

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

Инженерная школа новых производственных

Направление подготовки :*Материаловедение и технологии материалов*

Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Структура и свойства высокоэнтропийных керамических систем на основе карбидов и нитридов переходных металлов

УДК 666.3:544.32:661.811

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б51	Пэн Цзыи		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Матренин С.В.	К.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Скачкова Л.А			

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Скаковская Н.В	К.ф.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Материаловедение в машиностроении	Овечкин .Б.Б	К.т.н		

Томск – 2019 г.

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

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р1	Использовать <i>глубокие</i> естественнонаучные и математические знания и современные представления наук о материалах для понимания проблем направления "Материаловедение и технологии материалов".
Р2	Умение применять современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов.
Р3	Умение применять основы высокотехнологичного инновационного менеджмента, в том числе малого бизнеса, владеть навыками в организации и техническом оснащении рабочих мест; разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений.
Р4	<i>Планировать</i> и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования конструкционных материалов, материалов медицинского назначения, объемных и наноматериалов на основе порошков и изделий из них, включая стандартные и сертификационные испытания материалов; внедрять, <i>эксплуатировать</i> и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, самостоятельно проектировать и использовать технологические процессы для их получения.
Р5	Формулировать новую исследовательскую задачу на основе возникающих проблем, вносить оригинальный вклад в области науки, техники и технологии, связанные с получением и исследованием конструкционных материалов, материалов медицинского назначения, объемных и наноматериалов на основе порошков; Умение использовать на практике современные представления наук о материалах при анализе влияния микро- и нано- масштаба на механические, физические, поверхностные и другие свойства материалов.
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р 6	Комплексно оценивать и прогнозировать тенденции и последствия развития науки в области изготовления, диагностики и применения новых материалов, применяя знание внутри- и междисциплинарных связей в сфере профессиональной деятельности
Р 7	Владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности.
Р 8	<i>К педагогической деятельности</i> ; эффективно работать в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы с учетом вопросов безопасности и здравоохранения, юридических аспектов.
Р 9	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Отделение материаловедения

Направление подготовки: *Материаловедение и технологии материалов*

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ В.А.Клименов
 (Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б51	Пэн Цзыи

Тема работы:

Структура и свойства высокоэнтропийных керамических систем на основе карбидов и нитридов переходных металлов	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 1544/С от 27.02.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является керамика на основе оксикарбонитрида циркония. Исследуются методы активирования спекания (механическая активация порошков в планетарной мельнице, добавление нанопорошков (НП) ZrO_2 TiC ZrC, ZrN), структура и физико-механические свойства рассмотрены вопросы социальной ответственности, проведен экономический анализ производства изделий из исследованной керамики.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования;</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Аналитический обзор по теме исследования. – Изучение структуры, свойств и применение керамики на основе оксикарбонитрида циркония.. – Изучение процессов порошковой

<i>содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	технологии. – Активирование процессов спекания керамики на основе оксикарбонитрида циркония. – Заключение по работе
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	– Титульный лист – Актуальность, цель работы – Материалы и методы исследования – Результаты исследований – Заключение
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	<i>Скаковская Н.В., доцент,</i>
<i>Социальная ответственность</i>	<i>Скачкова Л.А., старший преподаватель ООД ШБИП</i>
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1. Литературный обзор (русский язык)	
2. Экспериментальная часть (русский язык)	
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение (русский язык)	
4. Социальная ответственность (русский язык)	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	23.09.2018
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Матренин С.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б51	Пэн Цзыи		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа магистра содержит 102, страниц, 40 рисунков, 24 таблицы, 34 источников.

Объектом исследования является керамика на основе оксикарбонитрида циркония.

Цель работы – Исследование закономерностей консолидирования керамики на основе оксикарбонитрида циркония

В результате исследования были определены плотность прессовок, плотность спечённых образцов, модуль упругости, микротвердость и прочность на наноинденторе.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: стабильность и однородность свойств керамики, устойчивость изделий к фазовым превращениям при механических нагрузках, высокий уровень эксплуатационных свойств изделий, снижение энергозатрат при производстве изделий, улучшение экологической чистоты производства.

Степень внедрения - Результаты будут использованы для разработки конструкционных и инструментальных керамических материалов.

Область применения: Авиакосмическая промышленность, химическая промышленность, машиностроение, радиоэлектроника.

В будущем планируется использовать результаты для дальнейших исследований активированного спекания оксидной керамики основе оксидов циркония, кремния и оксинитрида циркония с целью повышения физико-механических характеристик спеченных материалов.

Экономическая эффективность/значимость работы - этот проект является лишь научным развитием и начала исследования, невозможно рассчитать интегральный показатель финансового развития. В целом, этот проект является перспективным с точки зрения потребления ресурсов, так как в отличие от аналогов, проект предусматривает снижение затрат на стоимости будущих

продуктов за счет использования местных недорогого сырья и возможного достижения требуемого физико-механических характеристики.

ESSAY

Final qualifying work of the master contains 102 pages, 40 figures, 25 tables, 34 sources.

Keywords: nanopowders, mechanical activation, activated sintering, nanoindentation.

The object of the research is based ceramics TiC ZrC, ZrN and ZrO₂.

Objective - Investigation of consolidation of ceramics based on zirconium dioxide, activated by the addition of the charge powders TiC ZrC, ZrN and ZrO₂.

The study density compacts were determined density sintered specimens, modulus of elasticity, strength and microhardness nanoindenter.

The basic constructive, technological and technical and operational characteristics: stability and uniformity of the properties of ceramics, product stability to phase transformations during mechanical stress, high level of operational properties of products, reduction of energy consumption in the production of products, improve the ecological purity of production.

The degree of introduction - Results are used to develop structural ceramic materials and tools.

Applications: Aerospace, chemical industry, machine building, electronics.

In the future we plan to use the results for further studies of activated sintering of oxide ceramics based on ZrO₂ ZrC, ZrN in order to improve the physical and mechanical characteristics of sintered materials.

Cost-effectiveness / value of the work - this project is only the beginning of the scientific development and research, the development of an integrated financial measure calculated is not possible. In general, this project is promising in terms of resource consumption, as opposed to unique in the project provides a lower cost to the cost of future production through the use of local low-cost raw materials and the possible achievement of the required physical and mechanical properties.

Содержание	
Введение	9
1 Литературный обзор	11
1.1 Переходные металлы	11
1.2 Многокомпонентные сплавы переходных металлов	14
1.3 Керамика на основе диоксида циркония	19
1.4 Материалы ZrN свойства	27
1.5 Технология получения высокоэнтропийной керамики	29
1.6 Перспективы развития высокоэнтропийных керамических систем	40
2 Экспериментальная часть	43
2.1 Исходные материалы	43
2.2 Результаты экспериментов и их обсуждение	59
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	65
4 Социальная ответственность	86
Заключение	99
Список литературы	100

Введение

Замена высокоэнтропийными керамическими материалами металлов и сплавов указывает на то, что увеличение объёма использования керамики в машиностроении, станкостроении, атомной энергетике, ракетостроении обеспечит качественный скачок в развитии отрасли, в том числе за счёт увеличения допустимой температуры эксплуатации и, как следствие, мощности силовых агрегатов. Это объясняется присущим керамическим материалам уникальным сочетанием свойств, выгодно отличающим их от металлов - высокая температура плавления, малый удельный вес, высокая прочность, жёсткость.

Применение многокомпонентных керамик в ракетостроении обеспечит качественный скачок в развитии отрасли, в том числе за счёт увеличения допустимой температуры эксплуатации и, как следствие, мощности силовых агрегатов. Это объясняется присущим керамическим материалам уникальным сочетанием свойств, выгодно отличающим их от металлов - высокая температура плавления, малый удельный вес, высокая прочность, жёсткость. Однако, несмотря на хорошие перспективы использования керамик в технике, актуальным остаётся вопрос о присущей им высокой хрупкости. Низкая устойчивость к дефектам, неконтролируемое распространение трещин - основные причины ограничения использования керамик в технике.

Решение проблемы низкой живучести и надёжности керамических конструкций находится одновременно и в плоскости создания новых материалов с превосходным комплексом свойств по сравнению с существующими керамиками, и в плоскости организации структурно-фазового состояния, обеспечивающего эффективное сопротивление зарождению и распространению трещин.

С точки зрения создания новых керамических материалов одним из перспективных направлений является энтропийная стабилизация многокомпонентных систем. Минимизация свободной энергии Гиббса

обеспечивает термодинамическую стабильность высокоэнтропийных систем при высоких температурах и аномальные физические характеристики. Развитие подхода энтропийной стабилизации многокомпонентных твёрдых растворов оксидов, нитридов, карбидов металлов позволит получить керамические материалы с новыми эксплуатационными характеристиками.

1 Литературный обзор

1.1 Переходные металлы

Переходные металлы относятся к области d и области ds периодической таблицы (область d включает элементы периода IIIB-VIIB, группа VIII, исключая лантаноиды и актиноиды. Область ds включает элементы IB-IIIB периодической таблицы). Вообще говоря, эта область включает в себя элементы от 10 до 12 семейств, но не включает в себя f -зону (элементы 58-71 в периодической таблице называются элементами перехода в $4f$, а элементы 90-103 называются элементами перехода в $5f$, они оба являются внутренними переходными элементами элемента f -zone.).

1.1.1 Свойства

Из-за незаполненного валентного слоя d орбиталь переходный металл существенно отличается от других элементов, основанных на правиле восемнадцати электронов.

Поскольку многие элементы в этой области имеют много отдельных электронов в электронной конфигурации (особенно заметно семейство марганца, конфигурация $d5$), их легче потерять, поэтому эти металлы имеют переменную валентность, а некоторые (например, железо) А Разнообразие стабильных ионов металлов. Переходный металл может иметь степень окисления до $+7$ (марганец) и $+8$ (states). Первое связано с наличием одного электрона, а второе - из-за высокого уровня энергии. Высокая степень окисления присутствует в кислотной или ацильной группе металла. Для первой переходной системы высокие степени окисления часто являются сильными окислителями, и все они образуют восстановительные ионы двухвалентных металлов. Для второй и третьей переходных систем низкое состояние окисления трудно сформировать из-за большого атомного радиуса и высокой энергии валентного электрона, а высокое состояние окисления также не окисляет. Второй и третий переходные элементы одного и того же семейства имеют одинаковые атомные радиусы и одинаковые свойства благодаря сжатию лантаноидов.

Благодаря наличию пустой d-орбитали переходный металл легко образует комплекс. Металлический элемент принимает электроны на гибридной орбите для достижения стабильного состояния 16 или 18 электронов. Когда комплекс требует участия d-орбиты валентного слоя в гибридизации, электроны на d-орбитали будут перегруппированы, и некоторые элементы могут быть перегруппированы, чтобы сделать электроны полностью спаренными. Эти вещества называются диамагнитными веществами. И наоборот, когда валентный слой d-орбиты не нужно переставлять, или после перегруппировки остается один электрон, полученный комплекс является парамагнитным. Диамагнитное вещество не имеет цвета, в то время как парамагнитное вещество имеет цвет, его цвет варьируется от вещества к веществу, и даже цвет двух изомеров различен. Некоторые ионы металлов также имеют один электронный цвет.

Большинство переходных металлов присутствуют в земной коре в форме оксидов или сульфидов. Только элементы, такие как золото и серебро могут присутствовать стабильно.

Наиболее типичными переходными металлами являются группы 4-10. Семейство меди может образовывать комплексы, но поскольку конфигурация d^{10} слишком стабильна, самая высокая цена может достигать только +3. Редкоземельные металлы, близкие к основной группе, имеют лишь несколько переменных валентных состояний. Элемент из 12 элементов имеет только переменное валентное состояние ртути, а цинк в основном является металлом основной группы. Из-за различий в природе элементы меди и цинка иногда не считаются переходными металлами. В настоящее время понятие элемента d сокращено до 3-10, и группа меди и цинка в совокупности называется элементом ds.

1.1.2 Физические свойства

Гексагональный компактный ворс, гранцентрированный кубический компактный ворс, объемно-центрированная кубическая решетка, металлический блеск, высокая прочность, хорошая пластичность, хорошие

рабочие характеристики, высокая теплопроводность, высокая плотность, высокая твердость и высокая температура кипения.

Плотность металла увеличивается слева направо, а плотность уменьшается после семейства меди. Сверху вниз атомный радиус увеличивается, третий переходный металл имеет особенно высокую плотность, а тяжелый платиновый металл имеет самую высокую плотность.

В дополнение к s-электронам, суб-внешние d-электроны также могут образовывать валентные электроны, образуя металлические связи, образуя более прочные металлические связи. В каждой переходной серии металл хромовой группы имеет самую высокую температуру плавления и высокую твердость.

Высокая температура плавления, высокая температура кипения, самая высокая температура плавления (вольфрам (W))

Поскольку d-орбиталь переходного металла не насыщена, экранирующая способность заряда ядра плохая, и эффективный заряд ядра слева направо увеличивается в каждом цикле, а радиус уменьшается в свою очередь. Из-за большого экранирующего эффекта структуры d атомный радиус увеличивается до и после элемента группы меди.

1.2 Многокомпонентные сплавы переходных металлов

Первое подробное исследование многокомпонентных сплавов, состоящих из большого числа компонентов в равных или почти равных пропорциях, было предпринято Винсентом в 1981 году, а в 1997 году - Найтом, о чем Кантор сообщил в 2002 году на конференции RQ11 в Оксфорде, а затем опубликовал в 2004 году Кантором и соавт. , Ранганатан обсуждал похожие типы сплавов в 2003 году, описывая их как мультиматериальные коктейли, и Yeh et al. поступил так же в 2004 году, описав их как сплавы с высокой энтропией (см. также Yeh et al.). В последнее время растет число исследований многокомпонентных и высокоэнтропийных сплавов, так как исследователи осознали потенциал для открытия новых материалов с ценными свойствами в неисследованном фазовом пространстве в середине многокомпонентных систем. Термин Yeh et al. «Сплавы с высокой энтропией» стал принятым для обозначения многокомпонентных сплавов, состоящих из большого количества компонентов в равных или почти равных пропорциях. Однако многокомпонентные сплавы, как правило, не обладают особенно высокой энтропией или даже высокой конфигурационной энтропией (первоначальная концепция Yeh et al.). Они часто демонстрируют удивительно небольшое количество фаз с широким диапазоном растворимости, что отчасти вызвано высокими энтропийными эффектами. Фактически существует много различных видов многокомпонентных сплавов, независимо от того, имеют ли они большое количество компонентов в равных или почти равных пропорциях, в зависимости от способа их разработки (обычное легирование, расширенное легирование, тройное четвертичное экваторное замещение и т. Д.), составные части (металлические, неметаллические, полуметаллические, составные и т. д.), способ изготовления (литье, быстрое отверждение, осаждение из паровой фазы, совместное распыление и т. д.), а также получающиеся фазовая структура и микроструктура (однофазный твердый раствор, дендритный, дуплексный эвтектический или перитектический, многофазный, аморфный и т. д.).

1.2.1 Карбиды переходных металлов

Из всех карбидов переходных металлов наибольшее распространение в промышленности получили WC, TiC, TaC и ZrC. Интерес к этим материалам обусловлен их очень высокой твердостью (от 20 до 35ГПа), которую они сохраняют до температур свыше 1000°C. Причины высокой твердости карбидов заключаются в следующем: во-первых, сами металлы, образующие карбиды, имеют очень высокие температуры плавления и малопластичны, т.е. силы межатомных связей данных металлов очень велики. Второй, и основной причиной высокой твердости карбидов является «заклинивание» плоскостей скольжения в кристаллической решетке атомами углерода и вызываемое этим заклиниванием снижение пластичности. Например, в ГЦК-решетке TiC и TaC атомы углерода располагаются параллельно плоскостям скольжения (111), в ГПУ-решетке WC – параллельно (001). Обладая такой высокой твердостью, карбиды являются достаточно хрупкими материалами.

Карбиды переходных металлов в природе не существуют, поэтому первой стадией в их технологии является синтез соответствующего сырья. Порошки карбидов получают либо прямым синтезом углерода и металла по формуле



либо восстановлением металла из оксида с одновременной карбидизацией. Второй способ является предпочтительным, т.к. оксиды соответствующих металлов гораздо дешевле порошков чистых металлов.

В общем виде процесс получения порошков карбидов происходит по следующей схеме: порошок оксида соответствующего металла смешивается с сажей или измельченным коксом и нагревается до температуры, при которой происходит карбидизация. Например, для карбида титана процесс происходит по реакции:



Полученные порошки измельчаются, просеиваются, смешиваются с необходимыми компонентами, прессуются в изделия, которые спекаются при соответствующих температурах.

Следует отметить, что в чистом виде рассматриваемые карбиды находят весьма ограниченное применение. Это обусловлено, в первую очередь, технологическими проблемами получения компактных изделий, например, чтобы спечь изделие из TiC, который имеет температуру плавления 3200°C, необходима температура спекания не менее 2500°C. Во-вторых, как уже отмечалось, чистые карбиды весьма хрупки.

Основное применение карбиды переходных металлов находят в инструментальном производстве, где на их основе изготавливают так называемые твердые сплавы, применяемые для обработки металлов резанием. Твердые сплавы содержат смесь зерен карбидов, реже нитридов и карбонитридов тугоплавких металлов в связующих материалах. Стандартные марки твердых сплавов выполнены на основе карбидов вольфрама, титана, тантала. В качестве связки используются кобальт, никель, молибден. Твердые сплавы производятся методами порошковой металлургии путем жидкофазного спекания. Состав и основные свойства некоторых марок твердых сплавов для режущих инструментов приведены в табл. 1 и 2.

В зависимости от состава карбидной фазы и связки обозначение твердых сплавов включает буквы, характеризующие карбидообразующие элементы (В – вольфрам, Т – титан, вторая буква Т – тантал) и связку (буква К – кобальт).

Таблица 1

Физико-механические свойства одно-, двух- и трехкарбидных твердых сплавов

Марка	λ , Вт/(м·ч·К)	ЛКТР, * 10^{-6} K^{-1}	$\sigma_{\text{изг}}$, МПа
ВК4	38–80	3,4–4,7	1270–1370

ВК6	46–75	3,6–5,0	1320–1660
ВК8	54–71	4,8–5,5	1370–1810
ВК10	67–69	3,8–6,0	1470–1910
ВК15	41–66	4,7–6,0	1615–2155
ВК20	37,7	4,7–6,0	1860–2330
ВК25	13–24	3,8–6,7	1765–2255
Т30К4	13–38	6,6–7,0	882–931
Т15К6	17–34	5,6–6,0	1127–1180
Т14К8	21–63	6,0–6,2	1130–1370
Т5К10	21	5,5	1270–1370
Т5К12	-	5,9	1620–1760
ТТ8К6	-	-	1225
ТТ7К12	-	-	1372–1617

Таблица 2

Состав и физико-механические свойства безвольфрамовых твердых сплавов

Марка	TiC	%Ni	%Mo	$\sigma_{изг}$, МПа
ТН20	79	20	1	1080
ТН25	74	19	7	1180
ТН30	70	24	6	1270
ТН50	50	37	13	1225

Массовая доля карбидообразующих элементов в однокарбидных сплавах, содержащих только карбид вольфрама, определяется разностью между 100% и массовой долей связки (цифра после буквы К), например, сплав ВК4 содержит 4% кобальта и 96% WC. В двухкарбидных WC+TiC

сплавах цифра после буквы карбидообразующего элемента определяет массовую долю карбидов этого элемента, следующая цифра – массовую долю связки, последняя – массовую долю карбида вольфрама (например, сплав Т5К10 содержит 5% TiC, 10% Co и 85% WC).

В трехкарбидных сплавах цифра после букв ТТ означает массовую долю карбидов титана и тантала, цифра за буквой К – массовая доля связки, остальное – массовая доля карбида вольфрама (например, сплав ТТ8К6 содержит 6% кобальта, 8% карбидов титана и тантала и 86% карбида вольфрама).

