12	1	2	3	4			
2	Календарное планирование выполнения работ	Исп 1 Исп 2	3													
3	Найдите литературу по керамике, стабилизированной энтропией	Исп 2	35													
4	Владение jм, grapher и другим программным обеспечением для анализа полученных данных.	Исп 2	43													
5	Подготовьте материал ZrC-HfC-NbC-TiC и воспользуйтесь электронным микроскопом Vega Tescan для получения изображения его поверхности.	Исп 2	9													
6	Используйте программу jм для анализа пористости и плотности материала ZrC-HfC-NbC-TiC при различных температурах.	Исп 1 Исп 2	75													
7	Используйте программное обеспечение Grapher для построения графика влияния температуры на пористость, плотность и размер пор материала ZrC-HfC-NbC-TiC,	Исп 2	9													
8	Обработка полученных данных	Исп 2	65													
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп 1 Исп 2	9													
10	Составление пояснительной записки	Исп 2	41													

Примечание:

 – Исп. 1 (научный руководитель),  – Исп. 2 (инженер)

#### 4.7. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Представим расчет потребности в материалах на НТИ в таблице в таблице 10.

Таблица 10 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	340	4	1 200
Картридж для лазерного принтера	3490	1	3 490
Итого:			4690

Представим расчет потребности в оборудование для научных (экспериментальных) работ в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты расчета потребности в оборудование для научных (экспериментальных) работ

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	РЭМ (растровый	1	5	55	55

	электронный микроскопом)				
<b>Итого</b>		55 тыс. руб.			

Представим расчет потребности в трудовых ресурсах для научных (экспериментальных) работ в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы исполнителей научных (экспериментальных) работ

Исполнители НИ	$Z_{мс}, руб$	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_p$	$Z_{м}, руб$	$Z_{он}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	28000	0,3	0,2	1,3	54600	2286	41	93726
Инженер	19000	0,3	0,2	1,3	37050	1948	217	422716
Итого:								516442

Отметим, что величину расходов по заработной плате определили с учетом трудоемкости выполняемых работ. В состав основной заработной платы включается оплата по окладу, премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 30 % от оклада, работников, непосредственно занятых выполнением НИТ

Расчеты были проведены по формулам:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (6)$$

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

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) одного работника рассчитывали по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \times T_p \quad (7)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

1. Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн1}} = \frac{Z_{\text{м}} \times M}{F_{\text{д}}} = \frac{54600 \times 10,3}{246} = 2286 \text{ руб} \quad (8)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней;  
 $M$  – 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 56 раб. дней –  $M=10,3$  месяца, 6-дневная рабочая неделя.

2. Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн2}} = \frac{Z_{\text{м}} \times M}{F_{\text{д}}} = \frac{37050 \times 11,2}{213} = 1948 \text{ руб} \quad (9)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_{\text{м1}} = Z_{\text{мс1}} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \times k_{\text{р}} = 28000 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 = 54600 \text{ руб} \quad (10)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{м2}} = Z_{\text{мс2}} \times (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \times k_{\text{р}} = 19000 \times (1 + 0,3 + 0,2) \times 1,3 = 37050 \text{ руб} \quad (11)$$

где  $Z_{\text{мс}}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;  $k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;  $k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;  $k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равен 30% (для г. Томска).

Таблица 13 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
-----------------------------	--------------	---------

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

Представим расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы.

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\text{доп1}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}} = 0,15 \times 93726 = 14058,9 \text{ руб.} \quad (12)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{доп2}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}} = 0,15 \times 422716 = 63407,4 \text{ руб,} \quad (13)$$

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

Представим расчет отчислений во внебюджетные фонды (страховые отчисления). Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\text{внеб1}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн1}} + Z_{\text{доп1}}) = 0,3 \times (93726 + 14058,9) = 32335,47 \text{ руб.} \quad (14)$$

– для инженера:

$$Z_{\text{внеб2}} = k_{\text{внеб}} \times (Z_{\text{осн1}} + Z_{\text{доп1}}) = 0,3 \times (422716 + 63407,4) = 145837,02 \text{ руб} \quad (15)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

В накладные расходы включены прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов. Величина накладных расходов определяется по формуле

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \times k_{\text{нр}} \quad (16)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

#### 4.8. Бюджетная стоимость НИР

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 14.

