

Министерство образования и науки 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*

Тема работы
Исследование процессов формования и спекания функциональных керамических материалов на основе диоксида циркония

УДК 666.762.53

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б71	Абдуллаев Азизбек Акмалжон угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Матренин Сергей Вениаминович	К.т.н, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Маланина Вероника Анатольевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Черемискина Мария Сергеевна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Ваулина Ольга Юревна	К.т.н., доцент		

Томск – 2021 г.

Планируемые результаты обучения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке (-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-2	Способен использовать в профессиональной деятельности знания о подходах и методах получения результатов в теоретических и экспериментальных исследованиях
ОПК(У)-3	Готов применять фундаментальные математические, естественнонаучные и общеинженерные знания в профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен сочетать теорию и практику для решения инженерных задач
ОПК(У)-5	Способен применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов
ПК(У)-2	Способен осуществлять сбор данных, изучать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию по тематике исследования, разработке и использованию технической документации, основным нормативным документам по вопросам интеллектуальной собственности, подготовке документов к патентованию, оформлению ноу-хау

ПК(У)-3	Готов использовать методы моделирования при прогнозировании и оптимизации технологических процессов и свойств материалов, стандартизации и сертификации материалов и процессов
ПК(У)-4	Способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации
ПК(У)-5	Готов выполнять комплексные исследования и испытания при изучении материалов и изделий, включая стандартные и сертификационные, процессов их производства, обработки и модификации
ПК(У)-6	Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро - и нано- структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями
ПК(У)-7	Способен выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов
ПК(У)-8	Готов исполнять основные требования делопроизводства применительно к записям и протоколам; оформлять проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с нормативными документами
ПК(У)-9	Готов участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки покрытий, материалов и изделий из них, систем управления технологическими процессами

Министерство образования и науки 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
_____ Ваулина О.Ю

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
4Б71	Абдуллаев Азизбек Акмалжон угли

Тема работы:

Исследование процессов формования и спекания функциональных керамических материалов на основе диоксида циркония	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ № 57-51/с от 26.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект исследования данной работы – порошковая система ZrO_2 . Исследование керамических материалов с заданными свойствами являются приоритетной научно-технической задачей. Керамические материалы являются перспективным для создания прецизионных изделий, где главным требованием является постоянство линейных размеров под действием температуры, однако данное требование является недостатком циркониевой керамики. Решением обозначенной проблемы является создание композитов с контролируемым коэффициентом термического расширения (КТР) путем введения в состав оксида циркония материалов, обладающих отрицательным КТР.
---------------------------------	--

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

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Маланина Вероника Анатольевна Доцент ОСГН ШБИП
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна Ассистент ООД ШБИП

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

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

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	26.04.2021
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОМ ИШНПТ	Матренин С.В.	К.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б71	Абдуллаев Азизбек Акмалжон угли		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа бакалавра содержит 97 страниц, 26 рисунков, 29 таблиц, 32 источника.

Объектом исследования является (ются) $76\% \text{ ZrO}_2 - 20\% \text{ Al}_2\text{O}_3 - 4\% \text{ Y}_2\text{O}_3$, $97\% \text{ ZrO}_2 - 3\% \text{ Y}_2\text{O}_3$.

Цель данной работы – исследовать процессы формования и спекания функциональных керамических материалов на основе диоксида циркония.

При выполнении работы были исследованы плотность спеченных образцов, плотность прессовок, проведении измерения на наноинденторе микротвердости, модуля упругости и прочности. Была исследована микроструктура спеченных образцов.

Главными 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 энергия затраты при производстве изделий, улучшение экологической частоты производства.

Область применения: химическая и машиностроение, при производстве космическое оборудование.

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

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	9
1. Литературный обзор	10
1.1 Керамика на основе ZrO ₂	10
1.2 Получение исходных порошков	22
1.3 Способы формования оксидных порошков	24
1.3.1 Холодное прессование в закрытых пресс-формах	26
1.3.2 Горячее прессование	26
1.3.3 Гидростатическое прессование.....	29
1.4 Спекание оксидных керамик.....	30
2 Материалы, оборудование, методика исследования	36
3 Результаты эксперимента	45
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА	46
4 «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	46
Введение	47
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	48
4.2 Анализ конкурентных технических решений.....	49
4.3 SWOT-анализ.....	52
4.4 Планирование научно-исследовательских работ	55
4.4.1 Определение трудоемкости выполнения работ.....	55
4.4.2 Разработка графика проведения исследования.....	56
4.4.3 Бюджет научного исследования	60
4.4.3.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)	60
4.4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования.....	61
4.4.3.3 Основная заработная плата	62
4.4.3.4 Дополнительная заработная плата.....	64
4.4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды	64
4.4.3.6 Накладные расходы.....	65
4.4.4 Определение ресурсоэффективности исследования.....	65
4.4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности	65
4.4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности	66
4.4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки	67
5 «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	70
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	71
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	72

Определения, обозначения, сокращения

ЧСДЦ – частично стабилизированный диоксид циркония

ГП – горячее пресование

НП – нанопорошок

НЧ – наночастица

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия керамика на основе оксидов находит все более широкое применение в качестве строительного материала. Причиной этого является возможность получения материалов с высокой огнеупорностью и коррозионной стойкостью, более высокой прочностью на излом и вязкостью, а также низким коэффициентом теплового расширения. Керамические материалы широко используются для решения различных инженерных задач.

Техническая керамика - это новый вид материалов, поэтому их производство уступает производству традиционных металлических и полимерных материалов как по объемам, так и по себестоимости, а прирост их производства намного превышает рост показателей стали, железа, алюминий и другие металлы.

Традиционные методы изготовления керамики - это различные процессы порошковой металлургии, которые включают три основных этапа: получение порошка, его формование и затем его спекание. Следует отметить, что процесс изготовления, в частности выбор режима спекания, играет решающую роль в конечном комплексе свойств получаемой керамики. Важно обратить внимание на монодисперсные нанопорошки, которые являются одним из важнейших сырьевых материалов для производства керамики с улучшенными физико-механическими свойствами, тепловыми, электрическими и оптическими свойствами, коррозионной и радиационной стойкостью.

Керамика на основе диоксида циркония - очень перспективный конструкционный и функциональный материал. Порошковая технология - самый распространенный метод производства прочной керамики. Есть несколько методов сжатия.

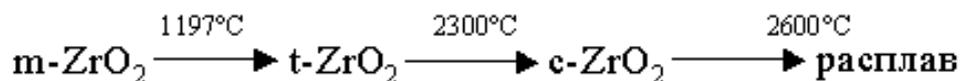
1. Литературный обзор

1.1 Керамика на основе ZrO_2 .

Повышенная хрупкость керамики ограничивает ее использование в конструкционных изделиях, и многочисленные исследования направлены на преодоление этого недостатка [1].