Твердые сплавы выпускаются в виде различных по форме и точности изготовления пластин: напайных (наклеиваемых), многогранных и др. Многогранные пластины выпускаются как из стандартных марок твердых сплавов, так и из этих же сплавов с однослойными или многослойными сверхтвердыми покрытиями из TiC, TiN, оксида алюминия и других химических соединений. Пластины с покрытиями обладают повышенной стойкостью. К обозначению пластин из стандартных марок твердых сплавов с покрытием нитридов титана добавляют маркировку букв КИБ (метод нанесения покрытий конденсацией ионной бомбардировкой).

Также рассматриваемые карбиды широко используются в качестве материала для нанесения коррозионно- и износостойких покрытий деталей. Например, покрытия из TiC используют для защиты поверхностей оборудования в химической промышленности, покрытия из WC наносят на валы гребных винтов судов.

1.2.2. Нитриды переходных металлов.

Из всех нитридов переходных металлов наибольшее распространение в технике получили TiN и ZrN. Так же, как и карбиды, нитриды имеют очень высокие температуры плавления. Твердость нитридов несколько уступает твердости карбидов, например, ZrN имеет микротвердость около 25ГПа.

Причина высокой твердости нитридов, так же, как и карбидов, обусловлена особенностями структуры фаз внедрения.

Нитриды являются синтетическими веществами. Порошки нитридов получают прямым синтезом металла с азотом путем азотирования металлических порошков при соответствующих температурах:



Нитриды получают также путем взаимодействия металлов с аммиаком и другими способами, включая осаждением из газовой фазы.

Основное применение нитриды переходных металлов находят в качестве добавок к специальным сплавам, а так же как материалы для нанесения износостойких покрытий. В инструментальном производстве очень широкое распространение получил способ ионно-плазменного напыления покрытий из TiN и (Zr,Hf)N на разнообразный режущий инструмент. ZrN применяется для нанесения покрытий на электроды свечей зажигания ДВС для повышения их эксплуатационных характеристик. Пластины из TiN и ZrN применяются в ракетной технике для защиты корпусов ракет и космических кораблей.

1.3 Керамика на основе диоксида циркония

Особенностью диоксида циркония является его полиморфизм. Чистый ZrO₂ при комнатной температуре находится в моноклинной фазе и при нагреве испытывает фазовые превращения (рис.1).

Переход $t\text{-ZrO}_2 \leftrightarrow c\text{-ZrO}_2$ имеет диффузионную природу и играет очень важную роль при производстве так называемого частично стабилизированного диоксида циркония. Превращение $m\text{-ZrO}_2 \leftrightarrow t\text{-ZrO}_2$ протекает по мартенситному механизму и сопровождается объемными изменениями 5–9%. Такое значительное расширение материала при охлаждении, сопровождающееся растрескиванием, не позволяет получать компактные изделия из чистого ZrO₂. По этой причине практическое значение имеют только твердые растворы различных оксидов на основе ZrO₂ либо механические смеси с жесткой матрицей, способной

стабилизировать высокотемпературные фазы ZrO_2 при низкой температуре.

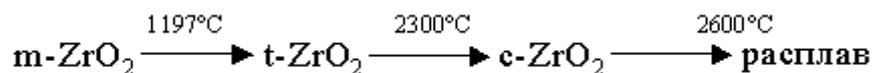


Рис.1. Схема фазовых переходов в чистом диоксиде циркония:

m-, t-, c- ZrO_2 – моноклинная, тетрагональная, кубическая модификации ZrO_2 , соответственно

Установлено, что ZrO_2 способен образовывать твердые растворы типа замещения со многими двух-, трех- и четырехвалентными оксидами. Общим и весьма важным для керамической технологии свойством этих растворов является отсутствие обратимых полиморфных превращений типа $m\text{-}ZrO_2 \leftrightarrow t\text{-}ZrO_2$ - перехода в чистом ZrO_2 . Хотя образующиеся твердые растворы не являются термодинамически равновесными при низких температурах, практически они могут существовать при этих температурах, не подвергаясь распаду. К настоящему времени механизмы стабилизации ZrO_2 путем образования твердых растворов изучены достаточно полно.

По Паулингу, предел устойчивости структуры типа флюорита CaF_2 , которая соответствует c- ZrO_2 , определяется соотношением радиусов катиона и аниона $r_k/r_a=0,732$. В решетке c- ZrO_2 соотношение $r_k/r_a=0,66$, т.е. ионы кислорода находятся в стесненном состоянии. Поэтому c- ZrO_2 существует только при очень высоких температурах, когда значительны тепловые колебания кристаллической решетки. При снижении температуры происходит диффузионный переход c- $ZrO_2 \rightarrow t\text{-}ZrO_2$. Тетрагональный ZrO_2 также имеет структуру типа флюорита. При дальнейшем снижении температуры, когда диффузия практически прекращается, а стесненность ионов кислорода увеличивается, происходит мартенситное превращение $t\text{-}ZrO_2 \rightarrow m\text{-}ZrO_2$.

Расширение кислородной позиции, способствующее созданию устойчивой флюоритовой структуры в широком интервале температур,

может быть достигнуто либо замещением части ионов Zr^{4+} на ионы большего радиуса (Ce^{4+} , Th^{4+}), либо созданием вакансий в анионной подрешетке путем замещения Zr^{4+} ионами меньшей валентности (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Y^{3+} , Sc^{3+}). Малые размеры ионного радиуса, например $0,78\text{\AA}$ для Mg^{2+} , менее благоприятны для устойчивости таких твердых растворов. При стабилизации ZrO_2 оксидами магния и кальция ион Mg^{2+} (Ca^{2+}) занимает место Zr^{4+} в катионной подрешетке, неся в нее отрицательный заряд 2-. Одновременно в анионной подрешетке образуется кислородная вакансия, имеющая положительный заряд 2+. Примесный ион и вакансия притягиваются друг к другу, образуя достаточно устойчивый комплекс ($Mg''_{Zr}V''_o$). Если оксидом-стабилизатором является Y_2O_3 , то для создания одной кислородной вакансии необходимо ввести два иона Y^{3+} в катионную подрешетку. В этом случае образуется сложный комплекс ($Y'_{Zr}V''_oY'_{Zr}$), в котором два иона иттрия связаны с одной кислородной вакансией. Подобные комплексы при механическом нагружении материала могут вести к неупругой релаксации посредством диффузии в энергетически выгодные позиции и к дополнительной устойчивости флюоритовой структуры. Следует отметить, что не все вакансии в анионной подрешетке связаны с примесными ионами в подобные комплексы и также сами комплексы при повышенных температурах становятся неустойчивыми. Поэтому циркониевые керамики отличаются от других тугоплавких оксидов хорошей ионной проводимостью, которая реализуется путем перескакивания ионов кислорода в несвязанные вакансии. При повышении температуры число несвязанных вакансий резко увеличивается и проводимость повышается. Этот факт нашел широкое практическое применение, в частности при изготовлении электронагревателей и твердых электролитов на основе ZrO_2 .

Таким образом, оптимальные условия стабилизации ZrO_2 соответствуют сочетанию трехвалентности вводимого катиона и достаточной близости его радиуса с радиусом Zr^{4+} ($0,87\text{\AA}$). Это положение

оправдывается на примере стабилизации ZrO_2 оксидом иттрия (Y^{3+} , $1,06\text{\AA}$) и оксидами РЗМ. Помимо достижения устойчивости флюоритовой структуры, добавки Y_2O_3 и CeO_2 устойчивы к испарению и позволяют значительно расширить область гомогенности тетрагонального твердого раствора ZrO_2 , что делает возможным получение спеченной керамики, имеющей в своем составе более 90% t- ZrO_2 , которая является наиболее перспективной из всех циркониевых керамик. На рис.2 приведена равновесная диаграмма состояния системы ZrO_2 - Y_2O_3 . Следует отметить, что практически соотношение фаз, соответствующее приведенной диаграмме, не реализуется вследствие очень низкой диффузии ионов Zr^{4+} , Y^{3+} , O^{2-} . Высокотемпературные фазы при определенных добавках Y_2O_3 и режимах охлаждения могут существовать при низких температурах без распада. Линия T_0 представляет собой геометрическое место температур, при которых свободные энергии m- ZrO_2 и t- ZrO_2 одинаковы. Приведенные интервалы температур весьма условны и очень сильно зависят от скорости охлаждения твердого раствора и размера зерна.

Помимо образования твердых растворов на основе ZrO_2 в производстве высокопрочных керамик используется другой способ

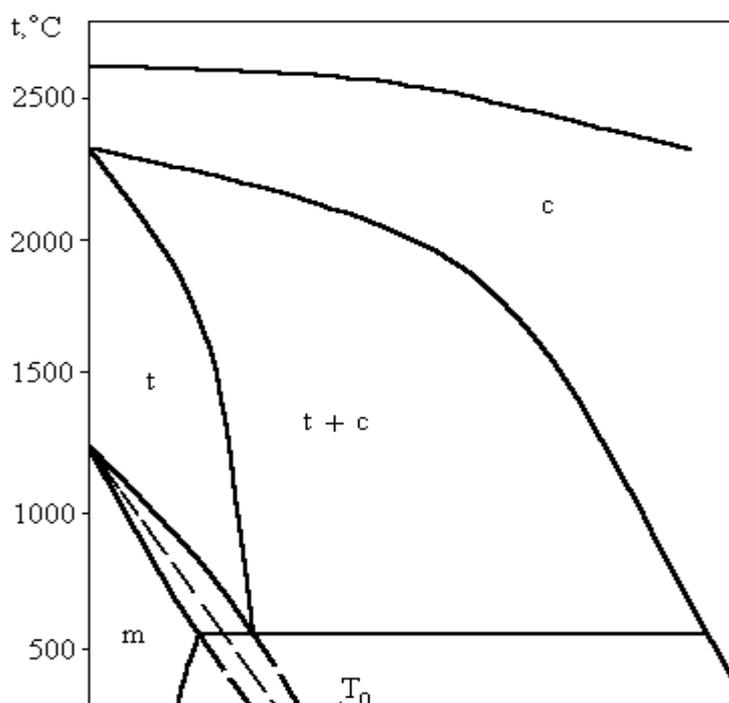


Рис.2 Диаграмма состояния системы ZrO_2 - Y_2O_3 : T_0 – температура перехода m - $ZrO_2 \leftrightarrow t$ - ZrO_2

стабилизации высокотемпературной модификации $t\text{-ZrO}_2$. После спекания механической смеси $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ (рис.3.) с объемным содержанием ZrO_2 менее 20% образуется жесткая корундовая матрица, удерживающая дисперсные включения $t\text{-ZrO}_2$. Это обусловлено высоким модулем упругости корунда меньшим по сравнению с ZrO_2 тепловым расширением, вследствие чего частицы $t\text{-ZrO}_2$ находятся в поле сжимающих напряжений и остаются стабильными после охлаждения спеченного материала. Стабильность частиц $t\text{-ZrO}_2$ зависит также от их размера: нелегированные зерна $t\text{-ZrO}_2$ в корундовой матрице превращаются в $m\text{-ZrO}_2$ при 20°C , если их размер превышает $0,6\text{мкм}$. Более крупные зерна превращаются при повышенных

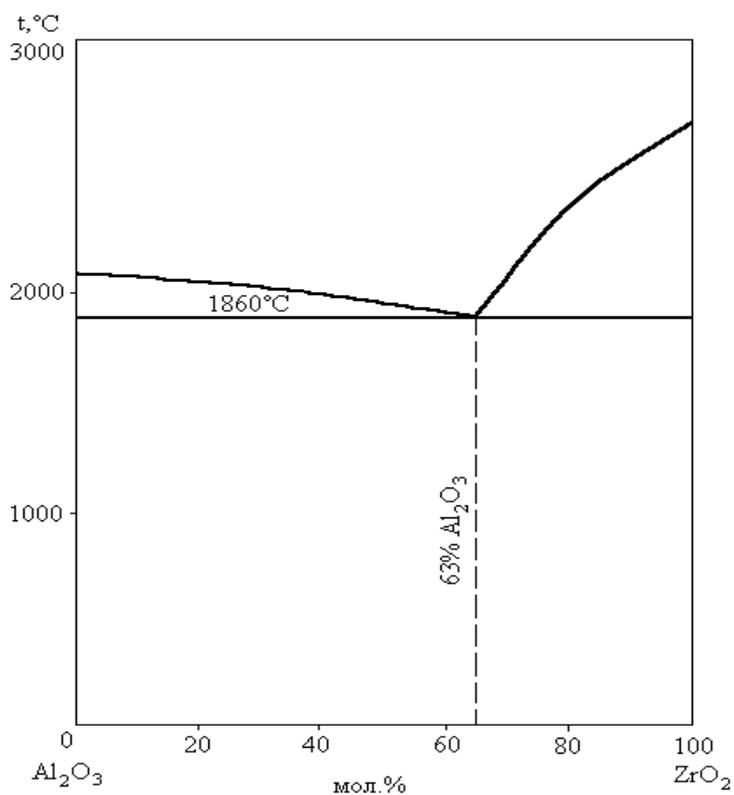


Рис.3. Диаграмма состояния системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ температурах по сравнению с мелкими.

Кроме корундовой матрицы возможно использование других материалов, например нитрида кремния, муллита, MgO , но максимальный прочностной эффект показывает система $85\% \text{Al}_2\text{O}_3\text{-}15\% \text{ZrO}_2$. Очень важным здесь является практически полное отсутствие взаимной

растворимости компонентов, что исключает появление в материале промежуточных нежелательных фаз.

Возможность получения высокопрочной циркониевой керамики связана с открытием так называемого эффекта трансформационного упрочнения за счет контролируемого фазового перехода $t\text{-ZrO}_2 \rightarrow m\text{-ZrO}_2$. Сущность этого эффекта вытекает из явления полиморфизма ZrO_2 , возможности стабилизации высокотемпературных t - и c -фаз и мартенситного характера $t \rightarrow m$ - перехода. Практически эффект трансформационного упрочнения реализуется в том случае, когда спеченный материал имеет в своем составе частицы $t\text{-ZrO}_2$, способные превращаться в $m\text{-ZrO}_2$. Возникающие при нагружении трещины распространяются в материале до тех пор, пока в их фронте не оказываются частицы $t\text{-ZrO}_2$. Такая частица, находящаяся в сжатом (в корундовой матрице) или в когерентносвязанном с матрицей (при преобладании в составе материала $c\text{-ZrO}_2$) состоянии устойчива к $t \rightarrow m$ - переходу даже при низких температурах. Попав в поле напряжений в вершине распространяющейся трещины, частица получает энергию, достаточную для превращения. Таким образом, энергия распространяющейся трещины переходит в энергию $t \rightarrow m$ - перехода и катастрофический рост трещины прекращается.

С открытием упрочняющего воздействия фазового $t \rightarrow m$ - перехода циркониевые керамики являются предметом многочисленных исследований. Циркониевые керамики из-за своей способности образовывать путем добавок различных оксидов и применяемых режимов выдержки при спекании и отжига часто обозначаются как «керамические стали». Ниже представлены основные классы циркониевых керамик, их прочностные характеристики и сферы практического применения.

1. Стабилизированный диоксид циркония CSZ (Cubic Stabilized Zirconia, рис.4,а): кубический твердый раствор на основе ZrO_2 . Для реализации этого материала количество добавки MgO , CaO должно быть

более 15–20 мол.%, Y_2O_3 – более 10 мол.%. CSZ имеет низкие прочностные характеристики: $\sigma_{изг}$ не более 250 МПа и K_{Ic} до $3 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$ и находит применение как огнеупорный материал, а также в технологии твердых электролитов.

2. Керамика, упрочненная диоксидом циркония ZTC (Zirconia Toughened Ceramic): дисперсные частицы $t\text{-ZrO}_2$ распределены в керамической матрице и стабилизируются сжимающими напряжениями. Наибольшее техническое значение имеют композиции $Al_2O_3\text{-ZrO}_2$ (ZTA: Zirconia Toughened Alumina, рис.4,б), которые используются, прежде всего, как инструментальные материалы. Оптимальные механические характеристики достигаются при содержании ZrO_2 около 15 об. %: $\sigma_{изг}$ до 1000 МПа и K_{Ic} до $7 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$.

3. Частично стабилизированный диоксид циркония PSZ (Partially Stabilized Zirconia, рис.4,в). Образуется при добавлении в ZrO_2 оксидов Mg, Ca, Y и др. При спекании в области гомогенности кубической фазы образуются крупные зерна $c\text{-ZrO}_2$ (60 мкм). После отжига в двухфазной области появляются тетрагональные частицы, когерентно связанные с кубической фазой. В системах $ZrO_2\text{-MgO(CaO)}$ размер t -частиц должен быть менее 0,25 мкм. В случае огрубления частиц когерентность нарушается и их упрочняющая способность резко падает. Объемное содержание t -фазы составляет около 40%. PSZ вследствие высокой вязкости (K_{Ic} до $10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$) и прочности ($\sigma_{изг}$ до 1500 МПа) находит очень широкое применение в машиностроении.

4. Тетрагональный диоксид циркония TZP (Tetragonal Zirconia Polycrystals, рис.4,г). Данный материал реализуется в системах $ZrO_2\text{-Y}_2O_3(\text{CeO})$ и состоит только из стабилизированных тетрагональных зерен. Спекание происходит в области гомогенности t -фазы, затем следует закалка. Диссипация энергии при упрочняющем фазовом превращении в TZP особенно высока и приводит, при оптимальной структуре, к экстремально высоким механическим характеристикам: $\sigma_{изг}$ до 2400 МПа при K_{Ic} около

15МПа \cdot м^{0,5}. При этом TZP обладает высокой ионной проводимостью. В развитых государствах TZP уже прошел испытания в различных областях машиностроения и применяется в производстве изделий конструкционного и инструментального назначения.

Конструкционную керамику на основе ZrO₂, так же как и корундовую получают путем формования и спекания ультрадисперсных порошков (УДП). Сущность методов получения подобных порошков описана выше, здесь лишь следует отметить некоторые особенности применения этих методов для производства УДП ZrO₂.

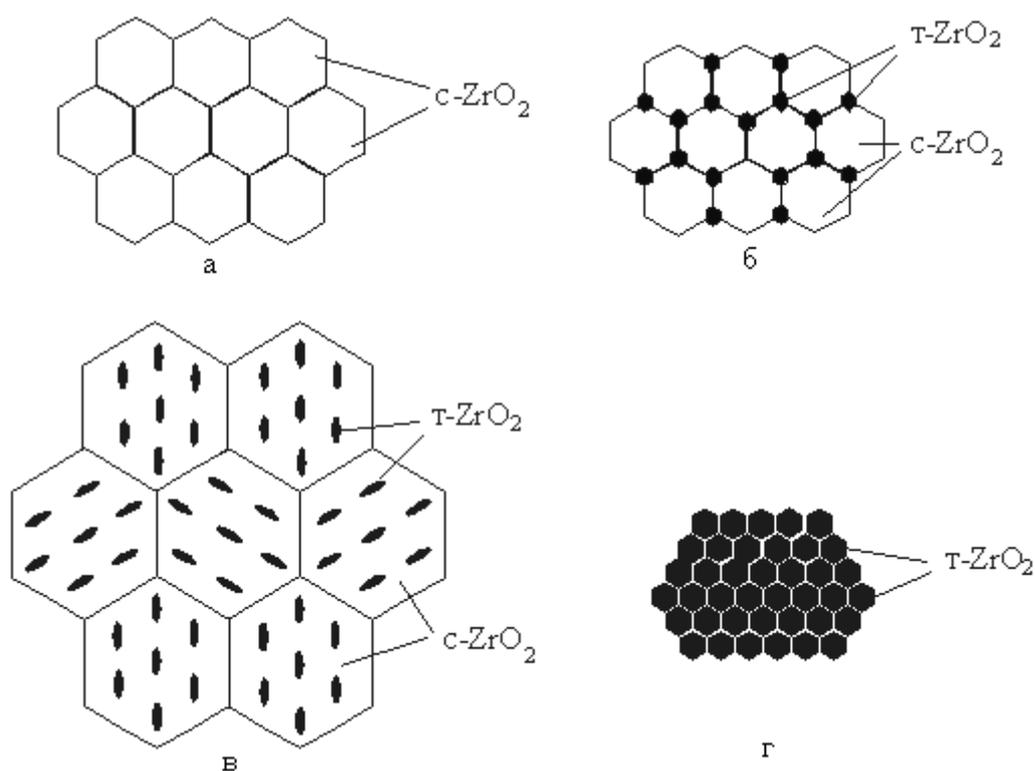


Рис.4. Основные типы структур циркониевых керамик:
а – CSZ, б – ZTA, в – PSZ, г – TZP

При использовании метода совместного осаждения гидроксидов (СОГ) наблюдается неомогенность систем ZrO₂-Y₂O₃ (MgO, CaO и др.). Это объясняется тем, что совместно осаждаемые соответствующие гидроксиды должны выпадать в осадок при различных показателях pH. Приливание раствора аммиака к смешанному раствору сульфатов (хлоридов и т.п.) приводит не к одновременному, а частично к последовательному осаждению

гидроксидов. После их обезвоживания эта неомогенность переходит и твердые растворы на основе ZrO_2 . В этом отношении получение порошков методом плазмохимического синтеза является более предпочтительным. В то же время порошки, получаемые методом ПХС, как отмечалось, имеют сферическую форму, и, как следствие, низкие технологические характеристики. Поэтому перед формованием изделий из данных порошков требуется предварительный помол с целью раздробления микросфер. Формование порошков ZrO_2 в заготовки проводят методом одноосного статического сухого прессования и прессованием в гидростатах при давлении 400-600 МПа. Температура спекания стабилизированного ZrO_2 лежит в интервале 1500-2000°C в зависимости от вида и количества оксида стабилизатора. Как отмечалось выше, в технологии некоторых видов циркониевой керамики применяется дополнительная термическая обработка. Так, в технологии керамики из частично стабилизированного диоксида циркония после спекания при температуре 1800–2000°C следует отжиг при 1400–1500°C с целью выделения упрочняющих дисперсных включений t-фазы. При изготовлении изделий из тетрагонального ZrO_2 применяется закалка с температуры спекания 1600°C. Максимально высокие прочностные характеристики имеют изделия из ZrO_2 , получаемые методами ГП и ГИП.