Таблица 14 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		
		Текущий Проект	Исп.2	Исп.3
1	Материальные затраты НИР	4690	9438,45	4900
2	Затраты на специальное оборудование	9166	5690	6685



3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	516442	426853	668951
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	77466,3	77230	77230
5	Отчисления во внебюджетные фонды	178172,4	155432	155432
6	Накладные расходы	125749,89	85674,86	74052,62
Бюджет затрат НИР		911686,68	1525383,3	532281,5

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (17)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;  $\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;  $\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 911686,68$  руб,  $\Phi_{\text{исп.1}} = 1525383,3$  руб,  $\Phi_{\text{исп.2}} = 532281,5$  руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{текущ.проект}} = \frac{\Phi_{\text{текущ.проект}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{911686,68}{1525383,3} = 0,597 \quad (18)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{532281,5}{1525383,3} = 0,349 \quad (19)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{1525383,3}{1525383,3} = 1 \quad (20)$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР ( $I_{pi}$ ) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 15).

Таблица 15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

исследования Критерии	Объект	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки		0,2	4	4	4
2. Стабильность работы		0,15	4	4	5
3. Технические характеристики		0,2	5	4	4
4. Механические свойства		0,3	5	4	3
5. Материалоёмкость		0,15	5	4	5
ИТОГО		1	4,65	4	4

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_p^{\text{текущ.проект}} = 0,2 \times 4 + 0,15 \times 4 + 0,2 \times 5 + 0,3 \times 5 + 0,15 \times 5 = 4,65 \quad (21)$$

$$I_p^{\text{исп.2}} = 0,2 \times 4 + 0,15 \times 4 + 0,2 \times 4 + 0,3 \times 4 + 0,15 \times 4 = 4 \quad (22)$$

$$I_p^{\text{исп.3}} = 0,2 \times 4 + 0,15 \times 5 + 0,2 \times 4 + 0,3 \times 3 + 0,15 \times 5 = 4 \quad (23)$$

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

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p-\text{исп.}i}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}} \quad (24)$$

$$I_{\text{эф.текущ.проект}} = \frac{I_p^{\text{текущ.проект}}}{I_{\text{финр}}^{\text{текущ.проект}}} = \frac{4,65}{0,597} = 7,78 \quad (25)$$

$$I_{\text{эф.исп.2}} = \frac{I_p^{\text{исп.2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}}} = \frac{4}{1} = 4 \quad (26)$$

$$I_{\text{эф.исп.3}} = \frac{I_p^{\text{исп.3}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}}} = \frac{4}{0,349} = 11,46 \quad (27)$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 16).

Таблица 16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,597	1	0,047
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	4	4
3	Интегральный показатель эффективности	7,75	4	11,46
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,56	0,72

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 целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работ составляет 291 день; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 217 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 41 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 911686,68 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,597, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 4 и 4,;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 7,75, по сравнению с 4 и 11,46, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
154Б71	Шэнь Юань

<b>Школа</b>	Новых производственных технологий	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Материаловедение
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

**Тема дипломной работы:** «Изучение микроструктуры керамических материалов, стабилизированных энтропией»

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения)</li> </ul> <p><b>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>• организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Объектом исследования является порошковая система ZrC-HfC-NbC-TiC. Данный материал может использоваться для литий-ионных аккумуляторов, теплоизоляторов и т. д.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ.</li> <li>– ГОСТ 12.0.004-90. Организация обучения безопасности труда.</li> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</li> <li>– ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования.</li> <li>– 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.</li> </ul>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p><b>Анализ показателей шума и вибрации</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• установление соответствие показателей нормативному требованию;</li> </ul>	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Повышенная или пониженная температура на рабочем месте.</li> <li>2.Запылённость.</li> </ol>