Цирконий образует с кислородом стабильное соединение ZrO_2 . При определенных условиях вероятно образование нестабильных соединений с недостатком кислорода, свойства которых сильно отличаются от диоксида циркония. Диоксид циркония обладает высокой химической инертностью к кислотам и основаниям, а также к щелочным расплавам, стеклам и расплавленным металлам. Исключение составляют H_2S_4 и HF , с которыми взаимодействует ZrO_2 [2].

Диоксид циркония имеет полиморфизм. ZrO_2 существует в трех модификациях – моноклинной, тетрагональной и кубической:



Моноклинная модификация, устойчивая при низких температурах, при нагревании до температуры около $1200^\circ C$ превращается в квадратную форму, устойчивую только при высоких температурах. Этот переход сопровождается объемным сжатием 7,7%. После охлаждения до температуры ниже $1000^\circ C$ происходит обратный переход к моноклинной модификации, в результате чего увеличивается объем и уменьшается плотность.

Модификационное превращение ZrO_2 происходит с разрывом существующих связей в решетке. Оно протекает сравнительно медленно, и температура перехода точно не фиксируется. При наличии примесей, оказывающих буферное действие на перестройку решетки, температурный интервал перехода расширяется на $50-100^\circ C$ в сторону понижения температуры.

Моноклинная ZrO_2 имеет следующие параметры кристаллической решетки: $a=0,517$ нм, $b=0,526$ нм, $c=0,530$ нм, $\beta=80^\circ 8'$. Плотность ZrO_2 в

моноклинной модификации $5,56 \text{ г/см}^3$ (пикнометрическая), твердость по минералогической шкале 6,5. Температура плавления ZrO_2 – $2700 \text{ }^\circ\text{C}$ и несколько колеблется в зависимости от содержания примесей. Температура кипения ZrO_2 – $4300 \text{ }^\circ\text{C}$. Упругость паров, определяющая степень летучести вещества, для ZrO_2 невелика: при 2000°C она составляет 80 Па , при 3000°C – $2,14 \text{ кПа}$. Теплота образования из элементов $348,4 \text{ кДж/моль}$, теплота сублимации $741,1 \text{ кДж/моль}$, энтропия $50,4 \text{ Дж/(моль}\cdot^\circ\text{C)}$. Удельная теплоемкость при нормальных условиях $5 \text{ кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$. Тетрагональная ZrO_2 имеет кристаллическую решетку, близкую к типу флюорита.

Отношение длин осей элементарной ячейки a : c в тетрагональной модификации равно 1.018 , то есть приближается к кубической, поэтому тетрагональную модификацию иногда называют псевдокубической. Параметры решетки тетрагонального ZrO_2 : $a = 0,5074 \text{ нм}$, $c = 0,5160 \text{ нм}$. Истинная плотность (рентгеновские лучи) $6,10 \text{ г / см}^3$. Диапазон существования $1000\text{-}2300 \text{ }^\circ\text{C}$ [2].

Кубический ZrO_2 образуется при $2300 \text{ }^\circ\text{C}$ без заметных изменений объема и является обратимой формой. Кубическая форма не встречается в охлажденном ZrO_2 и не имеет практического значения в технологии. Полиморфизм ZrO_2 отчетливо прослеживается на экспериментальных дилатометрических кривых (расширение - сжатие), поскольку температурные области прямого и обратного переходов при нагреве и охлаждении не совпадают. (рисунок 1).

Процесс теплового расширения чистого диоксида циркония представляет собой своего рода петлю. Для сравнения показаны кривые расширения-сжатия стабилизированного и частично стабилизированного диоксида циркония. В частично стабилизированном ZrO_2 петля узкая. По мере стабилизации петля еще больше сужается.

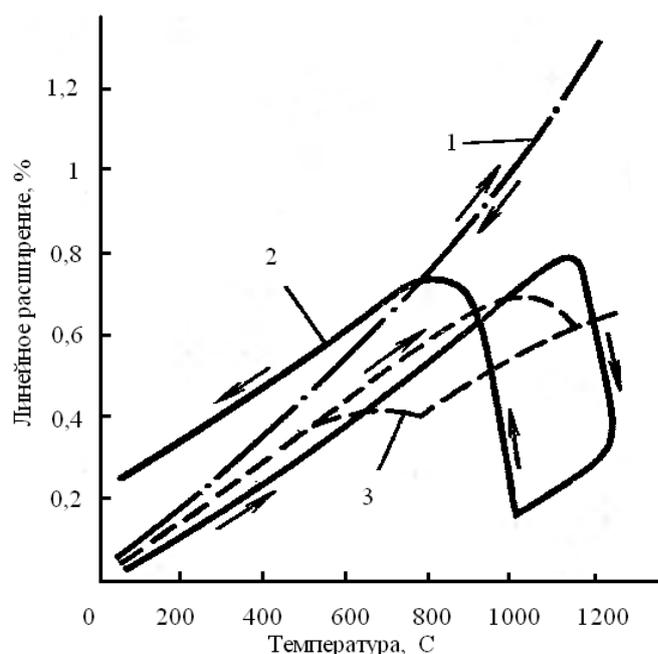


Рисунок 1 - Термическое расширение ZrO₂:

1 – с- ZrO₂ (стабилизированного), 2 – m- ZrO₂ (нестабильного), 3 – ЧСДЦ (частично стабилизированного)

Стабилизация ZrO₂. Обратимый характер модификационного превращения ZrO₂, сопровождающийся чередованием сжатия и расширения при обжиге, а также последующим охлаждением, долгое время являлся препятствием для производства изделий из этого оксида. Для устранения растрескивания хлебобулочных изделий, которое является следствием обратимого перехода от одной модификации ZrO₂ к другой, был найден метод, позволяющий предотвратить обратный переход нестабильной высокотемпературной тетрагональной модификации ZrO₂ в моноклинную. а. Этот процесс называется стабилизацией диоксида циркония. Стабилизация диоксида циркония с кристаллохимической точки зрения заключается в том, что кристаллическая решетка ZrO₂ приобретает прочные и стабильные связи, которые не могут быть разрушены при термообработке вплоть до температуры плавления [2].

Стабилизация ZrO₂ достигается перестройкой тетрагональной решетки в стабильную при всех температурах кубическую решетку и сопровождается образованием твердых растворов (типа замещения) некоторых оксидов -

стабилизаторов ZrO_2 . Такие твердые растворы с ограниченной растворимостью образуют ряд оксидов, ионный радиус катионов которых близок к ионному радиусу Zr^{4+} . Наибольшее применение в качестве стабилизатора получили CaO , Mg , Y_2O_3 . Ионные радиусы, нм, равны: $Ca^{2+} - 0,106$; $Mg^{2+} - 0,078$; $Zr - 0,087$; $Y - 0,106$.