Традиционно керамика на основе ZrO_2 применялась в металлургической промышленности для изготовления тиглей для плавки металлов. Сегодня циркониевая керамика является одним из наиболее перспективных керамических материалов конструкционного и инструментального назначения и используется в технологии получения деталей газотурбинных и дизельных двигателей, узлов трения, уплотнительных колец насосов, элементов запорной арматуры, форсунок распылительных камер, фильер для протяжки проволоки, режущего инструмента. Также керамика на основе ZrO_2 находит применение в медицине для изготовления имплантантов в костные ткани.

1.4. Материалы ZrN свойства

ZrN, выращенный физическим осаждением из паровой фазы (PVD), представляет собой светло-золотистый цвет, подобный элементарному золоту. ZrN имеет удельное электросопротивление комнатной температуры $12\mu\Omega\cdot\text{см}$, температурный коэффициент удельного сопротивления $5,6\cdot 10^{-8}\text{ Ом}\cdot\text{см}/\text{К}$, температуру сверхпроводящего перехода $10,4\text{ К}$ и параметр релаксированной решетки $0,4575\text{ нм}$. Твердость монокристалла ZrN составляет $22,7 \pm 1,7\text{ ГПа}$, а модуль упругости - 450 ГПа .

Нитрид циркония является твердым керамическим материалом, подобным нитрид титана и представляет собой огнеупорный материал цементно-подобные. Таким образом, он используется в огнеупорах, керметах и лабораторных тиглях. При применении с использованием процесса нанесения покрытия методом физического осаждения из паровой фазы он обычно используется для покрытия медицинских изделий [5] промышленных деталей (особенно буровых долот), автомобильных и аэрокосмических компонентов и других деталей, подверженных высоким износостойким и агрессивным средам.

На диаграмме Zr-N (рисунок.5) показаны газовая фаза, жидкая фаза, раствор азота в BCC-Zr ($\beta\text{-Zr}$) и раствор азота в HCP-Zr ($\alpha\text{-Zr}$), а также нестехиометрический FCC $\sigma\text{-ZrN}_x$, где $x < 1$ при N % меньше, чем 50. Сообщение о фазе ZrN₄ в области однофазной $\sigma\text{-ZrN}_{1-x}$; Система азота циркония состоит из одной нитридной фазы $\sigma\text{-ZrN}_{1-x}$, аналогичной карбиду, где отношение N / Zr < 1. Gribaudo et al. [8] также указывают, что существует фаза $\sigma\text{-ZrN}_x$, где $x = 0,5-1$ ниже 50 % N, аналогичная Zr-C система; однако выше 50 % N твердая фаза ZrN и газовая фаза N₂ существуют без высших нитридов.

Фаза ZrN_x на границе богатого Zr была исследована с использованием нескольких методов, таких как металлография, рентгеновская дифракция (XRD), твердость и электросопротивление. Eron'yan et al. [9] использовали давление паров и XRD для определения конгруэнтного плавления фазы ZrN_x при близкой к 3673 К при парциальном давлении N₂ * 6 Мпа.

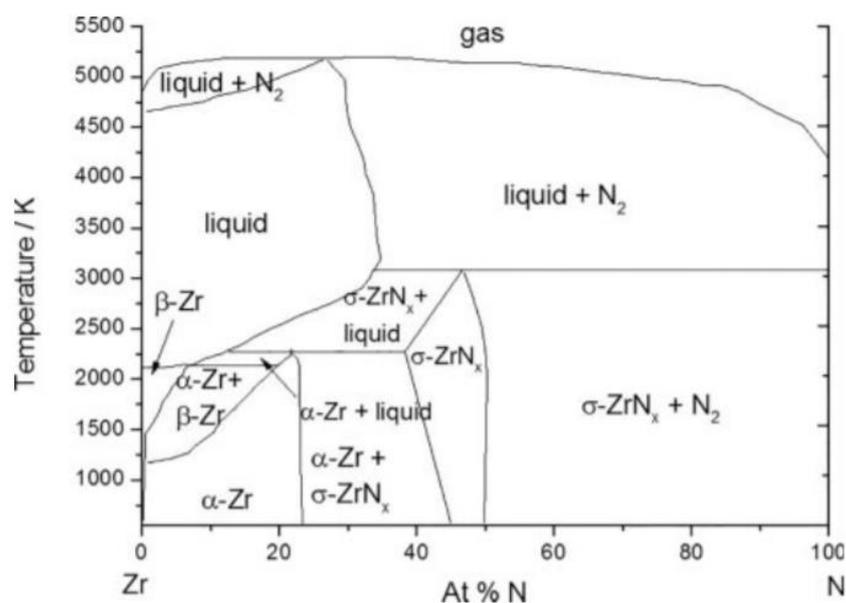


Рисунок 5 – фазовая диаграмма системы Zr – N

Тройные фазы циркония, кислорода и азота представляют интерес для многих применений из-за их необычных тепловых, электрических и механических свойств. [10-12] Однако относительно относительно высоких высокотемпературных фаз известно немного. В частности, не сообщалось о плавлениях в тройных системах Zr-O-N. Для двоичных систем Zr-O и Zr-N отношения плавления известны относительно хорошо.

1.5.Технология получения высокоэнтропийной керамики

1.5.1.Механическое измельчение порошков и механосинтез

Различают следующие методы получения порошков: механические и физико-химические. Под механическими методами получения порошков понимают такие технологические процессы, при которых в результате действия внешних механических сил исходный металл измельчается в порошок без изменения его химического состава. Под физико-химическими методами получения порошков понимают такие технологические процессы, при которых вследствие глубоких физико-химических превращений металл или сплав переходит в порошкообразное состояние. При этом полученный порошок может отличаться по химическому составу от исходных продуктов.

Измельчение в шаровых вращающихся мельницах. Простейшим аппаратом для измельчения является шаровая вращающаяся мельница,

которая представляет собой стальной цилиндрический барабан, внутри которого находятся размольные тела, чаще всего стальные или твердосплавные шары. Важную роль играют скорость вращения мельницы, количество размольных тел и их форма, масса материала, загруженного на измельчение, продолжительность и среда размола

Основой механического измельчения является механическая обработка порошков или их смесей в мельницах. В результате механического воздействия в приконтактных областях частиц происходит значительная пластическая деформация. Уменьшение возникающих напряжений может проходить путем образования новой поверхности, выделения тепла, возникновения различных дефектов в кристаллах, инициированием твердофазных химических реакций [6-9]. Преимущественное направление релаксации зависит от мощности подведенной энергии, соотношения между сдвигом и давлением, формы и размеров частиц.

Если в процессе механического помола порошков изменяется реакционная способность веществ и стимулируются химические реакции с образованием новых соединений, то такой процесс называется механохимическим синтезом или механосинтезом. Результаты последних исследований в области механосинтеза подробно освещены в обзоре [11].

Для размола и механохимического синтеза применяют планетарные, шаровые и вибрационные мельницы; средний размер получаемых нанокристаллов в порошках может составлять от 5 до 200 нм. Для провоцирования разрушения измельчение часто проводится в условиях низких температур. На эффективность измельчения оказывает влияние соотношение массы шаров и измельчаемой смеси, которое обычно поддерживается в интервале от 5:1 до 40:1. Во время размола материал подвергается высокоскоростной деформации большой степени. Высокий уровень внутренних напряжений создается из-за большой плотности внесенных во время деформации дислокаций, дисклинаций, вакансий и других дефектов кристаллической решетки.

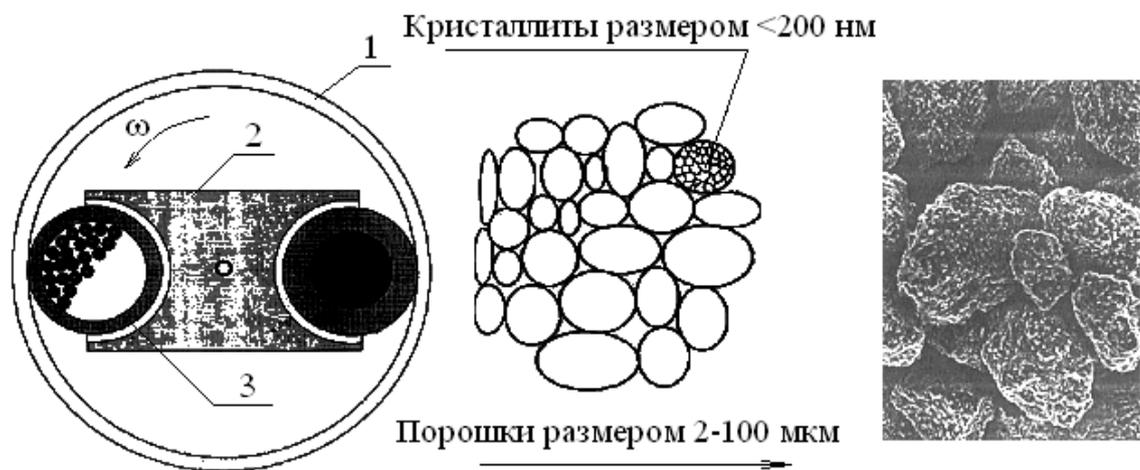


Рисунок 6– Схема помола субмикронных частиц в планетарной мельнице: 1 – корпус, 2 – водило, 3 – размольные стаканы с мелющими телами

Дислокационные скопления претерпевают возврат и образуют ячеистую упорядоченную структуру, а деформационные субструктуры могут преобразовываться по мере увеличения степени накопленной деформации в новые большеугловые границы зерен. Несмотря на более интенсивный возврат структуры, протекающий при больших временах обработки, уровень внутренних остаточных напряжений остается высоким. Примерно через 10 ч размола средний размер зерен выходит на насыщение, и дальнейшее воздействие не приводит к еще большему измельчению структуры. Это время является критическим и для внутренних упругих напряжений, которые начинают уменьшаться после 10 ч. Снижение внутренних упругих напряжений при продолжении процесса размола объясняется тем, что при уменьшении среднего размера зерна в нанокристаллическую область (<10 нм) требуется слишком высокий уровень внешних воздействий для генерации новых дислокаций, и дислокационные скопления могут состоять лишь из 2-3 дислокаций. Минимально возможный размер зерна, получаемый при помоле можно оценить выражением:

$$d_{кр} = 3Gb / (1 - \nu)H,$$

где G – модуль сдвига, ν - коэффициент Пуассона, b – вектор Бюргерса, H – твердость материала.

Это выражение определяет такой критический уровень накопленных во время деформации напряжений, при достижении которого уже невозможно получить дислокационное скопление, состоящее из 2 дислокаций. Данная модель предполагает, что чем труднее идет процесс возврата в материале, тем сильнее можно измельчить микроструктуру. Это подтверждается экспериментально тем фактом, что материалы с более высокой температурой плавления (и соответственно с более высокой температурой начала возврата структуры) измельчаются сильнее. Любые способы задержки процесса возврата в структуре (многофазные материалы, композиты и т.д.) приводят к меньшему размеру зерна при измельчении при шаровом размоле.

1.5.2.Формование порошков

Холодное статическое одноосное прессование в закрытой жесткой пресс-форме

Прессование – формование порошковых металлов – является одной из трудоёмких операций порошковой металлургии, в результате которой под действием приложенного усилия из бесформенного сыпучего порошка получается относительно прочное тело – прессовка, близкая по форме и размерам к форме и размерам готового изделия с учётом изменения размеров при спекании дальнейшей обработке. Прессование порошковых материалов складывается из приготовления смеси порошков заданного химического и гранулометрического составов, дозировки и засыпки смеси в пресс-форму, собственно прессования, выпрессовки заготовок и контроля качества. Условия прессования (давление, схема, холодное, горячее и т.п.) определяют физико-химические и механические свойства готовых изделий, их эксплуатационное назначение.

Зависимость между давлением прессования и плотностью прессовок. Увеличение плотности прессовок с повышением давления происходит неравномерно. На первом этапе прессования (рисунок 8) самое наибольшее повышение давления уже вызывает значительное увеличение плотности

прессовок, а при дальнейшем прессовании, наоборот, даже очень большое давление приводит лишь к незначительному увеличению плотности [6]

Процесс протекает в закрытой со всех сторон пресс-форме при комнатной температуре и атмосферном давлении (рисунок 7). При этом происходит уплотнение порошка за счет уменьшения объема пор, повышения удельной поверхности соприкосновения частиц, увеличения текучести порошка, происходят упруго-пластические деформации или хрупкое разрушение частиц и их агломератов на поверхностях контакта. Вследствие чего, деформируемое порошковое тело упрочняется. В общем случае процесс холодного прессования состоит из трёх стадий (рисунок 8). На первой стадии в полость матрицы засыпается необходимое количество порошка, затем в зависимости от выбранного метода прессования (одностороннее или двухстороннее), к пуансоном прикладывается давление, последней стадией холодного прессования является выпрессовка.

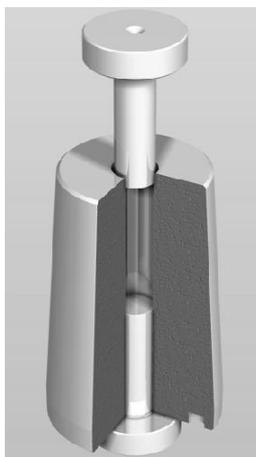


Рисунок 7 – Пресс – форма для одноосного прессования

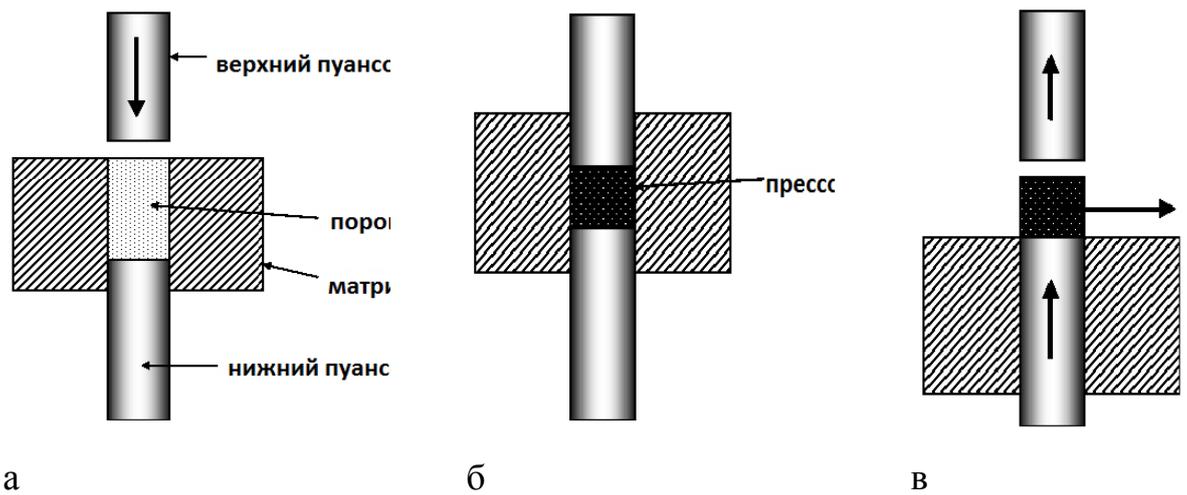


Рисунок 8 – Стадии холодного прессования: а) засыпка порошка, б) прессование, в) выпрессовка

В результате холодного прессования в закрытых пресс-формах получается прессовка, по форме и соотношению размеров соответствующая готовой детали с припусками, необходимыми для прохождения последующих операций.

1.5.3.Спекание

Спекание порошковых материалов – это тепловая обработка свободно насыпанного порошка или прессованных заготовок при $0,7 \dots 0,9$ абсолютной температуры плавления металла порошка в однокомпонентной системе или ниже температуры плавления основного металла в многокомпонентной системе порошков. Спекание состоит из нагрева изделий до заданной температуры, изотермической выдержки при этой температуре и охлаждения до комнатных температур.

В металловедении под термином «спекание» понимают одну из важнейших технологических операций порошковой металлургии, при которой в результате диффузионных, рекристаллизационных и других процессов при термической обработке из свободно насыпанного или уплотнённого конгломерата частиц порошка создаётся единое тело, обладающее определённой структурой и свойствами. С позиции физической химии твёрдого тела спекание представляет собой сложный многоступенчатый самопроизвольный кинетический процесс приближения конгломерата частиц к термодинамическому равновесному состоянию .

В пористых порошковых компактах в частицы соприкасаются лишь на отдельных участках меньшего размера по сравнению с сечением частицы. При спекании прессовки происходят увеличение площади контакта между частицами и сближение их центров. Однако вследствие того, что одни частицы в местах контакта более благоприятно ориентированы, чем другие, взаимное припекание частиц начинается в разные моменты, следовательно, будет наблюдаться временная зависимость числа контактов, где началось спекание. Увеличение площади контактов между частицами и сближение центров частиц эквивалентно исчезновению части объема, занятого порами. Важнейший вопрос теории и практики спекания порошковых тел – определение кинетики спекания. Авторами [20] разработана методика определения кинетики спекания НП, использующая следующие уравнения:

$$V_t/V_n = \exp(-K\tau^n),$$

где V_n – начальный объем пор, V_τ – объем пор в момент времени τ . Константа K может быть записана в виде

$$K = K_0 \exp(-nQ_1/RT),$$

где K_0 – константа, обычно независимая от температуры; R – универсальная газовая постоянная; T – температура; Q_1 – энергия активации спекания. После двойного логарифмирования (3) и с учетом (4) получили

$$\ln \ln(V_n/V_\tau) = n \ln K_0 - nQ_1/RT + n \ln \tau,$$

После дифференцирования при постоянной температуре параметр n можно определить по формуле

$$n = d \ln \ln(V_n/V_\tau) / d \ln \tau,$$

Соответственно после дифференцирования по времени энергию активации спекания можно определить по формуле

$$Q_1 = -(R/n) d \ln \ln(V_n/V_\tau) / d T^{-1}, \quad (1.7)$$

Термодинамическим условием жидкофазного спекания, так же как и твердофазного, является стремление системы к минимальной поверхностной энергии. Основная усадка в процессе жидкофазного спекания при удовлетворительном смачивании твердых частиц жидкостью обусловлена, во-первых, стягиванием и перегруппировкой частиц под действием капиллярных сил жидкой фазы и, во-вторых, переносом материала твердых частиц через жидкую фазу. Наибольшая часть уплотнения достигается в процессе стягивания и перегруппировки твердых частиц. При жидкофазном спекании систем с взаимодействующими компонентами эффективное уплотнение достигается при меньших количествах жидкой фазы вследствие дополнительной, но более медленной усадки за счет перекристаллизации через жидкую фазу и диспергирование крупных частиц при проникновении расплава по границе зерен, подстройке их формы и коалесценции за счет растворения и осаждения. Значительное влияние на окончательное уплотнение при жидкофазном спекании систем с взаимодействующими компонентами оказывает процесс аккомодации формы сближающихся твердых частиц. Это особенно важно при малых количествах жидкой фазы.