<p><b>Анализ показателей микроклимата</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>показатели температурные, скорости движения воздуха, запыленности.</li> </ul> <p><b>Анализ освещенности рабочей зоны</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>типы ламп, их количество, соответствие нормативному требованию освещенности;</li> <li>при расчете освещения указать схему размещения светильников на потолке согласно проведенному расчету.</li> </ul> <p><b>Анализ электробезопасности</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>наличие электроисточников, характер их опасности;</li> <li>установление класса электроопасности помещения, а также безопасные номиналы тока, напряжения, сопротивления заземления.</li> <li>при расчете заземления указать схему размещения заземлителя согласно проведенному расчету.</li> </ul> <p><b>Анализ пожарной безопасности</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>присутствие горючих материалов, тем самым, присутствие повышенной степени пожароопасности.</li> <li>категории пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение.</li> <li>Разработать схему эвакуации при пожаре.</li> </ul>	<p>3. Уровень шума.</p> <p>4. Влажность.</p> <p>5. Отсутствие или недостатки естественного света.</p> <p>6. Не достаточная освещённость рабочей зоны.</p> <p>Опасные факторы:</p> <p>7. Пожар.</p> <p>8. Электробезопасность</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>защита селитебной зоны</li> <li>анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>В ходе производственного цикла материала, возможны вредные последствия для окружающей среды. Необходимо учитывать способы создания материала, а также соблюдать баланса качества / негативные последствия.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>1. Одна из наиболее вероятных чрезвычайных ситуаций – пожар. Данное происшествие может негативно повлиять на весь комплекс проводимых работ.</p> <p>2. В связи с неспокойной ситуацией в мире, возможно такое происшествие как теракт. Данное происшествие негативно повлияет на здоровье членов лаборатории и на их исследования.</p> <p>3. В связи с географическим расположением лаборатории, возможная ЧС – морозы. Данная ЧС может</p>

	замедлить или ненадолго приостановить работу лаборатории.
--	---

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	26.02.2021г.
---	--------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Сечин Александр Иванович	Д.т.н.		26.02.2021 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б71	Шэнь Юань		26.02.2021 г.



## 5. Социальная ответственность

### Введение

Обеспечение безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности является одним из национальных приоритетов в целях сохранения человеческого капитала. Для решения задач по улучшению условий и охраны труда, промышленной и экологической безопасности внедряется система специальной оценки условий труда. Совершенствуется система и методы проведения предварительных при поступлении на работу и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых во вредных и опасных условиях труда, совершенствуется система обеспечения работающих современными средствами индивидуальной защиты.

Темой дипломного исследования является «Изучение микроструктуры керамических материалов, стабилизированных энтропией». Объектом исследования является порошковая система (Zr, Hf, Nb, Ti)C.

Цель работы- изучение изменения микроструктуры (Zr, Hf, Nb, Ti)C при повышении температуры.

В результате исследований была получена порошковая смесь, и при повышении температуры было обнаружено, что пористость керамики уменьшилась, но средний диаметр пор практически не изменился. При температуре горячего прессования 1900 °С средний размер частиц однофазного твердого раствора замены керамики (Zr, Hf, Nb, Ti)C с ГЦК-

решеткой типа NaCl составляет  $2,7 \pm 0,1$  мкм. Гранулометрический состав бимодальный.

Целью раздела «Социальная ответственность» является выявление вредных и опасных факторов в процессе труда, способы избегания их вредного воздействия, определение поведения при чрезвычайных ситуациях. Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности;
- 2) выявление вредных и опасных факторов;
- 3) экологическая безопасность;
- 4) безопасность в чрезвычайных ситуациях.

### **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.

Рабочее место в лаборатории максимально приближенно к требованиям ГОСТ 12.2.032-78, выполняемая работа в основном происходит в положении сидя. Для предотвращения вредного влияния от малоподвижной работы, работники могут вставать и разминаться при желании.

Необходимо руководствоваться техническим регламентом от 24 декабря 2009 г. О безопасности средств индивидуальной защиты источником, так как в настоящей работе предусмотрено взаимодействие с вредными веществами, также применяются меры по минимизации вредных эффектов на организм человека (индивидуальные средства защиты, инструкции к работе и рабочему месту).