В системе $ZrO_2 - CaO$ образуется бинарное соединение - цирконат кальция $Ca - ZrO_2$, плавящийся при $2300^\circ C$. Это соединение играет важную роль в технологии получения продуктов из ZrO_2 . В системе $ZrO_2 - Mg$ твердые растворы (до 40% Mg) с кубической решеткой образуются без полиморфных превращений.

Стабилизированный диоксид циркония, представляющий собой твердый раствор стабилизирующего оксида в ZrO_2 и имеющий кристаллическую решетку кубической формы, обычно называют кубическим ZrO_2 . Однако следует помнить, что это не чистый диоксид циркония. Практически для стабилизации ZrO_2 применяют чистые оксиды CaO , Mg , Y_2O_3 , однако допустимо вводить соответствующий катион через соли ($CaCO_3$ и др.).

Степень стабилизации ZrO_2 зависит от вида стабилизатора, его количества, температуры стабилизирующего обжига, количества примесей, содержащихся в диоксиде циркония, и других причин. Естественно, что технология производства должна быть направлена на достижение максимальной стабильности материала, на предотвращение возможной дестабилизации, т. е. распада твердого раствора. Это особенно важно потому, что ZrO_2 , стабилизированный CaO и Y_2O_3 , менее склонен к распаду. Принято считать, что диоксид циркония, стабилизированный CaO и Y_2O_3 , менее склонен к дестабилизации, чем стабилизированный Mg [2].

Примеси, находящиеся в техническом диоксиде циркония, связывают некоторое количество стабилизатора и также способствуют дестабилизации диоксида циркония. Особенно нежелательны в этом отношении TiO_2 , P_2O_5 , SiO_2 . При распаде твердых растворов в системе $ZrO_2 - CaO$ выделяется цирконат кальция, а в системе $ZrO_2 - Mg$ - свободная Mg . Дестабилизация материала

сопровождается его разрыхлением, повышением пористости и снижением всех прочностных характеристик.

Для полной стабилизации технического ZrO_2 требуются повышенные температуры (около $1900^\circ C$), а чистый ZrO_2 , содержащий минимум (0,5 %) примесей и не содержащий HfO_2 , достаточно полно стабилизируется при $1700 - 1750^\circ C$, образуя плотный и прочный материал. В наибольшей степени распад твердых растворов происходит в системе $Mg - ZrO_2$, в меньшей степени – в системе $CaO - ZrO_2$ и практически отсутствует в системе $Y_2O_3 - ZrO_2$. В настоящее время наиболее распространена стабилизация Y_2O_3 , иногда в сочетании с CaO . Практически полная стабилизация достигается также при электроплавке ZrO_2 совместно со стабилизатором. Этим методом широко пользуются для получения, стабилизированного ZrO_2 в виде порошков разной зернистости, применяемых при изготовлении циркониевых огнеупоров зернистого строения [2].

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 $c-ZrO_2 \rightarrow t-ZrO_2$. Тетрагональный ZrO_2 также имеет структуру типа флюорита. При дальнейшем снижении температуры, когда диффузия практически прекращается, а стесненность ионов кислорода увеличивается, происходит мартенситное превращение $t-ZrO_2 \rightarrow m-ZrO_2$ [3].

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, $0,78\text{Å}$ 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 ($Mg''_{Zr}V''$). 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 ($Y'_{Zr}V''Y'_{Zr}$), в котором два иона иттрия связаны с одной кислородной вакансией. Подобные комплексы при механическом нагружении материалы 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 трёхвалентной вводимого катиона и достаточной близости его радиуса с радиусом $Zr^{4+}(0,87\text{Å})$. Это положение оправдывается на примере стабилизации ZrO_2 оксидом иттрия ($Y^{3+}, 1,06\text{Å}$) 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 [3].

На рисунке 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 стабилизации высокотемпературной модификации $t-ZrO_2$. После спекания механической смеси Al_2O_3 - ZrO_2 (рисунок 3) с объемным содержанием ZrO_2 менее 20% образуется жесткая корундовая матрица, удерживающая дисперсные включения $t-ZrO_2$. Это обусловлено высоким модулем упругости корунда меньшим по сравнению с ZrO_2 тепловым расширением, вследствие чего частицы $t-ZrO_2$ находятся в поле сжимающих напряжений и остаются стабильными после охлаждения спеченного материала [3].

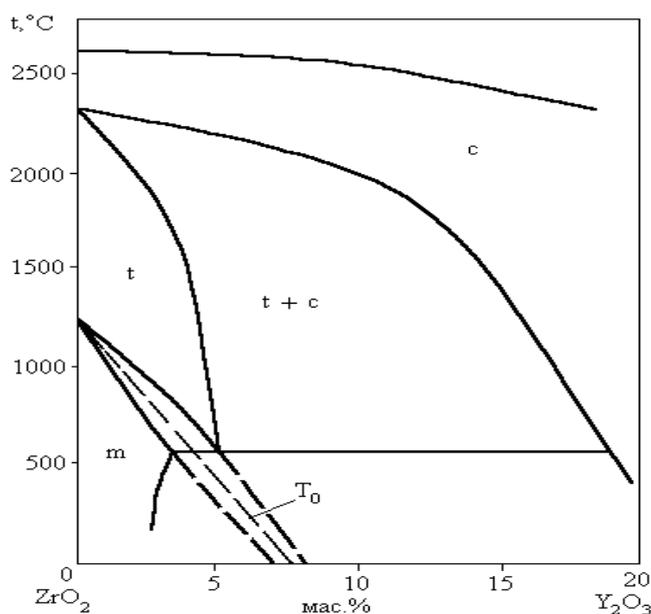


Рисунок 2 - Диаграмма состояния системы ZrO_2 - Y_2O_3 : T_0 - температура перехода $m-ZrO_2 \leftrightarrow t-ZrO_2$

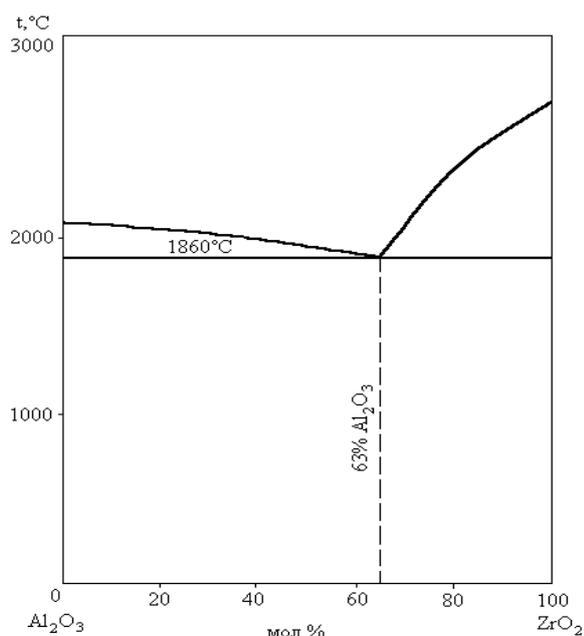


Рисунок 3 - Диаграмма состояния системы $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$

Свойства изделий из спеченного ZrO_2 связаны со степенью стабилизации, видом и количеством введенного стабилизатора. Именно поэтому приводимые в литературе данные сильно отличаются между собой, и, рассматривая их, надо всегда иметь в виду условия, и степень стабилизации [3].