1.5.4. Горячее прессование

Горячем прессованием (называемое случаем и спеканием под давлением) представляет собой комбинированный процесс прессования и спекания. В зависимости от того что характеристики порошков и ряда других факторов процесс как обычно проводят при температуре 0,5-0,8 от точки плавления формованных материалов и при удельных давлениях от одного до десятка мегапаскалей.

Горячее прессование позволяет реализовать увеличение текучести материалов, наблюдаемых с повышением температуры, и в ряде случаев получить практически непроницаемые продукты. Благодаря того что более низким температурам и меньшей длительности процесса, по сравнению с обычным спеканием, кристаллы роста ограничены, и мелкозернистая структура материала достигается. В то же время этот способ обещает даже тогда, когда полное спекание материала не требуется. В этом случае заданная плотность пористого керамического материала достигается при более низких температурах, чем при обычном спекании. Снижение температуры спекания позволяет свести к минимуму роста зерен, чтобы регулировать пористость и получать материал с повышенной прочностью. Выбор режимов процесса, можно стимулировать увеличение роста кристаллов, необходимого для производства керамики [8]. Процесс горячего прессования является менее чувствительным к определенным физическим свойствам и технологическим характеристикам сырья (в частности, диффузионная подвижности и распределении зерна), который играет исключительную роль во время нормального погружения. В то же время в ходе этого процесса начальная активность порошков играет важную роль (по сравнению с обычным спеканием). При горячем прессовании большой вклад в спекание, связанный с активным состоянием исходных компонентов, в связи с самой короткой продолжительностью процесса. Это позволяет (в отличие от обычного спекания) в большей степени переходного равновесия структуры порошков в область температурного завершения процесса.

Поскольку во время горячего прессования временная технологическая связь обычно не требуется, одна из причин возникновения пористости или некоторых возможных дефектов материала устраняется.

В то же время при горячем прессовании, операции прессования и спекания производятся также одновременно, этот процесс имеет свои особенности. В отличие от холодного прессования, давление значительно увеличивается, что необходимо для прохождения процесса спекания, который, в свою очередь, при внешнем давлении, в свою очередь, значительно уменьшается (по сравнению с обычным спеканием). Давление прессования в этом процессе, может быть уменьшена на порядок или больше по сравнению с обычным прессованием. В то же время, с горячим прессованием, температура процесса, как правило, 100 - 400 ° С ниже, чем при обычном спекании, что в некоторых случаях может исключить нежелательные процессы, связанные с высокой температурой. Последние в случае получения керамики, например тип ЦТС, позволяют исключить испарение Ий, отмечающееся прите обычное спекание [9].

Технология получения продуктов горячим прессованием состоит из следующих основных операций: подготовка порошков, подготовка пресс-форм, загрузка в них порошка и статическое прессование на холоде и горячее прессование; возможная термическая обработка — отжиг (например, в порошковой металлургии), а в отдельных случаях — и механическая обработка.

Макеты установок для процесса горячего прессования чрезвычайно разнообразны. На рисунке 9 показано, например, схема установок и форм для горячего прессования в соответствии с данными[9].

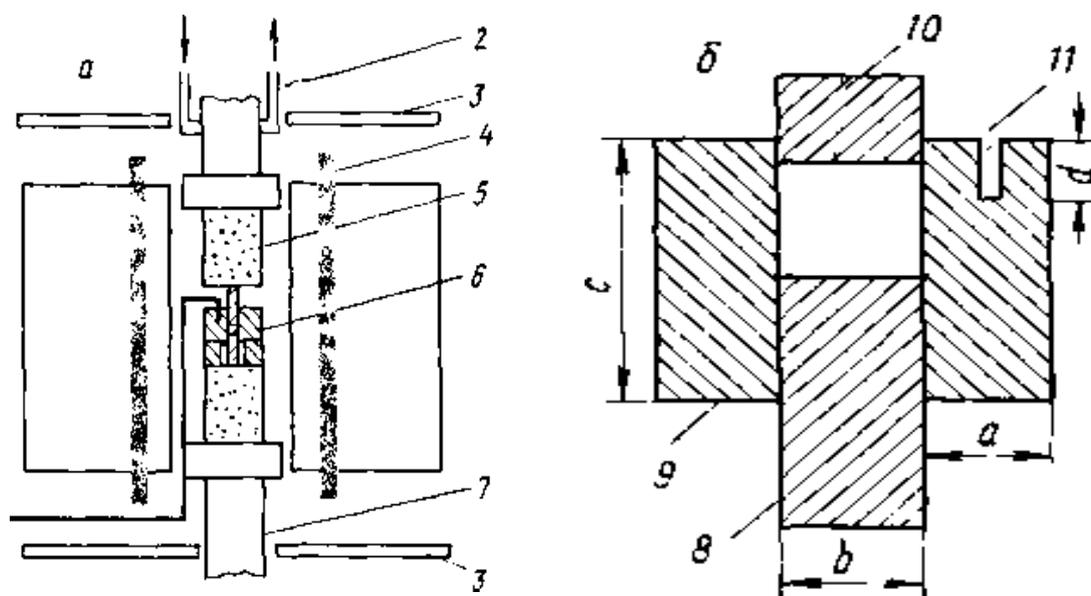


Рисунок 9 — Схема установки (а) и прессформы (б) для горячего прессования: 1 — термопара; 2 — система водного охлаждения; 3 — металлическая теплоотражающая плита; 4 — нагревательный силитовый стержень; 5 — корундовый стержень для передачи давления; 6 — прессформа; 7 — подвижный пуансон; 8 — нижний пуансон; 9 — корпус формы; 10 — верхний пуансон; 11 — щель для термопары

Установка состоит из печи и механизма прессования под высоким давлением. Печь имеет кольцевую форму и нагревается нагреванием силикатных стержней. Формовочный механизм снабжен регулирующим устройством, которое позволяет поддерживать постоянное давление [9].

Основная трудность метода горячего прессования заключается в выборе материала технологического оборудования (матриц, пуансонов). Материалы в связи с тяжелыми условиями работы должны обладать высокой механической и химической стойкостью, теплостойкостью, теплопроводностью и износостойкостью в температурном диапазоне горячего прессования. Наиболее сложный вопрос заключается в обеспечении механической прочности форм при температурах процесса. В большинстве случаев используются графитовые формы. В зависимости от типа и размера продуктов при горячем прессовании в графитовых формах температуры от 2000 — 2500 °С при $P_{\text{уд}} = 50 \div 100$ МПа. Однако части графита в воздушной

среде постепенно сжигаются и, кроме того, могут оказывать восстанавливающее воздействие на некоторые керамические материалы[9].

1.6 Перспективы развития высокоэнтروпийных керамических систем

Высокоэнтропийные керамические материалы, имеющие место в последнее время успешная замена в ряде случаев металлических материалов керамикой в конструкционном применении указывает на то, что увеличение объёма использования керамики в машиностроении, станкостроении, атомной энергетике, ракетостроении обеспечит качественный скачок в развитии отрасли, в том числе за счёт увеличения допустимой температуры эксплуатации и, как следствие, мощности силовых агрегатов. Это объясняется присущим керамическим материалам уникальным сочетанием свойств, выгодно отличающим их от металлов - высокая температура плавления, малый удельный вес, высокая прочность, жёсткость. Однако, несмотря на хорошие перспективы использования керамик в технике, актуальным остаётся вопрос о присущей им высокой хрупкости. Низкая устойчивость к дефектам, неконтролируемое распространение трещин - основные причины ограничения использования керамик в технике.

Решение проблемы низкой живучести и надёжности керамических конструкций находится одновременно и в плоскости создания новых материалов с превосходным комплексом свойств по сравнению с существующими керамиками, и в плоскости организации структурно-фазового состояния, обеспечивающего эффективное сопротивление зарождению и распространению трещин.

С точки зрения создания новых керамических материалов одним из перспективных направлений является энтروпийная стабилизация многокомпонентных систем. Минимизация свободной энергии Гиббса обеспечивает термодинамическую стабильность высокоэнтропийных систем при высоких температурах и аномальные физические характеристики. Развитие подхода энтропийной стабилизации многокомпонентных твёрдых

растворов оксидов, боридов, карбидов металлов позволит получить керамические материалы с новыми эксплуатационными характеристиками, в том числе, в ракурсе сохранения керамической структуры и состава в условиях трибосопряжения.

Высокоэнтропийные керамические материалы, получены методом традиционного прессования, спекания, порошковой металлургии как покрытие и пленка, с высокой твердостью, высокой термостойкостью, стойкостью к окислению и коррозионной стойкостью. В частности, высокоэнтропийный керамический материал может быть применен к следующим аспектам. (1) Высокоэнтропийная керамика обладает высокой термостойкостью, коррозионной стойкостью и износостойкостью, которые могут быть использованы для изготовления турбинных лопаток. Его превосходная коррозионная стойкость, износостойкость и устойчивость к высоким температурам обеспечивают долговременную и стабильную работу турбинных лопаток, повышают безопасность обслуживания и уменьшают износ лопаток и коррозионное повреждение.

(2) Высокоэнтропийная керамика обладает хорошей пластичностью и прочностью при достижении высокой твердости. Высокоэнтропийная керамика имеет очевидные преимущества при изготовлении высокоскоростных режущих инструментов.

(3) В связи с развитием аэрокосмической промышленности и сильной потребностью в высокопроизводительных материалах, а также быстрым развитием таких отраслей 3С, как мобильные телефоны и компьютеры, исследования легких керамических изделий с высокой энтропией требуют большего внимания.

(4) Благодаря отличным свойствам высокоэнтропийной керамики при высокой температуре, больше и больше ученых начинают исследование в

сфере высокоэнтропийной керамики. В будущем, необходимо строить механизм между свойствами и структурами при высокой температуре.

(5) Высокоэнтропийная керамика обладает отличными антирадиационными свойствами, поскольку, можно применять в радиационной промышленности.

(6) Высокоэнтропийная керамика имеет высокую температуру плавления, жаропрочность и устойчивость к коррозии жидких металлов и широко используется в атомной энергетике, электронике, химической, механической, аэрокосмической и военной промышленности.

(7) Важным направлением для изучения высокоэнтропийной керамики, является исследование композиционного материала на основе высокоэнтропийной керамики. и выбор улучшенной фазы имеет решающее значение для улучшения ее характеристик. Среди них фазы, усиленные керамическими частицами, такие как TiC, TiB, TiB₂ и B₄C, имеют высокую температуру плавления, высокую химическую стабильность, высокую удельную прочность и высокую удельную жесткость, что, как ожидается, станет горячей точкой исследования композитов с высокой энтропийной керамической матрицей.

2. Экспериментальная часть

2.1 Исходные материалы

Использовали промышленный нанокристаллический оксидный порошок (НП) ZrO_2 , полученный методом плазмохимического синтеза марки УДПО ВТУ 4-25-90. Частицы порошка имели характерную форму полых сфер, состоящие из нанокристаллитов и аморфизованной межзеренной фазой. Размер сфер варьируется в пределах 100-1000 нм, размер кристаллитов, образующих сферу, составляет 50-100 нм.

Также в работе использовали промышленные порошки ZrC , TiC и ZrN .



ZrO_2



ZrN



ZrC



TiC

Рисунок 10-Исходные порошки

Определение гранулометрического состава порошков методом секущих

1. Навеску порошка массой 100 г тщательно перемешать, небольшое количество перенести на предметное стекло и поместить на стол микроскопа.

2. Навести микроскоп на резкость. Подобрать увеличение таким образом, чтобы наибольшие частицы занимали до 3 – 5 делений шкалы окуляр-микрометра.

3. Измерить размеры и подсчитать количество частиц, лежащих на шкале окуляра в следующем порядке: <1 дел., 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 дел., данные внести в таблицу (таблицы 1-5).

4. Поворачивая шкалу, повторить измерения в 3 – 4 ее положениях, затем повторить пп.1 – 4 на 3 – 4 полях зрения.

5. Определить цену деления шкалы окуляра, пересчитать размеры частиц в мкм, внести в таблицу.

6. Вычислить средний размер частиц каждой фракции по формуле:

$$d_{\text{cp}} = (d_{\text{min}} + d_{\text{max}})/2, \text{ мкм}$$

где d_{min} и d_{max} - предельные размеры частиц данной фракции, затем средний объем одной частицы фракции:

$$V_{\text{ч}} = d_{\text{cp}}^3, \text{ мкм}^3,$$

средний объем всех частиц каждой фракции:

$$V_{\text{ф}} = nV_{\text{ч}}, \text{ мкм}^3,$$

и общий объем всех частиц всех фракций:

$$V_{\text{общ}} = \Sigma V_{\text{ф}}, \text{ мкм}^3.$$

7. Определить гранулометрический состав порошка по формуле:

$$X = (V_{\text{ф}}/V_{\text{общ}})/100\%.$$

Данные измерений частиц порошков ZrN, ZrO₂, TiC, TiO₂ и ZrC методом секущих внесены в таблицы 3-7. По результатам измерений построены диаграммы распределения частиц по размеру.

Таблица 3 – Данные гранулометрического анализа порошка ZrN

№ поля	№ сечения	Количество частиц				
		<1 дел.	1-2 дел.	2-3 дел.	3-4 дел.	4-5 дел.
1	1	6	10	6	5	4
	2	4	8	10	3	3
	3	4	9	7	4	3
2	4	3	6	8	2	3
	5	9	7	4	3	1
	6	7	9	9	2	3
3	7	12	11	10	9	2
	8	15	10	8	3	5
	9	8	6	6	3	2
4	10	7	11	10	6	5
	11	8	10	9	5	6
	12	7	5	5	3	1
Количество частиц каждой фракции n		90	102	92	48	38
d_{\min} , мкм		0	4	8	12	16
d_{\max} , мкм		4	8	12	16	20
$d_{\text{ср}}$, мкм		2	6	10	14	18
$V_{\text{ч}}$, мкм		8	216	1000	2744	5832
$V_{\text{ф}}$, мкм ³		720	22032	92000	131712	221616
$V_{\text{ообщ}}$, мкм ³		468080				
X, %		0,15	4,71	19,65	28,14	47,35

Распределение частиц порошка ZrN по размеру

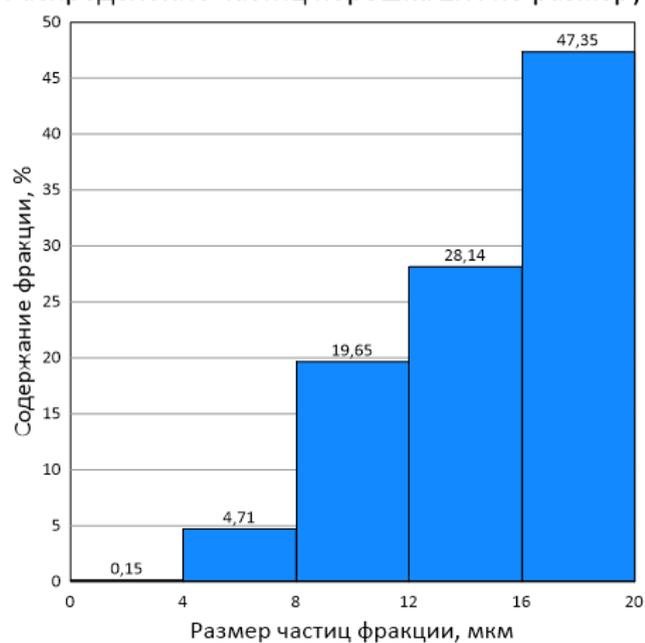


Таблица 4 – Данные гранулометрического анализа порошка ZrO_2

№ поля	№ сечения	Количество частиц				
		<1 дел.	1-2 дел.	2-3 дел.	3-4 дел.	4-5 дел.
1	1	2		2	4	4
	2	1	3	3	8	4
	3		4	3	5	5
2	4			3	4	
	5		3	4	2	1
	6			3	4	2
3	7		1	5	2	3
	8			5	3	6
	9		2	4	1	3
4	10		1	4	4	3
	11		2	3	2	
	12		4	5	2	3
Количество частиц каждой фракции n		3	20	44	41	34
d_{min} , мкм		0	30	60	90	120
d_{max} , мкм		30	60	90	120	150
$d_{ср}$, мкм		15	45	75	105	135
$V_{ч}$, мкм		3375	91125	421875	1157625	2460375
$V_{ф}$, мкм ³		10125	1822500	18562500	47462625	83652750
$V_{общ}$, мкм ³		151510500				
X, %		0,01	1,20	12,25	31,33	55,21

Распределение частиц порошка ZrO_2 по размеру

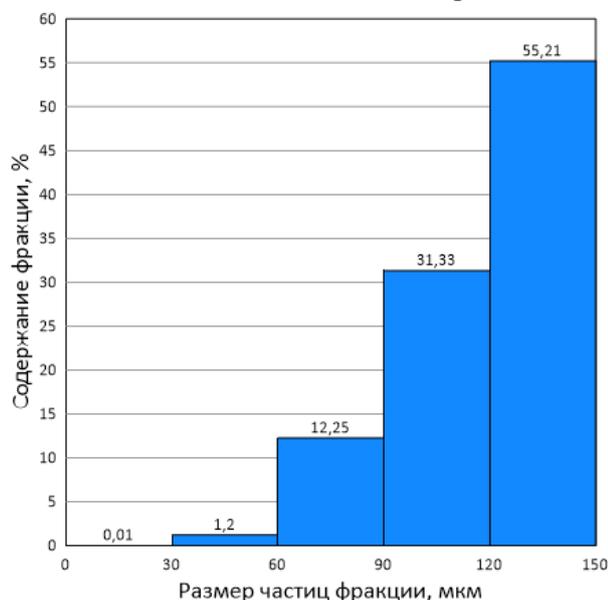


Таблица 5 – Данные гранулометрического анализа порошка TiC

№ поля	№ сечения	Количество частиц				
		<1 дел.	1-2 дел.	2-3 дел.	3-4 дел.	4-5 дел.
1	1	3	15	6	1	1
	2	4	10	6	4	5
	3	1	6	3	2	2
2	4		8	3	4	1
	5	3	6	4	1	
	6	2	5	4		
3	7	5	10	3	2	
	8	1	5	3	3	1
	9	6	4	2	1	1
4	10	2	6	5	2	2
	11		4	5	2	3
	12	4	5	2	3	
Количество частиц каждой фракции n		31	84	46	25	16
d_{\min} , мкм		0	4	8	12	16
d_{\max} , мкм		4	8	12	16	20
$d_{\text{ср}}$, мкм		2	6	10	14	18
$V_{\text{ч}}$, мкм		8	216	1000	2744	5832
$V_{\text{ф}}$, мкм ³		248	18144	46000	68600	93312
$V_{\text{общ}}$, мкм ³		226304				
X, %		0,11	8,02	20,33	30,31	41,23