Во избежание несчастных случаев следует проводить обучение и проверять знания работников согласно ГОСТ 12.0.004-90. Организация обучения безопасности труда. 01.07.1991.

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

1. Сокращенная продолжительность рабочего времени, 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 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, так же в соответствии с ГОСТ 23000-78 в лаборатории располагаются пульты управления. Безопасность оборудования в лаборатории соответствует ГОСТ EN 894-1-2012.

Для более комфортной работы в лаборатории в соответствии с ТК РФ необходимо специальное место на этаже для морального расслабления (комната отдыха), так же специально отведённое помещения для курения. В рассматриваемой рабочей лаборатории отсутствуют и комната отдыха, и комната для курения, для лучшего морального духа рабочих необходимо организовать эти помещения.

## **5.2. Производственная безопасность**

В данном пункте проанализированы вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого решения. Для идентификации

потенциальных факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды, представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Возможные вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разр абот ка	Изго товл ение	Экс плу ата ция	
Вредные факторы:				СанПиН 2.2.4-548-96.
1. Повышенная или пониженная температура на рабочем месте.	+	+	+	Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ.
2. Запылённость.	–	+	+	Шум. Общие требования безопасности.
3. Уровень шума.	–	+	–	
4. Влажность.	+	+	+	ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ.
5. Отсутствие или недостаток естественного света.	+	+	+	Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

6. Не достаточная освещённость рабочей зоны.	+	+	+	ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
Опасные факторы:				
1. Пожар.	+	+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
2. Электробезопасность	+	+	+	СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ, Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.

### 5.2.1. Анализ вредных факторов

### 5.2.2.2 Анализ показателей микроклимата

#### *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 лаборатории имеется два масляных обогревателя марки BalluВОН/CL – 09 на случай отключения или неисправности системы теплоснабжения, проветривания необходимо проводить в отсутствие рабочих, материалы должны быть убраны в безопасное от попадания потоков воздуха место (во избежание распыления). В лаборатории поддерживается температура воздуха 20 – 230С, что соответствует нормам СанПиН 2.2.4-548-96.

#### *Запылённость.*

Источником данного вредного фактора является работа с порошками диоксида циркония. Данный фактор относится к физическим вредным факторам. Последствиями для человека от запылённости такими наночастицами как соединения циркония могут быть весьма серьёзны – это болезни дыхательной системы, её внутренние повреждения, повышенная вероятность появления аллергий и раздражений. Для минимизации этого

вредного фактора, в лаборатории 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 циркониевой и алюминиевой пыли в организм через органы дыхания. Оптимальное содержание циркониевой пыли для безопасной работы в лаборатории составляет 0 г/м<sup>3</sup>, что меньше чем предельно допустимая норма, регламентированная ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ [1] 6 г/м<sup>3</sup>.

#### *Влажность.*

Источником данного вредного фактора является тот факт, что лаборатория расположена 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 рабочей лаборатории средняя влажность составляет порядка 50%. Для рабочих мест производственных помещений, по СанПиН 2.2.4.548–96 оптимальная влажность воздуха при холодном климате (работа выполнялась с февраля по апрель) составляет 60 – 40%.



### **5.2.2.3 Анализ показателей шума**

Источником данного вредного фактора может являться шаровая мельница. Повышенный уровень шума негативно влияет на работоспособность рабочего, повышает вероятность возникновения проблем со слуховой системой, уменьшает степень согласованности рабочих при проведении каких либо работ, может повлечь за собой аварии разного вида. Данный фактор классифицируют как физический вредный фактор. По ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ и СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 данный вид работы классифицируется как научная деятельность, уровень шума не должен выходить за рамки 86 Дб, при частоте 32 Гц. По Р 2.2.2006-05, рассматриваемый вид деятельности – интеллектуальная нагрузка. В ходе работы, задачи решались по инструкциям, что соответствует напряжённости средней степени. Уровень шума в рабочей лаборатории не выходит за рамки, представленные в ГОСТе.