Спеченный ZrO_2 обладает очень большой прочностью при нормальных температурах и, что особенно важно, сохраняет высокую прочность до 1300 - 1500°C. Это свойство ZrO_2 позволяет использовать его как конструкционный материал для работы при высоких температурах.

Прочность при изгибе при нормальной температуре составляет 200-250 МПа. Модуль упругости при нормальной температуре 172 ГПа, а при 1300 - 1400°C снижается примерно до 100 ГПа. С повышением пористости все прочностные характеристики снижаются почти линейно.

Теплота образования ZrO_2 равна 1,08 МДж/моль. Удельная теплоемкость повышается с температурой и составляет:

температура, °C	0	600	1000	1210	1400
удельная теплоемкость, Дж/г 0,5	0,57	0,66	0,7	0,73	

Теплопроводность ZrO_2 значительно ниже, чем теплопроводность всех других окисных материалов. Небольшая теплопроводность – особенность ZrO_2 ,

позволяющая использовать этот материал для высокотемпературной изоляции. Теплопроводность ZrO_2 при низких температурах значительно меньше, чем у других оксидов. С повышением температуры теплопроводность всех оксидных материалов снижается, а теплопроводность ZrO_2 остается почти постоянной, повышаясь лишь незначительно.

Коэффициент линейного расширения ZrO_2 сравнительно высок. При нормальной температуре он составляет около $(5-6) \cdot 10^{-6}$, а при $1500^\circ C$ до $(11-11,5) \cdot 10^{-6}$. С повышением степени стабилизации и плотности материала этот коэффициент возрастает [4].

Низкая теплопроводность и относительно высокий коэффициент линейного расширения обуславливают низкую термостойкость изделий. Термостойкость циркониевых изделий можно значительно повысить, если в состав масс добавить добавки (10-15%) моноклинного ZrO_2 , имеющего более низкий коэффициент. При этом из-за наличия ZrO_2 различных модификаций с разными коэффициентами линейного расширения образуются микротрещины, способствующие более свободному перемещению зерен при изменении температуры. Электромеханические изделия из диоксида циркония обладают повышенной термостойкостью. Температура начала деформации под нагрузкой изделий из ZrO_2 очень высока. Для изделий с плотной спеченной структурой из ZrO_2 высокой чистоты она составляет $2400-2450^\circ C$, а для технического оксида - около $2200^\circ C$.

Диоксид циркония в отличие от других оксидов (Al_2O_3 , MgO , Be и другие) не является хорошим изолятором. Уже при умеренных температурах ($1000 - 1200^\circ C$) изолирующие свойства ZrO_2 теряются.

Твердые растворы диоксида циркония со стабилизирующими оксидами RO и R_2O_3 обладают ионной (кислород анионной) проводимостью благодаря образованию кислородных вакансий при замещении ионов Zr^{4+} ионами R^{2+} и R^{3+} . По мере увеличения нарушений стехиометрии при повышенных температурах и в вакууме проводимость увеличивается. Максимум электропроводности приходится на состав, при котором достигается полная стабилизация.

Проводимость снижается при повышении содержания примесей и при явлениях дестабилизации [4].

Анионный характер проводимости твердых растворов ZrO_2 позволяет использовать его в качестве твердого электролита для работы при высоких температурах. Одна из областей применения - топливные элементы, где температура повышается до 1000 - 1200 ° С. Керамика ZrO_2 служит коллекторным элементом в таких высокотемпературных химических источниках энергии. Разработаны высокотемпературные нагреватели ZrO_2 , которые используются для нагрева в печах до 2200 ° С. На воздухе изделия из диоксида циркония используются для высокотемпературного плавления самых разных металлов и сплавов. Практически полное отсутствие смачиваемости ZrO_2 сталью и низкая теплопроводность позволили успешно использовать его для футеровки разливочных ковшей и различных огнеупорных элементов в процессе непрерывной разливки стали. В некоторых случаях диоксид циркония используется для нанесения защитных покрытий на корунд или высокоглиноземистые огнеупоры. Диоксид циркония широко используется для изготовления тиглей для плавки платины, титана, родия, палладия, рутения, металлического циркония и других. Стабилизированный оксид циркония успешно используется для теплоизоляции при высоких температурах (до 2500 ° С) в самых разных областях. Благодаря низкой теплопроводности и отличной химической стойкости в сочетании с высокой твердостью и прочностью ZrO_2 используется для защиты ракетных двигателей и деталей реактивных двигателей от коррозии и эрозии. ZrO_2 нашел применение при строительстве ядерных реакторов. Свойство ZrO_2 сохранять высокую стойкость при высоких температурах позволяет использовать его в качестве конструкционного материала. Возможность получения высокопрочной циркониевой керамики связана с открытием так называемого эффекта трансформационного упрочнения за счет контролируемого фазового перехода $t-ZrO_2 \rightarrow m-ZrO_2$. 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 когерентно связанном 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 [4].

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, рисунок 4а): 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: $\sigma_{\text{изг}}$ не более 250 МПа и K_{Ic} до 3 МПа $\times\text{м}^{0,5}$ 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 $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$ (ZTA: Zirconia Toughened Alumina рисунок 4б), 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 $7 \text{ МПа} \times \text{м}^{0,5}$ [4].

3. Частично стабилизированный диоксид циркония PSZ (Partially Stabilized Zirconia, рисунок 4в). Образуется при добавлении в ZrO_2 оксидов Mg, Ca, Y и др. При спекании в области гомогенности кубической фазы образуются крупные зерна $c-ZrO_2$ (60 мкм). После отжига в двухфазной области появляются тетрагональные частицы, когерентно связанные с кубической фазой. В системах ZrO_2 -Mg (Ca) 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 $10 \text{ МПа} \times \text{м}^{0,5}$) и прочности ($\sigma_{изг}$ до 1500 МПа) находит очень широкое применение в машиностроении.

4. Тетрагональный диоксид циркония TZP (Tetragonal Zirconia Polycrystals, рисунок 4г). Данный материал реализуется в системах $Zr_2 - Y_2_3(Se)$ 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 $15 \text{ МПа} \times \text{м}^{0,5}$. 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 [4].