Распределение частиц порошка TiC по размеру

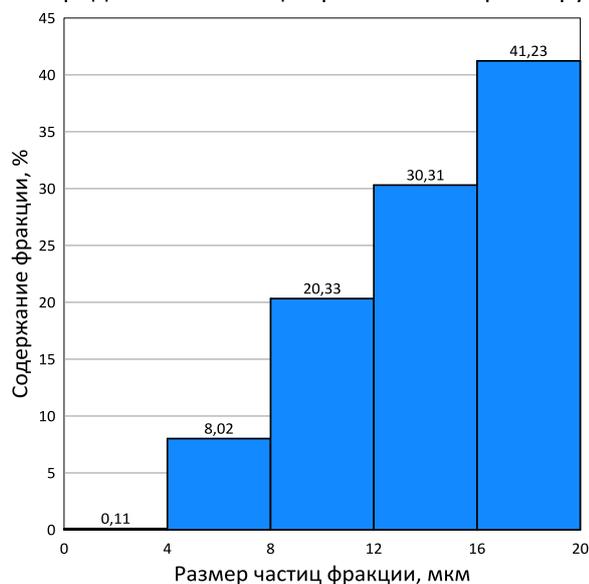


Таблица 6 – Данные гранулометрического анализа порошка ZrC

№ поля	№ сечения	Количество частиц				
		<1 дел.	1-2 дел.	2-3 дел.	3-4 дел.	4-5 дел.
1	1	1	5	4	2	7
	2	2	2	5	5	1
	3		3	6	2	2
2	4	4	4	10	7	3
	5	5	4	7	3	2
	6	1	8	11	6	3
3	7	7	8	14	11	3
	8	5	5	6	2	4
	9	2	7	4	2	1
4	10	6	10	10	6	5
	11	6	5	7	4	1
	12	6	13	10	3	4
Количество частиц каждой фракции n		45	74	94	53	36
d_{\min} , мкм		0	30	60	90	120
d_{\max} , мкм		30	60	90	120	150
$d_{\text{ср}}$, мкм		15	45	75	105	135
$V_{\text{ч}}$, мкм		3375	91125	421875	1157625	2460375
$V_{\text{ф}}$, мкм ³		151875	6743250	39656250	61354125	88573500
$V_{\text{общ}}$, мкм ³		196479000				
X, %		0,08	3,43	20,18	31,23	45,08

Распределение частиц порошка ZrC по размеру

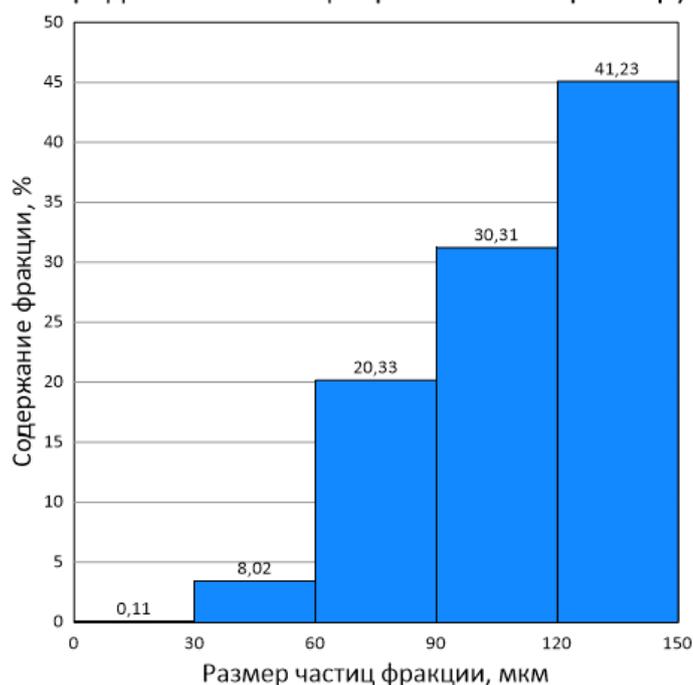
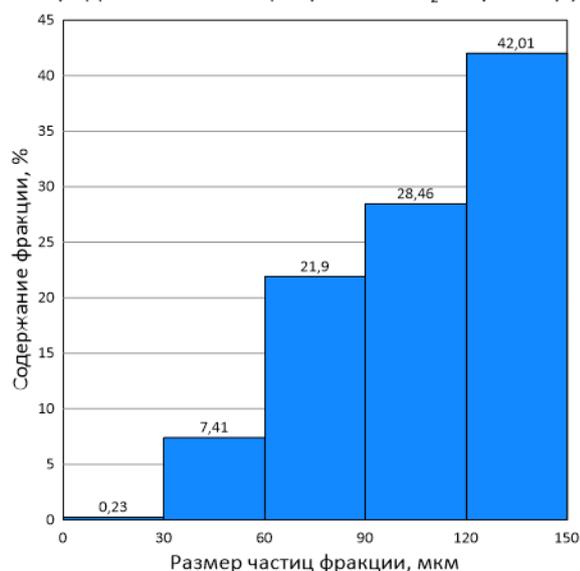


Таблица 7 – Данные гранулометрического анализа порошка TiO₂

№ поля	№ сечения	Количество частиц				
		<1 дел.	1-2 дел.	2-3 дел.	3-4 дел.	4-5 дел.
1	1	15	17	9	5	4
	2	11	6	10	5	2
	3	3	7	4	3	2
2	4	9	7	6	6	2
	5	10	12	7	3	4
	6	7	5	5	3	2
3	7	7	20	9	1	2
	8	3	7	4	3	2
	9	15	13	9	2	2
4	10	6	10	5		
	11	7	6	3	2	2
	12	6	9	5	3	1
Количество частиц каждой фракции <i>n</i>		99	119	76	36	25
d_{\min} , мкм		0	30	60	90	120
d_{\max} , мкм		30	60	90	120	150
$d_{\text{ср}}$, мкм		15	45	75	105	135
$V_{\text{ч}}$, мкм		3375	91125	421875	1157625	2460375
V_{ϕ} , мкм ³		334125	10843875	32062500	41674500	61509375
$V_{\text{общ}}$, мкм ³		146424375				
X, %		0,23	7,41	21,90	28,46	42,01

Распределение частиц порошка TiO₂ по размеру



Определение гранулометрического состава порошков ситовым анализом

Для проведения ситового анализа сита устанавливаются друг над другом. Наверху помещается сито с самыми крупными ячейками, а в низу – с самыми мелкими. Для анализа берется навеска 30 г, которая насыпается на верхнее сито и просеивается с помощью вибропривод ВП-С/220 в течение 9 минут.

После просева каждая фракция взвешивалась. Процентное содержание каждой фракции определялась по формуле:

$$X = \left(m_n / \sum m_n \right) \cdot 100\%$$

где m_n – масса определенной фракции.

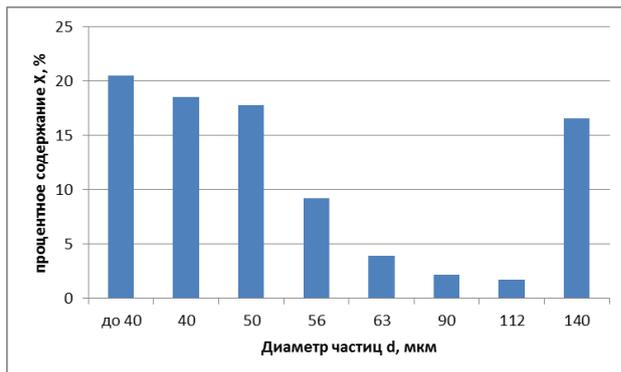
В таблице 1 представлены результаты исследования гранулометрического состава порошков TiC, ZrN, ZrO₂, ZrC методом ситового анализа.

Таблица 8 – гранулометрический состав порошков

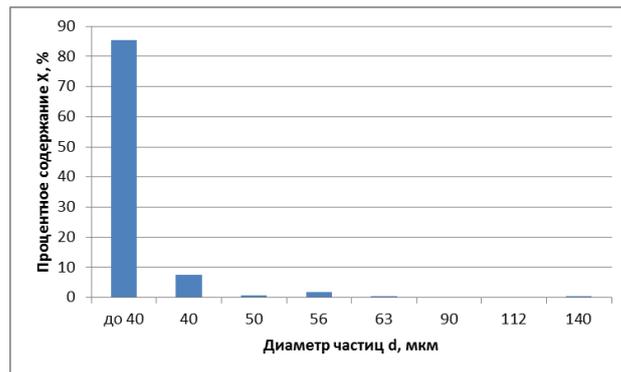
Фракция частиц	Содержание фракции, %			
	TiC	ZrN	ZrO ₂	ZrC
+140	16,57	0,5	97,03	6,67
+0,112	1,73	0,267	1,5	18,4
+0,090	2,13	0,167	0,8	3,1
+0,063	3,93	0,431	0,167	4,3
+0,056	9,2	1,73	0	2,9
+0,050	17,77	0,833	0	0,27
+0,040	18,5	7,5	0	0,13
-0,040	20,5	85,5	0	0

На рисунке 11 представлено распределение размеров частиц.

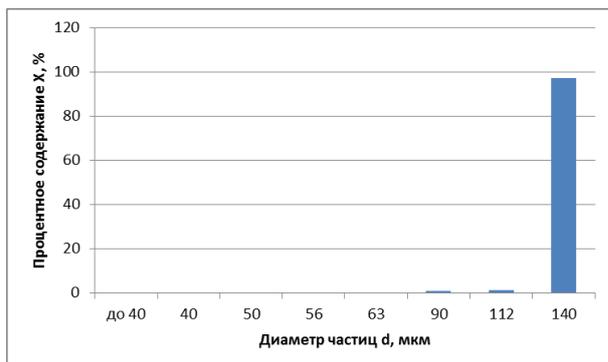
А)



Б)



В)



Г)

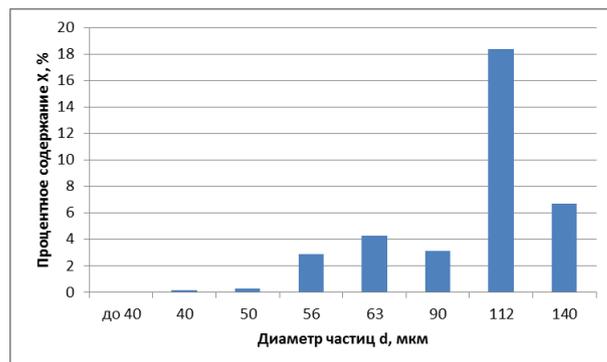


Рисунок 11 – Распределение размеров частиц: а – карбида титана, б – нитрида циркония, в – диоксида циркония, г – карбида циркония

Смешивание порошков

Смешивание проводилось на планетарной мельнице Активатор 2SL (Рисунок 1) для получения более высокой дисперсности порошковых смесей.

Для смешивания приготовлено 3 смеси порошков

	ZrO ₂	ZrN	TiC	ZrC
1	33%	33%	34%	0%
2	33%	34%	0%	33%
3	50%	50%	0%	0%

Основные компоненты планетарной мельницы также показаны на рисунке 12:

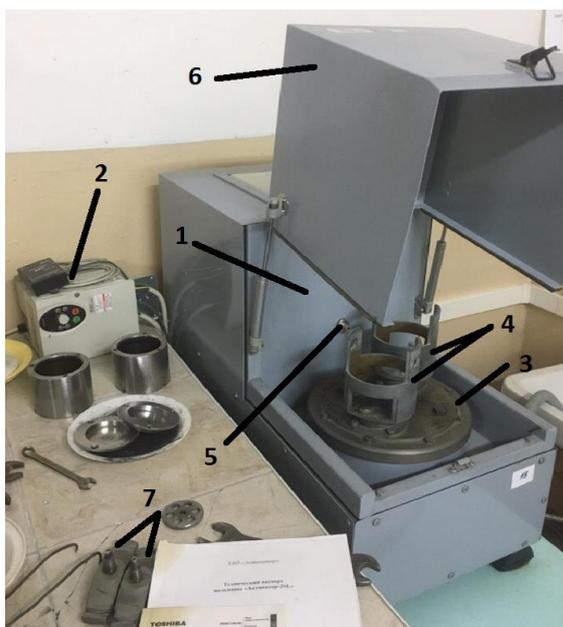


Рисунок 12 – Планетарная мельница активатор 2SL: 1 – камера 2 – комплект контроля скорости вращения 3 – вал электродвигателя 4 – барабаны 5 – кран для подачи воды 6 – крышка, 7 - крепежи

Методика выполнения работы на планетарной мельнице

В барабаны 4 устанавливаются размолочные сосуды (рисунок 2) в которые засыпается порошок и мелющие тела (например, шарики из ZrO_2) в соотношении 1:4. Эти размолочные сосуды крепятся с помощью крепежей 7. После закрепления сосудов камера закрывается крышкой 6. Из крана 5 дается небольшая подача воды для охлаждения вала электродвигателя и самих барабанов. После этого установка готова к работе. С помощью комплекта контроля скорости вращения 2 назначается частота вращения вала. С помощью секундомера фиксируется время смешивания.



Рисунок 13 – Металлический стакан, размещенный в барабане

Режим работы планетарной мельницы: частота вращения вала – 20 Гц, время смешивания – 10 минут, масса смешиваемого порошка – 20 г, Масса мелющих тел – 60 г (15 шаров)

Формование порошка

Под формованием заготовок из порошковых материалов следует понимать процесс получения заготовок требуемых форм и размеров, а также достаточной прочности для последующего изготовления из них изделий. Формование предполагает уплотнение порошка. Процесс уплотнения порошкового материала в отличие от деформирования компактного металла сопровождается значительным изменением объема прессуемого тела. При прессовании порошок уплотняется за счет того, что его частицы смещаются по отношению друг к другу и впоследствии деформируются либо разрушаются. Применение достаточно большого давления при работе с порошками пластичных металлов позволяет добиваться уплотнения главным образом за счет пластической деформации, а при работе с хрупкими металлами и их соединениями – за счет разрушения и дробления частиц. Более высокой прочностью отличаются порошки, получаемые из пластичных металлов, а для придания необходимых прочностных характеристик

порошкам из хрупких металлов дополнительно используют специальные связующие жидкие компоненты.

Уплотнение производят на гидравлических или механических прессах, давление прессования составляет 200 – 1000 МПа в зависимости от свойств порошка и назначения изделия. Детали пресс-форм выполняют из высокоуглеродистых легированных сталей (инструментальных сталей), твердых сплавов. Стойкость стальных пресс-форм составляет 1 – 50 прессовок, пресс-форм из твердых сплавов – до 500 тыс. прессовок.

Наиболее широкое применение имеет холодное прессование. Прессование состоит из ряда операций: дозировка и засыпка шихты в пресс-форму, прессование, выпрессовка. В пресс-форму могут загружать брикеты из порошков строго по весу и затем производят прессование под давлением, зависящим от состава порошка и назначения изделия. Формование изделий осуществляется под большим давлением (30-1000 МПа) в металлических формах. Обычно используются жёсткие закрытые пресс-формы, пресс-инструмент ориентирован, как правило, вертикально. Смесь порошков свободно засыпается в полость матрицы, объёмная дозировка регулируется ходом нижнего пуансона. Прессование может быть одно- или двусторонним. Пресс-порошок брикетируется в полости матрицы между верхними и нижним пуансоном (или несколькими пуансонами в случае изделия с переходами). Сформированный брикет выталкивается из полости матрицы нижним пуансоном. Для формования используется специализированное прессовое оборудование с механическим, гидравлическим или пневматическим приводом. Полученная прессовка имеет размер и форму готового изделия, а также достаточную прочность для перегрузки и транспортировки к печи для спекания.



Рисунок 14 – Пресс Р 20

Холодное одностороннее статическое прессование образцов осуществлялось на прессе Р 20 при помощи жесткой пресс-формы (рисунок 14 и 15). Давление 100, 200, 300, 400, 500 Мпа.

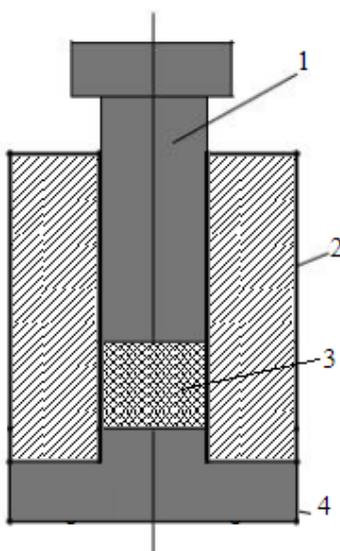


Рисунок 15 – Схема пресс-формы для одностороннего холодного прессования порошков: 1 – пуансон верхний; 2 – матрица; 3 – порошок; 4 – пуансон нижний (неподвижный)

Спекание прессовок

Спекание проводилось в Электропечи СНВЭ-1.3.1/16, которая предназначена для проведения различных термических процессов (отжига, дегазации, спекания и т.п.) в вакууме при температуре до 1500°C и небольших газовыделениях, при которых не происходит взаимодействия среды остаточных газов с нагревателями, теплоизоляцией и других элементов конструкции. Допускается работа в среде нейтральных газов повышенной чистоты при избыточном давлении не более 0,02 МПа (0,2 кгс/см²). Схема спекания представлена на рисунке 16.

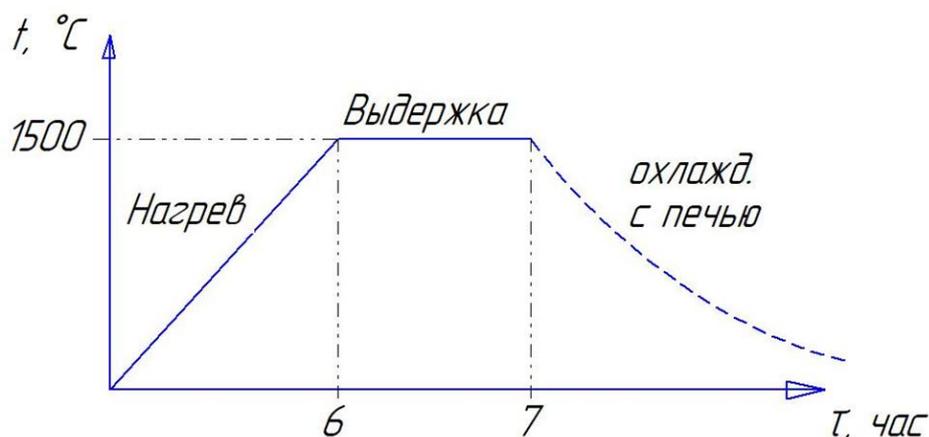


Рисунок 16 – Схема Спекание

Плотность спеченных образцов ρ определяли методом гидростатического взвешивания в 96%-ом этиловом спирте ($\rho_{\text{сп}}=0,807\text{г/см}^3$ при 20°C) с погрешностью $\pm 0,001$ г. Также рассчитывали относительную плотность образцов Θ в соответствии с выражением:

$$\Theta = \frac{\rho}{\rho_T} \cdot 100 \%,$$

где ρ_T – теоретическая плотность керамики.

Шлифование, полирование. Шлифование осуществляется путем истирания поверхности образца при последовательном переходе к всё более

и более мелкозернистому абразивному материалу. При каждой смене шкурки шлиф поворачивают на 90° . Шлифование предпринимается с целью уменьшить глубину деформированного металла до такой степени, чтобы последние его следы можно было удалить полированием.

Образцы полировали алмазными пастами, полученные микрошлифы исследовали с помощью микроскопического комплекса «Лабомет-М».

Индентирование осуществляли с помощью прибора Nano Indenter G 200 (рисунок 31). В качестве индентора использовали пирамиду Берковича, нагрузка составляла 500 мН (50 г). Конструкция прибора позволяет выводить диаграмму внедрения индентора на монитор в режиме реального времени. Первичные данные – нагрузка и глубина внедрения пирамиды. По диаграмме внедрения прибор автоматически рассчитывал модуль упругости E_{IT} и микротвердость H_{IT} в соответствии со стандартом ISO 14577.



Рисунок 17 – Nano Indenter G200

Экспериментальная первичная кривая «нагрузка – внедрение» (диаграмма внедрения), непрерывно получаемая в процессе индентирования, показана на рисунке 33. По диаграмме определяют следующие величины:

пиковая нагрузка и глубина внедрения индентора P_{\max} и h_{\max} , остаточная глубина после разгрузки h_f , и наклон начальной части кривой разгрузки $S = dP/dh$, который характеризует упругую жесткость контакта. При использовании в качестве индентора трехгранной пирамиды Берковича твердость исследуемой поверхности H определяется по следующей формуле:

$$H = \frac{P}{A} = 0,00387 \frac{P}{h_{\max}^2},$$

где P – нагрузка, прилагаемая к испытываемой поверхности, H , A – площадь отпечатка под нагрузкой, h_{\max} – глубина внедрения индентора, мм.