### **5.2.2.4 Анализ освещенности рабочей зоны**

*Отсутствие или недостаток естественного света.*

Источником данного фактора является тот факт, что лаборатория размещена в подвальном помещении, а значит, прямой контакт с естественным светом ограничивается окнами. Данный фактор классифицируется как физический вредный фактор. 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, Пг разряд зрительной работы, оптимальное освещение 400 лк (система общего освещения). Данная норма выполняется в рабочей лаборатории полностью.

## **5.2.2. Анализ опасных факторов**

### **5.2.2.1 Анализ пожарной безопасности**

Источником данного фактора может являться короткое замыкание, неаккуратное обращение с оборудованием. Данный фактор является физическим опасным фактором. В соответствии с Федеральным закон от 22.07.2013 г. №123 – ФЗ статья 52 в лаборатории 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.

Помещение относится к категории В2.

#### **5.2.2.2 Анализ электробезопасности**

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов, воздействию которых человек может подвергаться в процессе работы с электрооборудованием, составляют для установок в нормативном режиме: для постоянного тока – не более 0,8 В и 1мА соответственно, для переменного тока (частота 50 Гц) - не более 2,0 В и 0,3 мА соответственно.

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

2. Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

3. Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В и одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности. Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

Лаборатория относится к помещению с повышенной опасностью поражения электрическим током.

В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током.

Недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены. Недоступность токоведущих частей достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте.

К работе с электроустановками допускаются лица, имеющие третью либо четвертую группы допуска, устанавливаемые квалификационной комиссией. Лица, не имеющие непосредственного отношения к обслуживанию электроустановок, к работе с ними не допускаются.

Все питающие части должны быть заземлены. Сопротивление заземления должно не превышать 4 Ом.

Перекоммутацию кабелей, соединяющих периферийные устройства с ЭВМ, а также установку плат дополнительных устройств (модемов, портов ввода-вывода и т.д.) в слоты шины расширения компьютера необходимо осуществлять только при отключенном питании.

При приближении грозы необходимо оперативно закончить работу на компьютере и отключить его от сети во избежание повреждения последовательного порта и исключения сбоев при возможных скачках напряжения в сети, характерных в подобных случаях.

Должна быть предусмотрена возможность быстрого отключения напряжения с разделительного щита.

Освобождение пострадавшего от действия тока напряжением свыше 1000 В может быть произведено только одним способом. Это отключение соответствующей части электрической установки специально обученными людьми. Пострадавшему следует оказать посильную доврачебную помощь.

### **СКЗ:**

Основные изолирующие электрозащитные средства для электроустановок напряжением до 1000В:

- изолирующие штанги;
- изолирующие клещи;
- указатели напряжения;
- электроизмерительные клещи;
- диэлектрические перчатки;
- инструмент с изолирующими ручками.

Дополнительные изолирующие электрозащитные средства для электроустановок напряжением до 1000В:

- диэлектрические галоши;
- диэлектрические ковры и изолирующие подставки;
- изолирующие колпаки, покрытия, накладки;
- лестницы приставные, стремянки изолирующие стеклопластиковые.

### **СИЗ:**

- защитные пластиковые каски;

- защитные очки;
- щиты ограждения;
- различные респираторы и противогазы;
- рукавицы;
- предохранительные пояса и страховочные канаты;
- комплекты для защиты работающего от электрической дуги.

### 5.3. Экологическая безопасность

Целью данной работы является создание порошковой смеси ZrC-HfC-NbC-TiC с ее микроструктурой. В будущем созданные энтропийно-стабильные керамические материалы могут быть использованы в литий-ионных батареях, электронной керамике, теплоизоляционных материалах и других областях.

Одним из вредных факторов, которые могут быть причинены окружающей среде при производстве композитного материала, может быть загрязнение окружающей среды пылью во время процесса подготовки. В Таблице 18 перечислено влияние объектов и исследовательских процессов на окружающую среду.

Таблица 18 – 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 загрязнению. В городах и регионах атмосферный воздух загрязняется, прежде всего, выбросами промышленных предприятий, ТЭС и автомобильного транспорта.