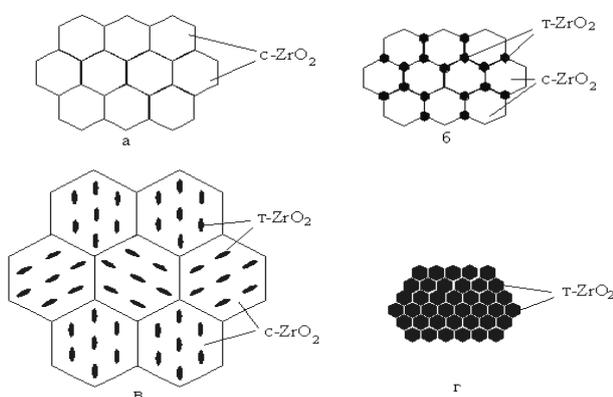


Рисунок 4 - Основные типы структур циркониевых керамик: а – CSZ, б – ZTA, в – PSZ, г – TZP

Керамика на основе ZrO_2 традиционно использовалась в металлургической промышленности для изготовления тиглей для плавки металлов. Циркониевая керамика на сегодняшний день является одной из наиболее перспективных керамических изделий конструкционного и инструментального назначения и используется в технологии изготовления деталей газотурбинных и дизельных двигателей, узлов трения, уплотнительных колец насосов, запорной арматуры, форсунок окрасочных камер, волочения проволоки, насадки, инструменты режущие. Керамика на основе ZrO_2 также используется в медицине для изготовления имплантатов в костной ткани. [4].

1.2 Получение исходных порошков

Существуют следующие процессы производства порошков: Механические методы получения порошков - это 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 понимаются такие технологические процессы, при которых в результате глубоких физико-химических превращений металл или сплав переходит в порошкообразное состояние. При этом полученный порошок может отличаться по химическому составу от исходных продуктов.

Помол во вращающихся шаровых мельницах. Самый простой шлифовальный станок - это вращающаяся шаровая мельница, представляющая собой стальной цилиндрический барабан с мелющими телами внутри, чаще всего стальными или твердосплавными шарами. Важную роль играют скорость вращения мельницы, количество мелющих тел и их форма, масса загружаемого для измельчения материала, продолжительность и среда измельчения. [5]

Помол в шаровых вибромельницах. Вибрационные шаровые мельницы (Рисунок 5) обеспечивают быстрое и тонкое измельчение различных материалов, таких как карбиды титана, вольфрам, кремний, хром, ванадий, и т. д.

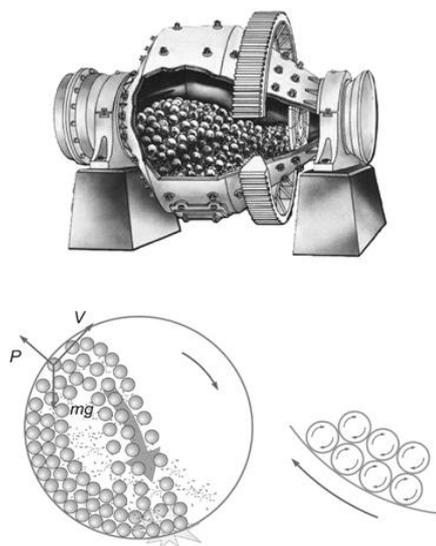


Рисунок 5 – Устройство шаровой мельницы и схема движения шаров в барабане

Вибрационным измельчением могут быть получены тонкодисперсные бронза и алюминий, причём размол алюминия следует вести в жидкой среде во избежание взрыва.

Основные показатели режима вибро размола, такие как коэффициент заполнения объёма мельницы размольными телами и измельчаемым материалом, соотношение между ними по массе, род помола (сухой или мокрый), обычно устанавливают эмпирически с учётом свойств измельчаемого материала и требуемой тонины помола. Материалом для размольных тел служат чаще всего сталь или твёрдые сплавы [5].

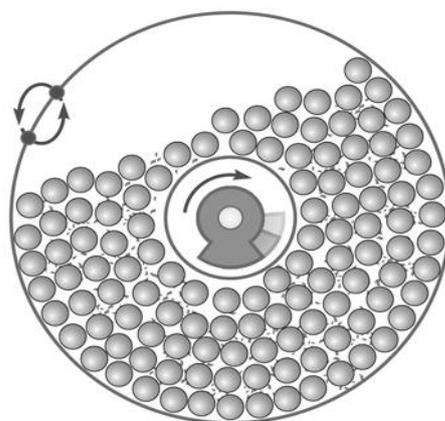


Рисунок 6 – Схема работы вибрационной мельницы
Измельчение в вихревых мельницах. Основные ударные и истирающие усилия возникают при соударении частиц измельчаемого материала в вихревой

мельнице (рисунок 7). Полученные частицы могут иметь различную форму: осколочную, хлопьевидную, шарообразную, тарельчатую (с углублением на поверхности). В результате вихревого измельчения могут получаться весьма тонкие и пирофорные порошки, например, железные.

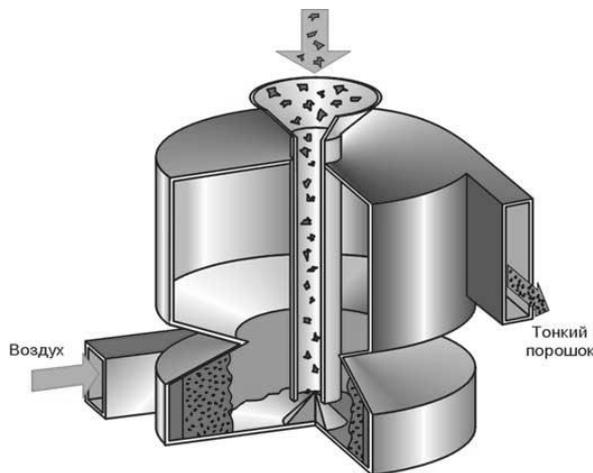


Рисунок 7 – Схема работы вихревой мельницы

Помол в планетарных центробежных и гироскопических мельницах. Планетарные центробежные мельницы (рис. 8) позволяют производить тонкое измельчение трудно измельчаемых материалов во много раз быстрее, чем в обычных шаровых, вихревых и вибрационных мельницах. Каждый из 2-6 барабанов, расположенных вертикально с измельчаемым материалом, вращается как вокруг своей продольной оси, так и вокруг оси, общей для диска, на котором они установлены. Направления вращения противоположны [5].

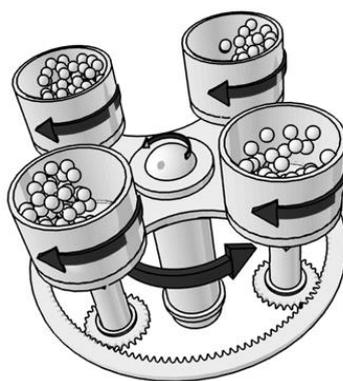


Рисунок 8 – Схема работы планетарной мельницы

1.3 Способы формования оксидных порошков

Прессование - формование порошковых металлов - одна из трудоемких операций порошковой металлургии, при которой под действием приложенной

силы из свободно текучего бесформенного порошка получается относительно прочное тело - прессование, имеющее близкую форму. и размер к форме и размеру готового изделия с учетом изменения размера при дальнейшей обработке спеканием. Прессование порошковых материалов заключается в приготовлении смеси порошков определенного химического и гранулометрического состава, дозировании и заполнении смеси в форме, прессовании, прессовании полуфабрикатов и контроле качества. Условия прессования (давление, контур, холод, тепло и др.) Определяют физико-химические и механические свойства готовых изделий, их эксплуатационное назначение.