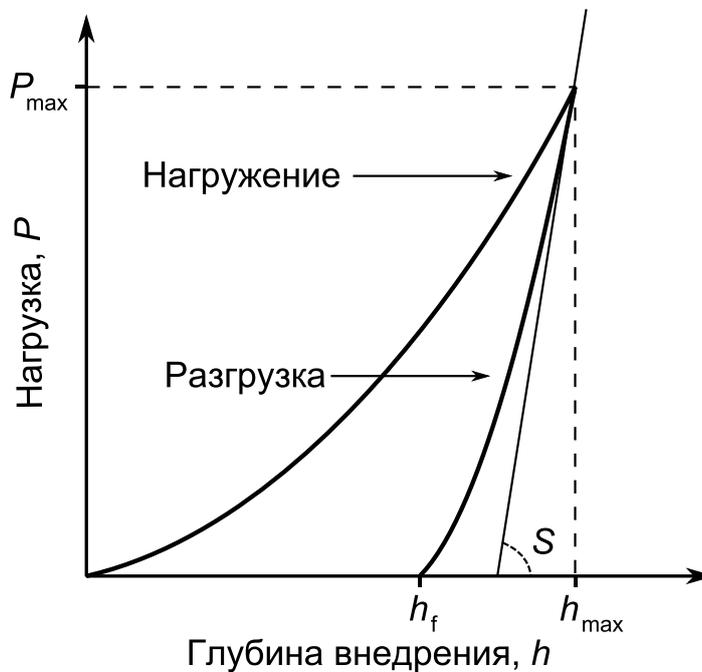


Рисунок 18 – Кривая «нагрузка – внедрение», получаемая в процессе индентирования

Модуль упругости исследуемого образца E определяется из приведенного модуля E_r , который рассчитывается по формуле:

$$E_r = \frac{(S\sqrt{\pi})}{2\beta\sqrt{A}}.$$

Здесь β является константой, которая зависит от геометрии индентора. Окончательно модуль упругости исследуемого материала E рассчитывается с помощью выражения:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{(1 - \nu^2)}{E} + \frac{(1 - \nu_i^2)}{E_i},$$

где ν – коэффициент Пуассона исследуемого материала, E_i и ν_i – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала индентора. Для алмаза $E_i=1141$ ГПа и $\nu_i=0,07$.

Прочность спеченной керамики определяли по методике «Scratch Testing» также с помощью прибора Nano Indenter G 200. Суть метода заключается в нанесении на исследуемую поверхность царапины заданной длины (200 мкм) под действием линейно возрастающей нагрузки (от 0 до 4 г), последующем определении глубины и ширины профиля. Прочность образцов рассчитывалась по формулам

$$\sigma = \frac{F_n}{A_s \sin \alpha} \text{ и } A_s = \frac{a^2}{2\sqrt{3} \sin \alpha} + \frac{ah}{\cos \alpha},$$

где F_n – нормальная нагрузка, A_s – проекционная площадь отпечатка от пирамиды Берковича, a и h – ширина и глубина профиля царапины на дистанции 200 мкм соответственно, α - угол, для пирамиды Берковича равный 65° .

2.2 Результаты экспериментов и их обсуждение

Измерение плотности образцов

С помощью микрометра и точных весов были измерены диаметр, высота и масса цилиндрических образцов. На основе этих измерений рассчитана их плотность до и после спекания.

Результаты измерения плотности порошков состава 1 и 2 представлены в таблицах. Соответствующие им графики приведены на рис.

Таблица 9 – Измерение плотности порошка состава 34%ZrN 33%ZrO₂ 33% TiC до спекания

	Диаметр d, см	Высота h, см	Средняя масса m, г	Объем V, см ³	Плотность ρ, г/см ³	Давление, МПа
1	1,045	0,705	1,897	0,604354	3,14	100
2	1,047	0,685	1,983	0,589459	3,36	200
3	1,046	0,645	1,97	0,553978	3,56	300
4	1,047	0,622	1,967	0,535246	3,67	400
5	1,047	0,59	1,92	0,507709	3,78	500

Таблица 10 – Измерение плотности порошка состава 34%ZrN 33%ZrO₂ 33% TiC после спекания

	Диаметр d, см	Высота h, см	Средняя масса m, г	Объем V, см ³	Плотность ρ, г/см ³	Давление, МПа
1	1,02900	0,69800	1,690000	0,580171	2,91	100
2	1,03700	0,67800	1,787000	0,572344	3,12	200
3	1,04000	0,64100	1,780000	0,544245	3,27	300
4	1,04100	0,61700	1,780000	0,524875	3,39	400
5	1,04300	0,58700	1,730000	0,501275	3,45	500

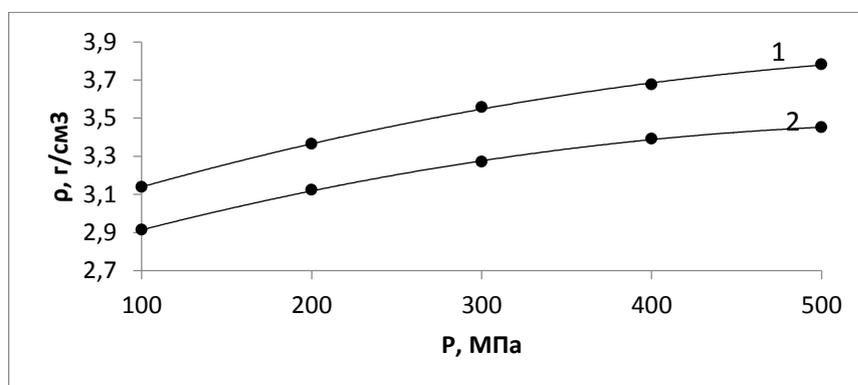


Рисунок 19 – Плотность образцов состава 34%ZrN 33%ZrO₂ 33% TiC до и после спекания

Таблица 11 – Измерение плотности порошка состава №1 до спекания

	Диаметр d, см	Высота h, см	Средняя масса m, г	Объем V, см ³	Плотность ρ, г/см ³	Давление, МПа
1	1,0469	0,7195	1,957	0,619029	3,16	100
2	1,0495	0,6655	1,967	0,575417	3,42	200
3	1,049	0,6515	2	0,562775	3,55	300
4	1,0475	0,6126	1,963	0,527661	3,72	400

Таблица 12 – Измерение плотности порошка состава №2 после спекания

	Диаметр d, см	Высота h, см	Средняя масса m, г	Объем V, см ³	Плотность ρ , г/см ³	Давление, МПа
1	1,016	0,703	1,72	0,569656	3,02	100
2	1,02	0,653	1,72	0,533314	3,23	200
3	1,028	0,644	1,793	0,534247	3,36	300
4	1,032	0,625	1,733	0,522527	3,32	400

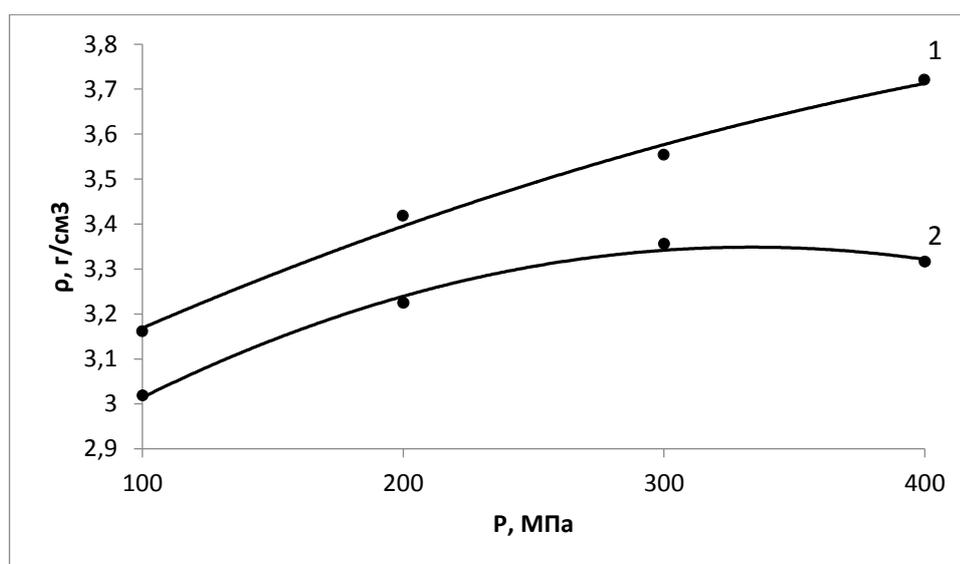


Рисунок 20 – Плотность образцов состава №4 до и после спекания

В таблице 13 приведены значения плотности спеченных образцов. Следует отметить, что все образцы имели правильную цилиндрическую форму, расслоя и осыпания кромок не наблюдалось.

Таблица 13 – Плотность после горячего прессования

№	Состав, мас. %	$\rho_{пр}$, г/см ³	ρ_t , г/см ³	$\Theta_{пр}$, %
1	33% ZrO ₂ 33% ZrN 34% TiC	5,134	6.612	77.7
2	33% ZrO ₂ 33% ZrC 34% ZrN	5.841	5.88	99.3
3	50% ZrO ₂ 50% ZrN	5.818	6.56	88.7

В таблице 14 приведены физико-механические характеристики спеченных образцов, определенных по методике наноиндентирования

Таблица 14 – Физико-механические свойства керамики после горячего прессования

№	Содержание, мас. %	E_{IT}, Мпа	H_{IT}, Мпа	H_{MS}, Мпа
1	33% ZrO_2 33% ZrN 34% TiC	326159	12683	7056
2	33% ZrO_2 33% ZrC 34% ZrN	304452	10769	1575.1
3	50% ZrO_2 50% ZrN	500.6	21975	1197.5

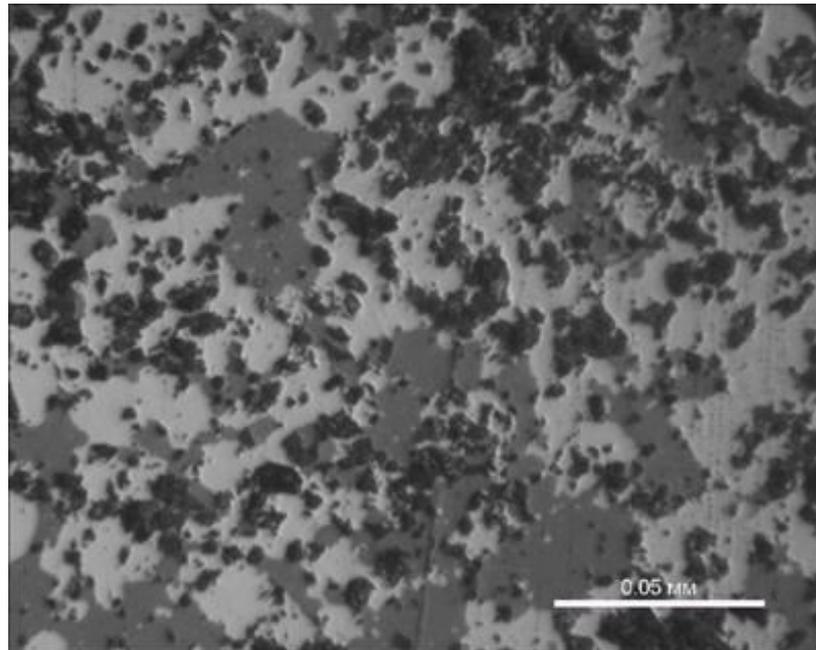


Рисунок5-микроструктура на поврхности образца керамика 33% ZrO_2 33%
 ZrN 34% TiC

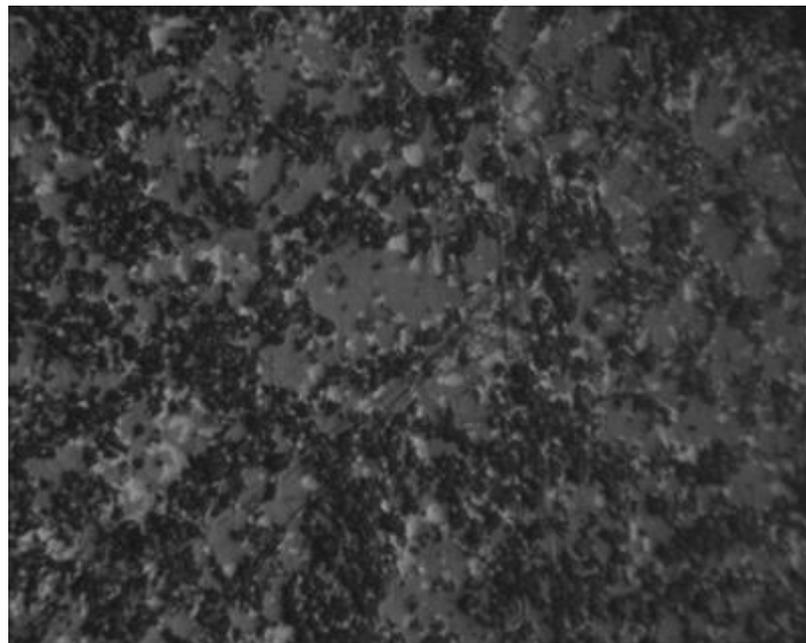


Рисунок6-микроструктура на поврхности образца керамика 33% ZrO_2
33%

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

Студенту:

Группа 154Б51	ФИО Пэн Цзыи
-------------------------	------------------------

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

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Потенциальные потребители результатов исследования</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Бюджет научно – технического исследования (НТИ)</i> 1. <i>Затраты на материалы и покупные изделия</i> 2. <i>Затраты на заработную плату</i> 3. <i>Отчисления в социальные фонды</i> 4. <i>Затраты на электроэнергию</i> 5. <i>Амортизационные отчисления на оборудование</i> 6. <i>Прочие накладные расходы</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчет фактической рентабельности проекта</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Скаковская Наталия Вячеславовна	К.Ф.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа 154Б51	ФИО Пэн Цзыи	Подпись	Дата
-------------------------	------------------------	----------------	-------------

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Предпроектный анализ

1 Потенциальные потребители результатов исследования

В таблице 1 представлены основные потребители результатов исследований в зависимости от их вида.

Таблица 1 – Классификация потребителей результатов НИР

Вид исследований	Потребители	Цели приобретения
Фундаментальные и поисковые исследования	Государство, общество	Развитие науки, общественный прогресс, пополнение существующей базы знаний, создание заделов для прикладных исследований
Прикладные исследования	Государство, региональные структуры	Удовлетворение общественных нужд (оборона, образование, экология и т.п.), поддержание престижа и авторитета на международном уровне
	Корпорации, промышленные предприятия, фирмы	Разработка новых продуктов, повышение конкурентоспособности, максимизация прибыли
Разработки	Государство, региональные структуры	Обеспечение общественных нужд, поддержание национальных интересов
	Корпорации, промышленные предприятия, средний и малый бизнес	Производство новых продуктов, повышение конкурентоспособности, получение экономического эффекта

Поскольку данная работа относится к фундаментальным, то потребителями являются государство и общество.

2 Разработка устава НИР

2.1 Цели и результаты проекта

Таблица 2– Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Российский научный фонд (РНФ)	Выполнение условий договора по НИР, получение отчета по НИР
Дипломник	Оплачиваемая работа по НИР, Возможность написать и защитить магистерскую диссертацию. Публикации.
ТПУ	Публикации, аффилированные с ТПУ. Защита магистерской диссертации.

Таблица 3 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Исследование структуры и физико-механических свойств муллитокорундовой и корундовой керамики, полученной прессованием и спеканием наноструктурных порошков. в срок с сентября 2018 г по июнь 2019г. Защитить бакалаврскую диссертацию в ТПУ 23.06.2019г.
Ожидаемые результаты проекта:	Бакалаврская диссертация
Критерии приемки результата проекта:	Публикации результатов работы в индексируемых отечественных и зарубежных журналах. Участие в конференциях.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Успешная защита бакалаврской диссертации в ТПУ

2.2 Организационная структура проекта

Таблица 4 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1	Матренин Сергей Вениаминович, ТПУ, ИШНПТ, ОМ, доцент.	Руководитель	Отвечает за реализацию проекта, координирует деятельность участников проекта.	165
2	Ван Дакунь, ТПУ, аспирант	Ответственный исполнитель	Выполняет работы по проекту. Проводит исследования, пишет статьи.	50
3	Ван Дакунь, ТПУ, аспирант	Ответственный исполнитель	Выполняет работы по проекту. Проводит исследования, пишет статьи и магистерскую диссертацию.	450
4	Пэн Цзыи, ТПУ, студент	Ответственный исполнитель	Выполняет работы по проекту. Проводит исследования, пишет бакалаврскую диссертацию.	200
5	Ван Дакунь, ТПУ, аспирант	Ответственный исполнитель	Выполняет работы по проекту. Проводит исследования, пишет бакалаврскую диссертацию.	200
6	РНФ	Заказчик	Осуществляет укрупненный анализ проекта по показателям сроков, освоению затрат и финансированию. Проводит экспертную оценку результатов проекта.	30
7	ТПУ	Заказчик	Проводит экспертную оценку	30

		результатов проекта.	
ИТОГО:			1125

2.3 Ограничения и допущения проекта

Таблица 5 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	150000р
3.1.1. Источник финансирования	Российский научный фонд (РНФ)
3.2. Сроки проекта:	Сентябрь 2018 г – июнь 2019 г.
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	23.09.2018
3.2.2. Дата завершения проекта	23.06.2019
3.3. Прочие ограничения и допущения	Ограничение по времени использования научного оборудования (1 раз в месяц на оптическом микроскопе). Ограничение времени работы участников проекта (не более 12 часов в неделю)