В реальных (производственных, городских, региональных и т.п.) условиях атмосферный воздух практически всегда оказывается одновременно загрязненным несколькими веществами.

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, которой мылась посуда 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 чрезвычайных ситуаций в рабочей лаборатории 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 лаборатории 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 чрезвычайная ситуация – морозы. Источником данной ЧС служит тот факт, что лаборатория находится в Сибири. Для минимизации вероятности возникновения данной ЧС в лаборатории предусмотрены два масляных обогревателя марки BalluBON/CL – 09, которые так же могут быть использованы при неисправностях в обогревательной системе здания или этажа где расположена лаборатория. При выходе из строя этого оборудования любые запланированные работы переносятся на время стабильной работы отопительной системы.

В связи со сложностями в современном мире, актуальной стала проблема терроризма, однако возможны и ложные вызовы (в основном). Источником данного фактора могут послужить разработки лаборатории, а также её ценные для технологического прогресса продукты. Для предотвращения данной ситуации, в здании имеется контрольно-пропускной пункт, на котором рабочему необходимо отметитья, для прохода в здание необходимо иметь при себе удостоверение личности или же пропуск. Для людей, не связанных с лабораторией какой бы то ни было деятельностью, проход в здание возможен только по веской причине, при этом так же необходимо удостоверение личности, а также гражданство РФ. Люди без гражданства РФ (как правило студенты), должны предупреждать о своём визите работников лабораторий, в здании они находятся под их

ответственностью. В здании лаборатории расположена сеть видеонаблюдения, под наблюдением находятся все входы и выходы из здания, также в каждом помещении здания и на контрольно-пропускном пункте находятся стационарные телефоны для удобства и на случай невозможности использования мобильной связи. В здании, где находится рабочая лаборатория, во всех помещениях расположены сигнализации, при входе в лабораторию необходимо как можно быстрее отключить её, при выходе нажав на соответствующую кнопку включить.

В разделе ВКР «Социальная ответственность», был произведён анализ рабочего места во время исследовательской работы, а также:

- Рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности;
- Обнаружены и подробно проанализированы возможные вредные и опасные факторы на рабочем месте;
- Проведён анализ возможного вредного воздействия исследования на экологию и способы защиты атмосферы, гидросферы и литосферы;
- Рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации на рабочем месте. Проанализировано поведение работника при различных чрезвычайных ситуациях.

### **Выводы по разделу**

В этой части дипломного проекта анализируются опасности, вредные факторы и чрезвычайные ситуации, возникающие при изготовлении энтропийно стабилизированной керамики (Zr, Hf, Nb, Ti) С. Наиболее

опасными и вредными факторами являются: шум, недостаточное освещение и повышенная запыленность воздуха в рабочей зоне.

Разработаны меры безопасности для предотвращения травм и ожогов, применены электроизоляционные устройства, рассчитано общее освещение и разработаны меры пожарной безопасности. Согласно требованиям охраны окружающей среды взята охрана атмосферы, гидросферы и литосферы.

### **Список литературы**

1. Рубе А. Корундовая керамика, модифицированная ультрадисперсным оксидом алюминия: ВКР. — Красноярск, 2010 — 41 с.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы изучена морфология исходных порошков карбидов переходных металлов и проведена оценка их среднего размера частиц.

Установлено, что увеличение температуры горячего прессования приводит к изменению микроструктуры и фазового состояния керамической системы ZrC-HfC-NbC-TiC. Показано, что повышение температуры спекания с 1400 до 1900 °C приводит к уменьшению пористости керамики с 14 до 8 %, при этом средний размер пор изменяется незначительно. Установлено, что однофазный керамический твердый раствор замещения (Zr,Hf,Nb,Ti)C с ГЦК решеткой по типу NaCl формируется при температуре горячего прессования 1700 °C из эквимольной порошковой смеси ZrC-HfC-NbC-TiC. Образование керамики (Zr,Hf,Nb,Ti)C происходит через формирование более простых твердых растворов на основе карбидов переходных металлов. Параметр элементарной ячейки твердого раствора составил 0,4522 нм.