Взаимосвязь между давлением прессования и плотностью прессовок. Увеличение плотности пресса за счет увеличения давления не является равномерным. На первой стадии прессования (рис.9) большее увеличение давления уже вызывает значительное увеличение плотности прессовок, а при дальнейшем прессовании, наоборот, даже очень высокие давления приводят только к небольшому увеличению плотности. [6].

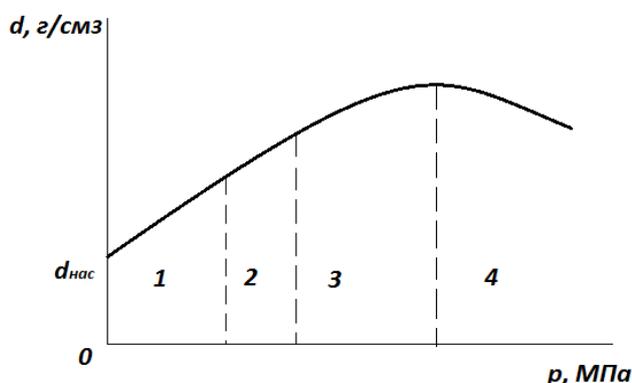


Рисунок 9 – График зависимости плотности заготовок от давления прессования:

1 – 4 – этапы прессования

Такая зависимость объясняется рядом последовательных этапов уплотнения, каждый из которых может быть наглядно представлен с помощью моделей Юнга (рисунок 10).

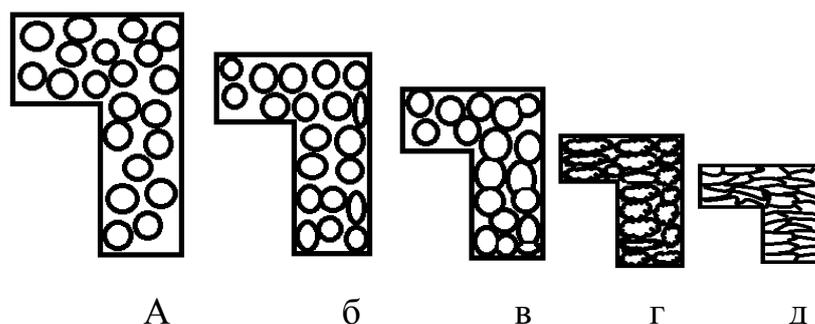


Рисунок 10 – Стадии прессования в закрытых пресс-формах: а – засыпка порошка; б, в – разрушение мостиков; г – начало деформации частиц; д – конец прессования

1.3.1 Холодное прессование в закрытых пресс-формах

Применяется при производстве конструктивных элементов. Он легко автоматизируется и обеспечивает производство полуфабрикатов, форма и размер которых соответствуют готовому продукту. В большинстве случаев изделия, прессованные в закрытых формах, не подвергаются дальнейшей механической обработке, а после спекания вводятся в эксплуатацию или проходят дополнительную обработку. [6].

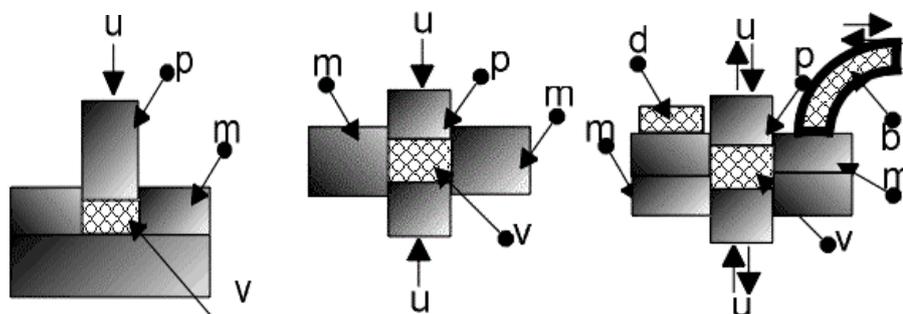


Рисунок 11 – Различные варианты прессования: а – прессование с одним пуансоном; б – прессование с двумя пуансонами; в – прессование с автоматически заполнением пресс-формы и выталкиванием готовой прессовки (u – направление усилия, m – матрица пресс формы, p – пуансон, v – прессуемое вещество (порошок), b - бункер-питатель, d – спрессованная деталь)

1.3.2 Горячее прессование

Горячее прессование - это комбинированный процесс прессования и спекания. В зависимости от характеристик порошков и ряда других факторов процесс обычно проводят при температуре от 0,5 до 0,8 от точки плавления

формованных материалов и при определенных давлениях в диапазоне от единиц до десятков мегапаскалей. Горячее прессование позволяет ощутить увеличение текучести материалов, наблюдаемое при повышении температуры, и в некоторых случаях практически не позволяет получить пористый продукт. Из-за более низких температур и более короткого времени процесса по сравнению с обычным спеканием рост кристаллов ограничен, и достигается мелкозернистая структура материала. В то же время метод перспективен, когда не требуется полного спекания материала. В этом случае желаемая плотность пористой керамики достигается при более низких температурах, чем при обычном спекании. Снижение температуры спекания позволяет минимизировать рост зерна, контролировать пористость и получать материал с большим сопротивлением. Выбирая режимы процесса, можно стимулировать рост кристаллов, необходимый для производства определенных типов керамики [7].

Поскольку при горячем прессовании операции прессования и спекания выполняются одновременно, этот процесс имеет свои особенности. В отличие от холодного прессования кривые давления значительно удлинены, что необходимо для процесса спекания, который, в свою очередь, при наличии внешнего давления значительно сокращается (по сравнению с обычным спеканием). В этом случае давление прессования может быть уменьшено на порядок или больше по сравнению с обычным прессованием. В то же время при горячем прессовании температура процесса обычно на 100-400 °C ниже, чем при обычном спекании, что в некоторых случаях помогает исключить нежелательные процессы, связанные с высокими температурами. Последнее в случае получения керамики, например, типа PZT, позволяет исключить испарение PbO, которое происходит при обычном спекании. [8].

Технология изготовления изделий горячим прессованием включает следующие основные операции: подготовка порошка, изготовление форм, загрузка в них порошка и предварительное холодное прессование; горячее прессование; Возможна термообработка - отжиг (например, в порошковой металлургии) и, в некоторых случаях, механический. Конфигурации установки

для процесса горячего прессования очень разнообразны. На рисунке 12 в качестве примера показаны схема установок и формы для горячего прессования по данной работе [8].