3 Планирование и график НИР

3.1 Иерархическая структура работы



Рисунок 1 – Иерархическая структура НИР

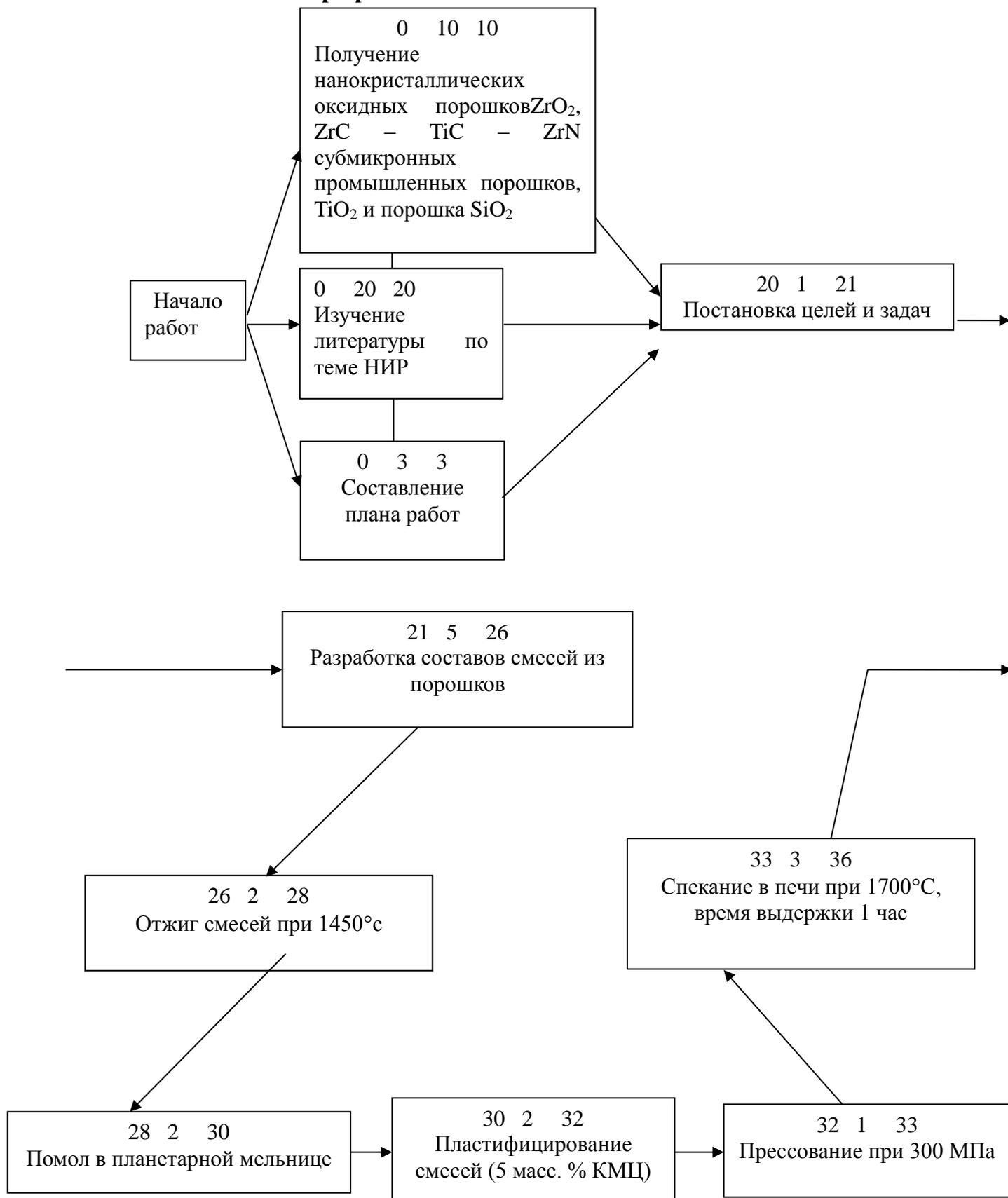
3.2 Календарный план проекта

Таблица 6 – Календарный план проекта

Название работы	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
Получение нанокристаллических оксидных порошков ZrO_2 , $ZrC - TiC - ZrN$, субмикронных промышленных порошков, TiO_2 и порошка SiO_2	10	23.09.2018	03.10.2018	Матренин С. В. (доц.)
Изучение литературы по теме НИР	20	23.09.2018	15.10.2018	Ван Дакунь (сту.)
Составление плана работ	3	23.09.2018	26.09.2018	Матренин С. В. (доц.)
Постановка целей и задач	1	27.10.2018	28.10.2018	Юй Пань (инж.), Матренин С. В. (доц.)
Разработка составов смесей из порошков	5	07.11.2018	12.11.2018	Матренин С. В. (доц.)
Отжиг смесей при $2000^\circ C$	2	20.11.2018	22.11.2018	Матренин С. В. (доц.)
Помол в планетарной мельнице	2	02.12.2018	04.12.2018	Юй Пань (инж.), Таюкин Р. В. (инж.)
Пластифицирование смесей (5 масс. % КМЦ)	2	15.12.2018	17.12.2018	Юй Пань (инж.), Таюкин Р. В. (инж.)
Прессование при 300 МПа	1	21.12.2018	22.12.2018	Юй Пань (инж.), Ван Дакунь (сту.), Ван Ифань (сту.)
Спекание в печи при $2000^\circ C$, время выдержки 1 час	3	24.12.2018	27.12.2018	Матренин С. В. (доц.), Юй Пань (инж.), Ван Дакунь (сту.), Ван Ифань (сту.)
Определение плотности образцов после спекания	1	10.01.2019	11.01.2019	Юй Пань (инж.), Ван Дакунь (сту.), Ван Ифань (сту.)
Изготовление микрошлифов спеченных образцов, изучение пористости	3	15.02.2019	18.02.2019	Юй Пань (инж.), Ван Дакунь (сту.), Ван Ифань (сту.)
Наноиндентирование и исследование свойств спеченных образцов	3	01.03.2019	04.03.2019	Юй Пань (инж.), Ван Дакунь (сту.), Ван Ифань (сту.)

Определение прочности по результатам, полученным на наноиндентировании	1	05.03.2019	06.03.2019	Юй Пань (инж.)
Фазовый анализ спеченных образцов	3	25.04.2019	28.04.2019	Юй Пань (инж.), Ван Дакунь (сту.), Ван Ифань (сту.)
Травление, изучение микроструктуры с помощью оптического микроскопа	3	04.05.2019	07.05.2019	Юй Пань (инж.), Ван Дакунь (сту.), Ван Ифань (сту.)
Построение графиков, диаграмм, таблиц	1	08.05.2019	09.05.2019	Юй Пань (инж.)
Сравнительный анализ изображений	2	09.05.2019	10.05.2019	Юй Пань (инж.)
Научное обоснование результатов	6	11.05.2019	17.05.2019	Юй Пань (инж.), Матренин С. В. (доц.)
Нахождение взаимосвязей в результатах	3	11.05.2019	14.05.2019	Юй Пань (инж.), Матренин С. В. (доц.)
Формулировка выводов	2	15.05.2019	16.05.2019	Матренин С. В. (доц.)
Составление отчета	15	17.05.2019	01.06.2019	Ван Дакунь (сту.)
Защита отчета (ВКР)	1	23.06.2019	23.06.2019	Ван Дакунь (сту.)

3.3 Сетевой график выполнения НИР



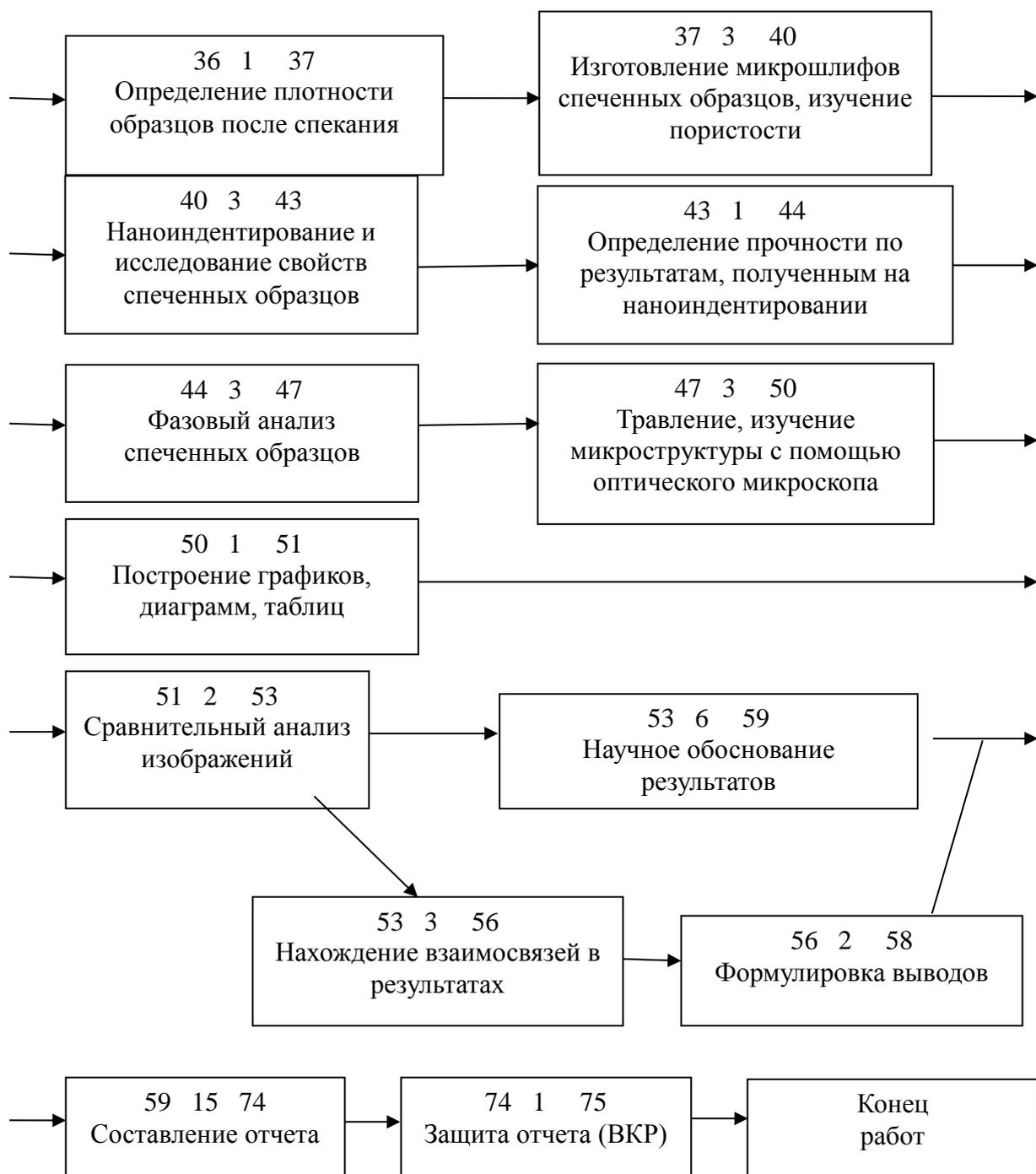


Рисунок 14 – Сетевой план-график выполнения НИР

4 Составление сметы затрат

Расчет сметы затрат на исследование структуры и свойств керамики, полученной консолидацией наноразмерных порошков оксидов циркония и алюминия

В состав затрат на проведение эксперимента включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данного исследования. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- отчисления в социальные фонды;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления на оборудование;
- прочие расходы.

Расчет затрат на материалы

Отражает стоимость материалов с учетом транспортно-заготовительных расходов (1% от стоимости материалов), используемых при разработке программного обеспечения.

Таблица 7 – Расходные материалы

Наименование материалов	Цена ед., (руб.)	Количество	Сумма, (руб.)
Порошки в ассортименте	500	500 гр.	500
Флеш-карта 4 GB	300	1 шт.	300
Бумага формата А4	180	1 пач.	180
Картридж для принтера	500	1 шт.	500
Канцтовары	30	1 шт.	30
Тетрадь	20	1 шт.	20
Итого			1530

Согласно таблице 7 расход на материалы составляет $C_{\text{мат}}=500+300+180+500+30+20=1530$ рублей.

Расчет заработной платы

Расчет основной заработной платы

Под основной заработной платой понимаем заработную плату руководителя и стипендию студента. Размер основной заработной платы устанавливается, исходя из численности исполнителей, трудоемкости и средней заработной платы за один рабочий день. Месячный оклад руководителя составляет 20000 руб., студента – 3000 руб.

Средняя заработная плата рассчитывается следующим образом:

$$\text{Дневная з/плата} = \text{Месячный оклад} / 22 \text{ день}, \quad (4.1)$$

Соответственно дневной оклад руководителя равен 909,09 руб., а студента – 136,36 руб.

Таблица 8 – Затраты на основную заработную плату

Исполнители	Оклад	Среднедневная ставка, руб/день	Затраты времени, дни	Фонд з/пл, руб.
Руководитель	20000	909,09	55	50000
Студент	3000	136,36	75	10227
Итого				60227

Основная заработная плата $C_{\text{осн}}$ будет равна 60227 руб.

Расчет отчислений от заработной платы

Затраты по этой статье составляют отчисления по единому социальному налогу (ЕСН).

Отчисления от заработной платы определяются по следующей формуле:

$$C_{\text{соцф}} = K_{\text{соцф}} * C_{\text{осн}}, \quad (4.2)$$

где $K_{\text{соцф}}$ - коэффициент, учитывающий размер отчислений из заработной платы, он включает в себя:

- 1) отчисления в пенсионный фонд;

- 2) на социальное страхование;
 3) на медицинское страхование,
 и составляет 26% от затрат на заработную плату.

$$C_{\text{соцф}} = 0,26 * 60227 = 15659 \text{ руб.}$$

Расчет затрат на электроэнергию

Затраты на электроэнергию состоят из затрат на электроэнергию при работе оборудования во время разработки проекта, и из затрат на электроэнергию, потраченную на освещение.

Затраты на электроэнергию при работе оборудования для технологических целей рассчитывают по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{об}} = P_{\text{об}} \cdot \mathcal{C}_э \cdot t_{\text{об}},$$

(4.3)

где $\mathcal{E}_{\text{об}}$ – затраты на электроэнергию потребляемую оборудованием, руб.;

$P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$\mathcal{C}_э$ – тарифная цена за 1кВт·час, $\mathcal{C}_э = 2,6$ руб.;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{уст. об}} \cdot K_c,$$

(4.4)

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$P_{\text{уст. об}}$ – установленная мощность оборудования, кВт;

K_c – коэффициент спроса, зависит от количества загрузки групп электроприемников, для технологического оборудования малой мощности, $K_c = 1$

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование	Время работы	Потребляемая	Потребление	Затраты,
--------------	--------------	--------------	-------------	----------

оборудования	оборудования, час, $t_{об}$	мощность, $P_{об}$, кВт		$\mathcal{E}_{об}$, руб.
Персональный компьютер	100	0,3	30	78
Планетарная мельница	5	2	10	26
Печь	5	5	25	65
Вибросито	4	1	4	10,4
Пресс	2	7	14	36,4
Устройство ИПС	1	10	10	26
Наноиндентер	3	1	3	7,8
Итого				249,6

Затраты на электроэнергию, для освещения помещения, где разрабатывается проект, рассчитывают по формуле:

$$\mathcal{E}_{ос} = P_{об} \cdot C_{э} \cdot t_{об} \quad ,$$

(4.5)

где $\mathcal{E}_{ос}$ – затраты на электроэнергию, для освещения, руб.;

$P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{э}$ – тарифная цена за 1кВт·час, $C_{э} = 2,6$ руб.;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Мощность, потребляемая освещением, определяется по формуле:

$$P_{ос} = P_{уст. ос} \cdot K_c \cdot N_{св},$$

(4.6)

где $P_{ос}$ – мощность, потребляемая освещением, кВт;

$P_{уст. ос}$ – установленная мощность светильников, $P_{уст. ос} = 0,08$ кВт;

K_c – коэффициент спроса, зависит от количества, загрузки, групп электроприемников, для внутреннего освещения, $K_c = 0,9$;

$N_{св}$ – количество светильников, $N_{св} = 2$ шт.;

$$P_{ос} = 0,08 \cdot 0,9 \cdot 2 = 0,14 \text{ кВт},$$

Время работы освещения $t_{ос}$ определяется по формуле:

$$t_{oc} = t_{сут} \cdot T,$$

(4.7)

где t_{oc} - время работы освещения, час;

$t_{сут}$ - длительность работы освещения за смену, час;

T - время, затраченное на проведение работ, $T=75$ дней.

$$t_{oc} = 6 \cdot 75 = 450 \text{ час.}$$

Общие затраты на электроэнергию определяются по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{об} + \mathcal{E}_{ос},$$

(4.8)

где \mathcal{E} - затраты на электроэнергию, руб.;

$\mathcal{E}_{об}$ - затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием, руб.;

$\mathcal{E}_{ос}$ - затраты на электроэнергию, затраченную на освещение, руб.

$$\mathcal{E}_{ос} = 0,14 \cdot 2,6 \cdot 450 = 163,8 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E} = 249,6 + 163,8 = 413,4 \text{ руб.}$$

Расчет амортизационных расходов

В статье амортизационные отчисления от используемого оборудования рассчитывается амортизация за время выполнения работы для оборудования, которое имеется в наличии.

Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования по формуле:

$$C_{ам} = \frac{N_a \cdot C_{об}}{F_d} \cdot t_{рм},$$

(4.9)

где N_a - годовая норма амортизации, $N_a = 25\%$;

$C_{об}$ - цена оборудования, $C_{об} = 3\,000\,000$ руб.;

F_d - действительный годовой фонд рабочего времени, $F_d = 200$ часов;

$t_{рм}$ - время работы, $t_{рм} = 18$ часов.

$$C_{ам} = (0,25 \cdot 3\,000\,000 \cdot 18) / 200 = 45000 \text{ рублей}$$

Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет сметы затрат на разработку, можно определить общую стоимость разработки проекта АСУ ТП.

Таблица 10 – Смета затрат на разработку проекта.

№	Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
1	Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	1530
2	Основная заработная плата	$C_{\text{оснз/п}}$	60227
3	Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соцф}}$	15659
4	Расходы на электроэнергию	Э	413
5	Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	45500
Итого			122829

Таким образом, расходы на данную разработку составляют 122829 рублей.

5 Эффективность работы

Оценка научно-технического уровня НИР

Важнейшим результатом проведения НИР является его научно-технический уровень, который характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается ли научно-технический прогресс в данной области. В последнее время для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, получил распространение метод бальных оценок. Бальная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности НИР. Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технической уровня по формуле:

$$N_T = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i$$

(5.1)

где N_T — показатель научно-технического уровня, определенный по трем признакам;

R_i — весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

n_i — количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах (Таблица 18, Таблица 19)

Таблица 11– Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Примерное значение весового коэффициента
1. Уровень новизны	0,5
2. Теоретический уровень	0,3
3. Возможность реализации	0,2

Таблица 12 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8-10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия, дополняют ранее полученные результаты	5-7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2-4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 13 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1. Установка закона, разработка новой теории	10
2. Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3. Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
4. Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5. Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 14 – Возможность реализации научных, теоретических результатов по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
Масштабы реализации	
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

Примечание: баллы по параметрам времени и масштабам реализации при расчете складываются.

Результаты оценок признаков отображены в Таблица 15.

Таблица 15 – Количественная оценка признаков НИОКР

Признак научно-технического эффекта НИР	Характеристика признака НИОКР	K_i	P_i
1. Уровень новизны	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия, дополняют ранее полученные результаты	0,5	6
2. Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0,3	6
3. Возможность	Время реализации в течение	0,2	10

реализации	первых лет		
	Масштабы реализации - одно или несколько предприятий	0,2	2

Используя исходные данные по основным признакам научно-технической эффективности НИОКР, определяем показатель научно-технического уровня:

Таблица 16 – Показатель научно-технического уровня

Уровень НТЭ	Показатель НТЭ
Низкий	1 - 4
Средний	4 - 7
Сравнительно высокий	7 - 10
Высокий	10 - 13

$$H_m = 0.5 \cdot 6 + 0.3 \cdot 6 + 0.2 \cdot (10 + 2) = 7.2$$

Таким образом, исследование имеет сравнительно высокий уровень НТУ, равный 7.2.

Таблица 17 – Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Новизна полученных результатов	0,5	Новая	6	Реализация метода новым способом
Теоретический уровень	0,3	Разработка способа	6	Реализация программного блока
Возможность реализации	0,2	В течение первых лет	10	Быстрое нахождение применения

В целом по главе можно сделать следующие выводы:

1) Рассчитана длительность этапов проектирования и построен сетевой график. Время проведения НИР – 75 дней.

2) Рассчитана смета затрат на разработку проекта. Расходы на данную разработку составляют 122829 рублей.

3) Учитывая, что размер гранта составляет 150000р, фактическая рентабельность НИР $P_{\phi} = (150000 - 122829) \cdot 100 / 122829 = 22,12 \%$

4) Получена оценка научно-технического уровня разработки. Научно-технический уровень данной разработки соответствует сравнительно высокому уровню.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
154Б51	Пэн Цзыи

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Структура и свойства высокоэнтропийных керамических систем на основе карбидов и нитридов переходных металлов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Работа выполнялась на ОМ ИШНПТ ТПУ. Рабочей зоной являлись 6 лаборатории общей площадью 180 м ² , включающее 6 персональных компьютеров, оптический микроскоп, микротвердомер ПМТ-3, установка «Смеситель С2.0», мельница «Активатор-2SL». керамика состава 33% ZrO ₂ - 33% ZrN - 34% TiC
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78.В соответствии с СН-245-71 в помещении должен быть организован воздухообменТрудовой кодекс :ГОСТ 12.1.005-88; СНиП II-4-7; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; ГОСТ 12.0.003-74;ГОСТ 12.1.038-82; ГОСТ 12.1.030-8;1;</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; действие фактора на организм человека; приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); предлагаемые средства защиты; (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</p> <p>2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: механические опасности (источники, средства защиты); термические опасности (источники, средства защиты); электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</p>	<p>1. Основные факторы, характеризующие микроклимат производственной среды: температура;подвижность и влажность воздуха.</p> <p>2. Недостаточная освещенность способствует возрастанию нагрузки на органы зрения и приводит к утомляемости организма.</p> <p>3. Электромагнитное излучение пагубно влияет на костные ткани, ухудшает зрение, повышает утомляемость, а также способствует ослаблению памяти и возникновению онкологических заболеваний.</p> <p>Основными причинами воздействия тока на человека являются: случайное прикосновение к токоведущим частям; появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала.</p> <p>С точки зрения электробезопасности (ГОСТ</p>

<p>пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>	<p>12.1.030-81) оборудование, запитываемое напряжением выше 42 В, должно быть заземлено. При приближении грозы необходимо оперативно закончить работу на компьютере и отключить его от сети. Кроме того, обязательно должна быть предусмотрена возможность быстрого отключения напряжения с разделительного щита. Источниками термической опасности в лаборатории являются печи.</p>
<p>3. Экологическая безопасность: анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>	<p>Защита селитебной зоны: санитарно-защитная зона, установление требований защиты к проектируемому зданию, технологическому процессу, оборудованию. Защита атмосферы. Нормирование загрязнителей. Методы защиты от выбросов в атмосферу. Защита гидросферы. Указать источники загрязнения гидросферы и основные загрязнители. Нормирование загрязнителей. Методы средства очистки воды. Защита литосферы. Виды отходов, образующихся при разработке и эксплуатации технического решения.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; выбор наиболее типичной ЧС; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</p>	<p>Возможные ЧС на объекте: техногенного характера - производственные аварии и пожары; Наиболее типичной ЧС для лабораторий являются пожары на производстве. В целях предотвращения возгорания необходимо соблюдать правила техники безопасности при работе с электрооборудованием. Для повышения устойчивости объекта к пожарам необходимо использовать огнеупорные материалы, а также ознакомить персонал с режимом работы объекта в случае возникновения ЧС и обучить выполнению конкретных работ по ликвидации очагов поражения. Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02-85): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре).</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б51	Пэн Цзыи		

4 Социальная ответственность

Введение

Данная ВКР основана на проведение научных исследований структуры и свойства керамики на основе оксидов циркония, кремния и оксинитрида циркония. Работы проводились в лаборатории отделения материаловедения инженерной школы новых производственных технологий томского политехнического университета. В процесс исследований входили следующие операции – подготовка образцов (отжиг, помол, прессование, полировка, шлифование термическая обработка, анализ наноиндентором, рентгеновский анализ).