Показано, что средний размер зерен керамики был равен  $2,7 \pm 0,1$  мкм. Распределение зерен по размерам носило бимодальный характер.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cantor B. et al. Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys // *Materials Science and Engineering: A*. - 2004. -Т. 375. -P. 213-218, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.10.257>
2. Yeh J. W. et al. Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: novel alloy design concepts and outcomes // *Advanced Engineering Materials*. - 2004. -Т. 6. -№. 5.- P.299-303, <https://doi.org/10.1002/adem.200300567>
3. Tsai M. H., Yeh J. W. High-entropy alloys: a critical review // *Materials Research Letters*. -2014. -Т. 2. -№. 3.- P.107-123, <https://doi.org/10.1080/21663831.2014.912690>
4. Zhang R. Z., Reece M. J. Review of high entropy ceramics: design, synthesis, structure and properties // *Journal of Materials Chemistry A*. -2019. - Т. 7. - №. 39. -P. 22148-22162, <https://doi.org/10.1039/C9TA05698J>
5. Yeh J W, Chen Y L, Lin S J, et al. High-entropy alloys—a new era of exploitation // *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd. -2007. -560. –P. 1-9, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.560.1>
6. Tsai M H, Yeh J W. High-entropy alloys: a critical review // *Materials Research Letters*. -2014. -2(3). –P. 107-123, <https://doi.org/10.1080/21663831.2014.912690>
7. Ghaffari S A, Faghihi-Sani M A, Golestani-Fard F, et al. Diffusion and solid solution formation between the binary carbides of TaC, HfC and ZrC //

- International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. -2013. -41. –P. 180-184, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2013.03.009>
8. Yang X, Zhang Y. Prediction of high-entropy stabilized solid-solution in multi-component alloys // *Materials Chemistry and Physics*. -2012. -132(2-3). –P. 233-238, <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.11.021>
  9. Castle E, Csanádi T, Grasso S, et al. Processing and properties of high-entropy ultra-high temperature carbides // *Scientific reports*. -2018. -8(1). –P. 1-12, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26827-1>
  10. Dusza J, Švec P, Girman V, et al. Microstructure of (Hf-Ta-Zr-Nb) C high-entropy carbide at micro and nano/atomic level // *Journal of the European Ceramic Society*. -2018. -38(12). –P. 4303-4307, <https://doi.org/10.1016/j.jeurcerams oc.2018.05.006>
  11. Demirskyi D, Borodianska H, Suzuki T S, et al. High-temperature flexural strength performance of ternary high-entropy carbide consolidated via spark plasma sintering of TaC, ZrC and NbC // *Scripta Materialia*. -2019. -164. –P. 12-16, <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2019.01.024>
  12. Sarker P, Harrington T, Toher C, et al. High-entropy high-hardness metal carbides discovered by entropy descriptors // *Nature communications*. -2018. -9(1). –P. 1-10, <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07160-7>
  13. Ye B, Wen T, Nguyen M C, et al. First-principles study, fabrication and characterization of  $(\text{Zr}_{0,25}\text{Nb}_{0,25}\text{Ti}_{0,25}\text{V}_{0,25})$  C high-entropy ceramics // *Acta Materialia*. -2019. -170. –P. 15-23, <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2019.03.021>