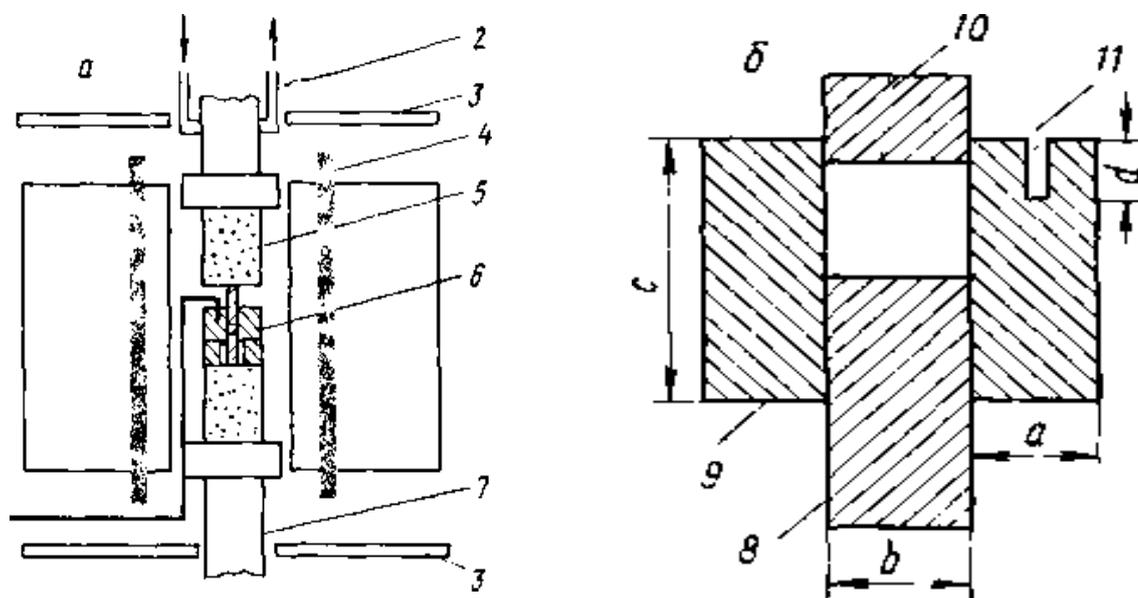


Рисунок 12 — Схема установки (а) и пресс-формы (б) для горячего прессования: 1 — термопара; 2 — система водного охлаждения; 3 — металлическая теплоотражающая плита; 4 — нагревательный осилитовый стержень; 5 — корундовый стержень для передачи давления; 6 — пресс-форма; 7 — подвижный пуансон; 8 — нижний пуансон; 9 — корпус формы; 10 — верхний пуансон; 11 — щель для термопары.

Установка состоит из печи и прессового механизма высокого давления, печь имеет кольцевую форму и нагревается за счет нагрева стержней слитков. Формовочный механизм снабжен регулирующим устройством для поддержания постоянного давления. [8].

Основная сложность процесса горячего прессования заключается в выборе материала технологического оборудования (штампов, пуансонов). Из-за тяжелых условий работы материалы должны обладать высокой механической и химической стойкостью, жаростойкостью, теплопроводностью и износостойкостью в диапазоне температур горячего прессования. В этом случае наиболее сложно обеспечить механическую прочность форм при температурах процесса. В большинстве случаев используются графитовые формы, потому что графит обладает уникальными свойствами. Механическая прочность графита

при нагревании не только не уменьшается, но и увеличивается (до 2500 ° С); его электропроводность позволяет использовать его в качестве нагревательного элемента для печей сопротивления или высокочастотных систем для горячего прессования. В зависимости от типа и размеров изделий горячее прессование в графитовых формах может достигать температур 2000 - 2500 ° С при $p_{уд} = 50 \div 100$ МПа. Однако графитовые детали постепенно выгорают на воздухе и также могут оказывать понижающее воздействие на некоторые керамические материалы. [8].

1.3.3 Гидростатическое прессование

Процесс изостатического прессования осуществляется в резиновых или других эластичных оболочках, находящихся под всесторонним сжатием рабочей среды, передающей давление. В этом случае исключаются как потери давления из-за трения о металлическую форму, так и различия в заданных степенях сжатия в отдельных участках корпуса формованного изделия. Этот метод особенно эффективен при получении изделий, высота которых намного превышает их поперечный размер (т.е. их сложно формовать обычным прессованием), полых изделий, а также изделий большого размера, прессование которых обычным способом ограничено отсутствием прессов необходимых габаритов и мощности. [8].

В ряде случаев изостатическое прессование используют и для получения изделий сравнительно простой и благоприятной конфигурации, если необходимо обеспечить снятие внутренних напряжений и максимальную их равно плотность, предотвратить даже незначительную деформацию в обжиге, вызываемую непостоянством огневой усадки в различных направлениях и на различных участках. [8].

Гидростатическое прессование, принципиальная схема которого представлена на рисунке 13. Этот метод позволяет изготавливать высокопрочные пластмассовые изделия, малопластичные и непластичные порошковые материалы, форма и размер которых не позволяют использовать другие методы изготовления изделий [9].

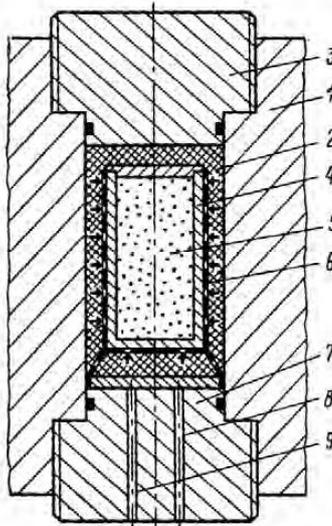


Рисунок 13 - Принципиальная схема изостатического прессования: 1 – сосуд высокого давления; 2 – жидкость высокого давления; 3 – верхний затвор; 4 – упругая форма; 5 – прессуемый порошок; 6 – перфорированная корзина; 7 – нижний затвор; 8 – подвод высокого давления; 9 – отвод жидкости.

1.4 Спекание оксидных керамик

Спекание порошковых материалов - это термическая обработка рыхлого порошка или прессованных заготовок при абсолютной температуре плавления $0,7 \dots 0,9$ металлического порошка в однокомпонентной системе или ниже температуры плавления металлической основы в многокомпонентной порошковой системе. Спекание состоит из нагрева продуктов до заданной температуры, изотермической выдержки при этой температуре и охлаждения до комнатной температуры. В металлургии под термином «спекание» понимают одну из важнейших технологических операций порошковой металлургии, при которой в результате диффузии, рекристаллизации и других процессов при термообработке создается единое тело из неплотно разлитого или уплотненного материала. конгломерат частиц порошка с определенной структурой и свойствами. С точки зрения физикохимии твердых тел спекание представляет собой сложный многоступенчатый самопроизвольный кинетический процесс приближения конгломерата частиц к состоянию термодинамического равновесия [10].