Участок подготовительных работ включает в себя следующие оборудование – энергонапряжённая планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL», гидравлический .

Работ использовалось оборудование –металлографический микроскоп «ЛабoМет», микротвердомер ПМТ – 3, Nano Indenter G200, печь сопротивления, ДРОН-3.

Техногенная безопасность

По характеру физической нагрузки работа инженера относится к разряду легких, но она сопряжена с большой умственной и нервно-психологической нагрузкой. Длительная работа в помещении при плохой вентиляции, повышенной или пониженной температуре и влажности воздуха, плохом освещении неблагоприятно сказывается на здоровье работающего, что неизбежно влечет за собой снижение производительности труда.

На производительность труда инженера-разработчика, находящегося на рабочем месте, влияют следующие опасные и вредные производственные факторы (О и В ПФ ГОСТ 12.0.003-74):

Анализ вредных факторов производственной среды

К вредным факторам на производстве относятся: физические факторы (наличие пыли в воздухе рабочей зоны, недостаточное освещение рабочего места, слишком высокая или низкая температура воздуха, производственный шум).

Наличие пыли в воздухе рабочей зоны может привести к ухудшению состояния здоровья работника. В лаборатории, где проводятся работы с порошковыми материалами, необходимо соблюдать предельно допустимую концентрацию вредных веществ в воздухе (ПДК). В случае превышения ПДК у работников лаборатории может случиться головокружение, потеря сознания, нарушение памяти и пр. Исходя из этого, следует внимательно контролировать ПДК веществ в лаборатории.

Таблица 1 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ					Нормативные документы
	Разраб	о.тка	Изгото	в.ление	Эксплу	
1.Отклонение показателей микроклимата	+		+		+	Приводятся нормативные документы, которые регламентируют действие каждого выявленного фактора с указанием ссылки на список литературы. Например, требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[59].
2.Превышение уровня шума			+		+	
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+		+		+	
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны			+		+	
5.Повышенное значение напряжения	+		+		+	

в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека				
---	--	--	--	--

Основными порошковым материалом во время работы являются ZrO_2 , Al_2O_3 , Y_2O_3 , ПДК этих веществ в воздухе рабочей зоны приведены в таблице 1.

Таблица 2 – Гигиенические нормативы

Наименование вещества	Величина ПДК, (мг/м ³) *	Класс опасности
ZrO_2	0,5	4
Al_2O_3	0,5	4
Y_2O_3	6	4
SiO_2	5	4

4 - вещества мало опасные, в соответствии с классификацией [1].

*Предельно допустимая концентрация порошка в воздухе рабочей зоны не должна превышать 10 мг/м³ [3].

Для предотвращения попадания вредных веществ в организм работника рекомендуется использовать средства индивидуальной защиты. К средствам индивидуальной защиты относятся:

- респираторы, противогазы;
- очки;
- перчатки;
- специальная противопылевая одежда;
- защитные пасты и мази.

Контролем содержания вредных примесей в воздухе и на рабочих местах занимается санитарная лаборатория. Рабочая зона должна быть снабжена вытяжной вентиляцией, обеспечивающей содержание веществ в воздухе в пределах ПДК по ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ [4].

Так же лаборатория должна быть хорошо освещена. Помещения закрытого типа могут освещаться односторонним боковым естественным, совмещенным, общим искусственным или местным освещением.

Недостаточная освещенность увеличивает зрительную нагрузку и повышает зрительную усталость. Так же приводит к развитию офтальмологических заболеваний.

Нормативные показатели освещенности лабораторий в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 и СНиП 23–05–95 представлены в таблице 2 [5,6].

Таблица 3 - Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения основных помещений общественного здания

Помещение	Естественное боковое освещение КЕО, %	Совмещенное освещение КЕО, %	Искусственное освещение	
			Освещенность при общем освещении, лк	Коэффициент пульсации, % не более
Лаборатории научно-технические	1,2	2,1	500	10

Для создания оптимальных значений микроклимата в помещениях необходимо, чтобы системы отопления, вентиляции и кондиционирования соответствовали СНиП 41-01-2003 [7].

Оптимальные условия микроклимата в лаборатории приведены в таблице 3, согласно СанПиН 2.2.4.548–96 [8].

Таблица 4 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхности °С	Отн. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Хол.	IIa (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
Тепл		20-22	19-23	60-40	0,2

Во время работы в лаборатории должен соблюдаться определенный уровень шума, не превышающий нормы [9]. Длительное влияние шума на работника приводит к подавлению психического состояния и снижению работоспособности. Так же может возникнуть развитие неврита слухового нерва.

Таблица 5 - Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	Легкая физ. нагрузка	Средняя физ. нагрузка	Тяжелый труд 1 степени	Тяжелый труд 2 степени	Тяжелый труд степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75

Данный прибор во время работы производит количество шума, не превышающее нормы, согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Анализ опасных факторов производственной среды

Опасный производственный фактор - производственный фактор, воздействие которого на работника может привести к его травме (огонь, электрический ток, движущиеся предметы, взрыв и т.д.).

Во время компактирования порошковых материалов, при несоблюдении техники безопасности, указанной в ГОСТ 10480-88, может произойти разрушение пресс формы [11]. Разрушение пресс-формы может привести к механическим повреждениям работников лаборатории и остановить рабочий процесс.

Спекание компактов производятся в термических печах при температурах выше 600 °С. Поэтому работнику, перед работой необходимо ознакомиться с инструкцией и соблюдать технику безопасности согласно

ГОСТ 27209.1-89. В случае несоблюдения требований работник может получить термические ожоги, вплоть до 4 степени.

На всех приборах предусмотрена: изоляция, зануление металлического корпуса в соответствии с ГОСТ 12.1.030–81 [12,13].

Помещение лаборатории относится к 1-ой категории по условиям опасности поражения электрическим током, без опасности поражения электрическим током, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность [12].

Экологическая безопасность

Защита атмосферы

В настоящий момент в нормативно-правовой базе РФ отсутствуют утвержденные Госсанэпиднадзором санитарные нормы и показатели, требования и правила безопасности при производстве различных видов порошковых материалов, соблюдение которых обеспечило бы промышленную безопасность и охрану труда.

Технический контроль на производстве осуществляется с помощью устройств, предотвращающих попадание дисперсных частиц в воздух рабочей зоны, а также забирающих эти частицы из воздуха рабочей зоны. Методы контроля должны иметь чувствительность не ниже нижней границы диапазона (~5 мкм) [14].

Применение систем местной вытяжной вентиляции с использованием встроенных вентиляторов вытяжных шкафов. Эффективность улавливания должна быть достаточно высокой.

Защита гидросферы

Работы в лаборатории проходят с использованием сухих порошков без жидких примесей. Утилизация отходов путем слива в канализацию не

проводят. В случае попадания наночастиц в воду, его концентрация будет незначительна и не повлияет на здоровье человека.

Защита литосферы

Попадая в литосферу, порошковые материалы могут менять микробиологическую и ферментативную активность почв, активно вступая во взаимодействие с живыми организмами, обитающими в этой среде.

Основными положениями по защите литосферы являются:

- утилизация одноразовых средств индивидуальной защиты должна проходить в специальные герметичные контейнеры;
- попадание наночастиц в почву может происходить при помощи воздуха и воды, поэтому следует учитывать меры безопасности из пунктов по защите литосферы и гидросферы.

Организационные мероприятия обеспечения безопасности.

Лаборатория должна соответствовать санитарным правилам и гигиеническим нормативам, требованиям пожарной и радиационной безопасности.

К выполнению работ в лаборатории должны допускаться лица:

- с соответствующей профессиональной подготовкой и квалификацией согласно действующим нормативно-правовым актам;
- прошедшие в установленном порядке обучение, инструктаж, проверку знаний по вопросам охраны труда;

Работники лабораторий могут подвергаться воздействию опасных и вредных производственных факторов, основными из которых являются:

- физические факторы: аэрозоли, шум, микроклимат, освещенность, опасность поражения электрическим током, опасность травмирования осколками разрушенной пресс-форм, используемой в процессе работы;
- психофизиологические факторы, включая повышенное напряжение органов зрения;

- пожаро- и взрывоопасные факторы.

В лаборатории должны быть разработаны и утверждены подробные инструкции по охране труда для персонала по отдельным участкам работ лаборатории, учитывая специфику участков. Утвержденные инструкции должны быть вывешены на видном месте каждого участка работы.

Одежда и средства индивидуальной защиты

В лаборатории должно быть достаточное количество чистой защитной одежды (например, курток и халатов), соответственно уровню риска, для обеспечения персонала и посетителей лаборатории.

Неиспользуемая защитная одежда должна быть размещена в предназначенном для этого месте, находящемся вдали от радиаторов, труб парового отопления, нагревателей и открытого пламени. Защитную одежду следует менять через соответствующие интервалы времени с целью обеспечить ее чистоту. В случае загрязнения опасными материалами защитную одежду следует менять немедленно.

Защитную одежду следует снимать, покидая лабораторную зону.

Заведующий лабораторией должен обеспечить наличие в лаборатории, по меньшей мере, следующих средств оказания первой помощи и проведения экстренных процедур:

- a) аптечки первой помощи;
- b) оборудования для первой помощи.

Так же работники лаборатории должны проводить технологический перерыв каждые 1,5 – 2 час продолжительностью не менее 15 минут. Проветривание помещения проводится после влажной уборки в конце рабочего дня.

В лаборатории должны присутствовать следующие средства пожаротушения:

- порошковый огнетушитель;
- ящик с сухим песком;

- лопата.

Данная зона должна обозначаться красным цветом, согласно ГОСТ Р 12.4.026-2001 [15].

Рабочее место и его компоновка являются одной из важных частей обеспечения безопасности работников в лаборатории. Во избежание аварийной ситуации необходимо тщательно выполнить планировку рабочего места. Доступ к приборам и электрощитам должен быть свободным. Выход из помещения не должен быть заблокирован.

Особенности законодательного регулирования проектных решений.

В лаборатории, работающими с порошковыми материалами необходимо предусмотреть специальный режим работы, т.к. рабочий процесс подразумевает собой длительное воздействие с частицами порошка растворенными в воздухе. Данное исполнение законодательной базы контролирует федеральная инспекция труда при Министерстве труда и социальной защиты Российской Федерации [16].

В лаборатории должен осуществляться контроль над охраной труда специальной комиссией. Комиссия должна наблюдать за рабочей обстановкой и докладывать о нарушениях заведующему лаборатории.

Также необходимо, чтобы в лаборатории осуществлялся контроль выполнения санитарных правил и санитарно-противоэпидемических мероприятий. Данную обязанность должны осуществлять сотрудники службы производственного контроля.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к классу П-2, так как в нем присутствует выделение пыли и волокон во взвешенном состоянии [17].

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

а) сотрудники лаборатории должны пройти противопожарный инструктаж;

б) сотрудники обязаны знать расположение средств пожаротушения и уметь ими пользоваться;

в) необходимо обеспечить правильный тепловой и электрический режим работы оборудования;

г) пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения должны содержаться в исправном состоянии и находиться на видном и легко доступном месте.

В лаборатории имеются 2 огнетушителя марки ОУ-2 предназначены для тушения загорания различных веществ и материалов, за исключением щелочноземельных элементов, а также электроустановок под напряжением до 1000В. При тушении электроустановок, находящихся под напряжением, не допускается подходить раструб ближе 1 метра до электроустановки и пламени.

Наиболее вероятными источниками ЧС природного характера на территории Томской области являются:

- сильный ветер и ураганы;
- наводнение;
- обильные осадки (град, сильный туман).

Предупреждение о возможных ЧС, а также ликвидации их последствий их последствий занимается ГУ МЧС по Томской области [18]

1) сильный ветер и ураганы

Лучшее средство спасения при приближении торнадо

— укрыться в убежище. Для получения актуальной информации от службы гражданской обороны лучше всего воспользоваться радиоприемником на батарейках: вероятнее всего, в начале смерча подача электроэнергии прекратится, а быть в курсе сообщений штаба ГО и ЧС необходимо каждую минуту. Очень часто вторичные бедствия (пожары, затопления, аварии) гораздо больше и опаснее разрушений, поэтому постоянно получаемая информация может защитить. Если есть время, нужно закрыть двери, вентиляцию, слуховые окна. Основное отличие от защиты при урагане: при смерче прятаться от бедствия можно только в подвалах и подземных сооружениях, а не внутри самого здания.

2) наводнение

Правила поведения после подтопления

- перед тем, как войти в здание, убедитесь в отсутствии значительных повреждений перекрытий и стен
- проветрите помещения для удаления накопившихся газов
- не используйте источники открытого огня до полного проветривания помещений и проверки исправности системы газоснабжения
- проверьте исправность электропроводки, труб газоснабжения, водопровода и канализации
- просушите помещение, открыв все двери и окна
- не употребляйте пищевые продукты, которые находились в контакте с водой.

3) сильный туман

В туманную погоду особую осторожность и внимание нужно соблюдать при переходе перекрестков, не располагаться и не устраивать игр на проезжей части дороги, воздержаться от езды на велосипеде и других транспортных средствах.

Во время тумана лучше оставаться дома, не подвергать себя опасности

Выводы по разделу социальной ответственности

В данном разделе рассмотрены вопросы по обеспечению безопасности персонала, работающего на оборудовании. На персонал могут воздействовать следующие опасные и вредные производственные факторы: повышенный уровень шума на рабочем месте; недостаточная освещенность рабочей зоны; отклонение показателей микроклимата в помещении; нервно-психические перегрузки; электрический ток. Все эти опасные и вредные факторы могут негативно влиять на человека, и, для исключения или уменьшения этого влияния, необходимо использовать средства коллективной и индивидуальной защиты. При соблюдении всех необходимых мер безопасности, в том числе соблюдение требований к организации рабочих мест оборудование может эксплуатироваться с наименьшей степенью риска для здоровья человека.

Заключение

В ходе выполнения работы разработана технология получения многокомпонентной керамики на основе оксикарбонитридов переходных металлов, включающей подготовку порошковых смесей ZrC, ZrO₂, TiC, ZrN заданных составов в планетарной мельнице и последующее горячее прессование в инертной атмосфере.

Полученная керамика состава 33% ZrO₂ - 33% ZrN - 34% TiC имела следующие физико-механические свойства: $E_{IT}=326159$ МПа, $H_{IT}=12683$ МПа.

Керамика состава 33% ZrO₂ - 33% ZrC - 34% ZrN имела модуль Юнга $E_{IT}=304452$ МПа и нанотвердость $H_{IT}=10769$ МПа.

Исследования микрошлифов показали, что спеченные оксикарбонитриды обладают выраженной гетерофазной структурой, соответствующей многокомпонентным материалам .

Список используемых источников

1. Цветков Ю.В., Самохин А.В. Плазменная нанопорошковая металлургия. Киев: Автоматическая сварка, 2008.
2. Цветков Ю.В. Самохин А.В., Алексеев Н.В. Плазмохимические процессы создания нанодисперсных порошковых материалов // Химия высоких энергий, 2006. Т.40, №2. С.120-126.
3. Yawei L., Nan L., and Runzhang Y., "Carbothermal Reduction Synthesis of Aluminium Oxynitride Spinel Powders at Low Temperatures," J. Mater. Sci. Lett., 1997, 16 [3]. P. 185–186.
4. Yasumasa Takaо, Mutsuo Sando. Al-System Non-Oxide Spherical Powder Synthesis by liquefied Petroleum Gas Firing. J. Am.Ceram.Soc., 2005, 88 [2]. P. 450-452.
5. Shinichi Kikkawa, Naoya Hatta, and Takashi Takedaz. Preparation of Aluminum Oxynitride by Nitridation of a Precursor Derived from Aluminum-Glycine Gel and the Effects of the Presence of Europium. J. Am.Ceram.Soc., 2008. 91 [3]. P. 924–928.
6. Савицкий А.П. Жидкофазное спекание систем с взаимодействующими компонентами / под ред. Э.В. Козлова. Новосибирск : Наука, 1991. 184 с.
7. Степанов Ю.Н., Алымов М.И. Расчет скорости усадки на первой стадии спекания компактов из ультрадисперсных порошков // ФХОМ. 2001. №6. С.76-78
8. Степанов Ю.Н., Алымов М.И., Мальтина Е.И. Ультрадисперсные метал-лические порошки: модель начальной стадии спекания // Металлы. 1995. №1. С.127-132
9. Степанов Ю.Н., Алымов М.И., Евстратов Е.И. Влияние температуры на скорость усадки компактов из наночастиц // Физика и химия стекла. 2005. Т.31. №3. С.452-455
10. Гаршин А.П., Гропянов В.М., Зайцев Г.П., Семенов С.С. Машиностроительная керамика. – СПб: Изд-во СпбТУ, 1997. – 726 с.

11. Керамические материалы / Под ред. Г.Н. Масленниковой. – М.: Стройиздат, 1991. – 320 с.
12. Семченко Г.Д. Конструкционная керамика и огнеупоры. – Харьков: Штрих, 2000, – 304 с.
13. Стрелов К.К., Кашеев И.Д. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов. – М.: Металлургия, 1996. – 332 с.
14. Химическая технология керамики и огнеупоров / Под ред. П.П. Будникова. – М.: Стройиздат, 1972. – 551с.
15. Шевченко В.Я. Введение в техническую керамику. – М.: Наука, 1993. – 112 с.
16. Шевченко В.Я., Баринов С.М. Техническая керамика. – М.:Наука, 1993. 187 с.
17. de Jonge, N.; Ross, F.M. (2011). "Electron microscopy of specimens in liquid". Nature Nanotechnology. 6: 695–704.
18. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
19. Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Российская академия наук, Институт физики микроструктур г. Нижний Новгород, 2004 г. 110 с.
20. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация
21. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий
22. СНиП 23–05–95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение
23. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование
24. СНиП 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений

25. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
26. ГОСТ 12.1.010–76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования
27. ГОСТ 10480-88. Автоматы механические для прессования изделий из металлических порошков. Параметры и размеры. Нормы точности
28. ГОСТ 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
29. ГОСТ 12.1.030–81. Защитное заземление, зануление
30. Годымчук А.Ю., Савельев Г.Г., Зыкова А.П. Экология наноматериалов – М. : Бином, 2012. – 272 с.
31. ГОСТ Р 12.4.026-2001. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний
32. Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rosmintrud.ru/> – 2015
33. Федеральный закон от 10.07.2012 N 117-ФЗ
34. Главное Управление МЧС по Томской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://70.mchs.gov.ru/>