14. Wei X F, Liu J X, Li F, et al. High entropy carbide ceramics from different starting materials // Journal of the European Ceramic Society. -2019. -39(10) . – P. 2989-2994, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2019.04.006>
15. Feng L, Fahrenholtz W G, Hilmas G E, et al. Synthesis of single-phase high-entropy carbide powders // Scripta Materialia. -2019. -162. –P. 90-93, <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2018.10.049>
16. Tong C J, Chen Y L, Yeh J W, et al. Microstructure characterization of Al<sub>x</sub>CoCrCuFeNi high-entropy alloy system with multiprincipal elements // Metallurgical and Materials Transactions A. -2005. -36(4) . –P. 881-893, <https://doi.org/10.1007/s11661-005-0283-0>
17. Senkov O N, Scott J M, Senkova S V, et al. Microstructure and elevated temperature properties of a refractory TaNbHfZrTi alloy // Journal of Materials Science. -2012. -47(9) . –P. 4062-4074, <https://doi.org/10.1007/s10853-0126260-2>
18. Tsai M H, Yuan H, Cheng G, et al. Significant hardening due to the formation of a sigma phase matrix in a high entropy alloy // Intermetallics. -2013. -33. –P. 81-86, <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2012.09.022>
19. Chen Y Y, Duval T, Hung U D, et al. Microstructure and electrochemical properties of high entropy alloys—a comparison with type-304 stainless steel // Corrosion science. -2005. -47(9) . –P. 2257-2279, <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2004.11.008>
20. Demaske B J, Chernatynskiy A, Phillpot S R. First-principles investigation of intrinsic defects and self-diffusion in ordered phases of V<sub>2</sub>C // Journal of Physics:



Condensed Matter. -2017. -29(24) . –P. 245403., <https://doi.org/10.1088/1361648X/aa7031>

21. Yu X X, Thompson G B, Weinberger C R. Influence of carbon vacancy formation on the elastic constants and hardening mechanisms in transition metal carbides // Journal of the European Ceramic Society. -2015. -35(1) . –P. 95-103, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2014.08.021>
22. Yan X, Constantin L, Lu Y, et al. (Hf<sub>0,2</sub>Zr<sub>0,2</sub>Ta<sub>0,2</sub>Nb<sub>0,2</sub>Ti<sub>0,2</sub>) C high - entropy ceramics with low thermal conductivity // Journal of the American Ceramic Society. -2018. -101(10) . –P. 4486-4491, <https://doi.org/10.1111/jace.15779>
23. Song G, Song S. A possible biodegradable magnesium implant material // Advanced Engineering Materials. -2007. -9(4) . –P. 298-302. <https://doi.org/10.1002/adem.200600252>
24. Cologna M, Rashkova B, Raj R. Flash Sintering of Nanograin Zirconia in < 5 s at 850 °C // Journal of the American Ceramic Society. -2010.- 93(11).- P. 3556-3559, <https://doi.org/10.1111/j.15512916.2010.04089.x>
25. Downs J A, Sglavo V M. Electric field assisted sintering of cubic zirconia at 390 °C // Journal of the American Ceramic Society.-2013.- 96(5).- P.1342-1344, <https://doi.org/10.1111/jace.12281>
26. Guan L, Li J, Song X, et al. Graphite assisted flash sintering of Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> doped CeO<sub>2</sub> ceramics at the onset temperature of 25 °C // Scripta Materialia.- 2019.- 159.- P.72-75, <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2018.09.014>
27. Simon S, Gluth G J G, Peys A, et al. The fate of iron during the alkali - activation of synthetic (CaO - ) FeOx - SiO<sub>2</sub> slags: An Fe K - edge XANES study //

Journal of the American Ceramic Society. -2018. -101(5) . –P. 2107-2118, <http://doi.org/10.1111/jace.15354>

28. Chen H, Xiang H, Dai F Z, et al. High porosity and low thermal conductivity high entropy  $(\text{Zr}_{0,2}\text{Hf}_{0,2}\text{Ti}_{0,2}\text{Nb}_{0,2}\text{Ta}_{0,2})$  C // Journal of Materials Science & Technology. -2019. -35(8) . –P. 1700-1705, <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2019.04.006>
29. Yang Y, Wang W, Gan G Y, et al. Structural, mechanical and electronic properties of  $(\text{TaNbHfTiZr})$  C high entropy carbide under pressure: Ab initio investigation // Physica B: Condensed Matter.- 2018.-550.- P.163-170, <https://doi.org/10.1016/j.physb.2018.09.014>
30. Ma S G, Zhang Y. Effect of Nb addition on the microstructure and properties of AlCoCrFeNi high-entropy alloy // Materials Science and Engineering.- 2012.- 532.- P.480-486, <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.msea.2011.10.110>