Избыточная свободная энергия - основная движущая сила спекания. С термодинамической точки зрения спекание можно рассматривать как процесс восстановления атомно-кристаллической структуры металлической частицы, а также процесс перемещения атомов из энергетически «невыгодных» мест в места, где свободная энергия системы минимальна. Спекание - это кинетический процесс, при котором порошковая система освобождается от неравновесных дефектов. Одним из наиболее характерных проявлений процесса спекания является уменьшение размеров - «усадка» изделия, сопровождающаяся «залечиванием» дефектов кристаллической структуры металлических частиц. Наиболее важными молекулярно-кинетическими процессами при спекании являются химические реакции на поверхностях и границах раздела, поверхностная и массовая диффузия, а также термически активируемые дислокационные процессы [10].

Процесс спекания включает три стадии: взаимное спекание частиц, сопровождающееся увеличением поверхности контакта между частицами и их усадкой между ними; на этом этапе частицы сохраняют свою структурную индивидуальность, а их межчастичные границы практически сохраняют исходное состояние; формирование единого пористого тела, которое представляет собой совокупность случайно перемешанных металлических частиц, порошка и пор; поры на этой стадии спекания в основном сообщаются друг с другом, а исходные межчастичные границы меняют форму в зависимости от состояния после прессования; уплотнение объема металла, уменьшение общей пористости и образование изолированных пор. Поры и их роль в процессе спекания. Получение металлических порошков при холодном прессовании без пористой части практически невозможно, так как они содержат межчастичные поры, исходное состояние которых влияет на кинетику спекания за счет изменения формы пор, их залечивания и полного исчезновения. Помимо пор, связанных с прессованием, частицы порошка содержат большое количество микропор, разрыхление и т. Д., Которые во время спекания могут перераспределяться внутри частиц, образовывать рубцы, коалесцировать и

влиять на процессы, происходящие во время спекания. Спекание, как на частице поверхность и внутри. [10].

Граничные поверхности в порошковых материалах. Границы и пограничные участки имеют большое влияние на свойства металлов. Неоднородность границ по химическому составу, наличие в них простоты, преимущественная деформация по границам зерен при нагружении, инициирование фазовых превращений и их одновременное замедление, влияние границ на процессы рекристаллизации, рост зерен и т. Д. определить важную роль пределов в процессах структурообразования и формирования свойств при различных видах обработки металлов и их конечные значения по сопротивлению, ползучести и т. д. металлы, а также механизм разрушения металлов. Влияние температуры спекания на формирование структуры и свойств. Температура спекания определяется не только природой металла частиц, но и состоянием и удельной поверхностью частиц, их дисперсностью и формой, дефектностью кристаллической структуры металла и т. Д. Температура спекания на структуру и свойства порошковых изделий тесно связана с физико-химическими и технологическими характеристиками порошка, размером, давлением прессования, временем спекания, а также величиной нагрузки, прикладываемой к изделию в процессе спекания. Влияние времени спекания. Наибольшая интенсивность спекания наблюдается в первые минуты спекания. Время ожидания при идеальной температуре спекания порошковых продуктов определяется в зависимости от состава порошковой смеси, загрузки печи, условий спекания и составляет от нескольких минут до нескольких часов.

Связь между давлением прессования и спеканием. Многие явления, возникающие при спекании, определяются сжимающей силой во время прессования. Чем выше давление прессования, тем больше внутренние напряжения в частицах, тем больше дефектность структуры частиц и тем больше изменяется спеченный узор. Усадка и плотность спеченных изделий во многом зависят от давления прессования. Наибольшая усадка при спекании и

наибольшая плотность в готовом виде достигаются при прессовании изделий под высоким давлением. [10].

Влияние дисперсности и формы частиц порошка на кинетику спекания. Размер частиц порошков связан с механизмом переноса металлических частиц. Увеличение размера частиц порошка уменьшает удельную поверхность, снижает их активность и, таким образом, снижает движущую силу спекания. Форма частиц порошка и технология их получения имеют большое влияние на кинетику спекания. Повышенная активность при спекании дисперсных порошков приводит к резкому увеличению их физико-механических свойств. [10].

В пористых компактах частицы контактируют только на отдельных участках с меньшим размером по сравнению с поперечным сечением частицы. При спекании прессовки увеличивается поверхность контакта между частицами и сближение их центров. Однако, поскольку некоторые частицы в точках контакта ориентированы более благоприятно, чем другие, взаимодействие частиц пекана начинается в разное время, поэтому будет временная зависимость от количества контактов, на которых началось спекание. Увеличение площади контактов между частицами и сближение центров частиц эквивалентно исчезновению части объема, занятого порами. Важнейший вопрос теории и практики смыкания порошковых тел – определение кинетики спекания. Авторами [11] разработана методика определения кинетики спекания НП, использующая следующие уравнения:

$$V_{\tau}/V_n = \exp(-K\tau^n), \quad (1)$$

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

$$K = K_0 \exp(-nQ_1/RT), \quad (2)$$

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

$$\ln \ln(V_n/V_{\tau}) = n \ln K_0 - nQ_1/RT + n \ln \tau, \quad (3)$$

После дифференцирования при постоянной температуре параметр n можно определить по формуле

$$n = d \ln \ln(V_H/V_T) / d \ln \tau, \quad (4)$$

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

$$Q_1 = -(R/n) d \ln \ln(V_H/V_T) / d T^{-1}, \quad (5)$$

Термодинамическим условием жидкофазного спекания, как и твердофазного спекания, является стремление системы к минимуму поверхностной энергии. Основная усадка в процессе жидкофазного спекания при удовлетворительном смачивании твердых частиц жидкостью вызвана, во-первых, сжатием и перегруппировкой частиц под действием капиллярных сил жидкой фазы, а во-вторых, переносом твердой фазы. материал частиц через жидкую фазу. Большая часть уплотнения достигается за счет усадки и перегруппировки твердых тел. В случае жидкофазного спекания систем с взаимодействующими компонентами эффективное уплотнение достигается с меньшим количеством жидкой фазы из-за дополнительной усадки, но более медленным из-за перекристаллизации через жидкую фазу и диспергирования крупных частиц во время проникновения расплава. вдоль границы зерна, регулируя его форму и коалесценцию путем растворения и осаждения. Процесс согласования схождения твердых частиц оказывает значительное влияние на окончательное уплотнение при жидкофазном спекании систем с взаимодействующими компонентами. Это особенно важно при небольшом количестве жидкой фазы. [12].

В работах [13, 15] показано, что быстрая усадка прессованных НЧ на начальной стадии спекания и логарифмическая зависимость температуры начала спекания от обратной величины размера спеченных НЧ не могут быть объяснены диффузионным механизмом спекания. При этом было сделано предположение, что начальная стадия спекания НЧ определяется флотационным плавлением НЧ, термодинамические параметры которых подвержены колебаниям. Пока частица находится в жидком состоянии, расплавленная флотационная частица заполняет

пустоты между соседними частицами и соединяется с ними. Одним из ключевых вопросов развития теории флуктуаций спекания нанопорошков на ранних стадиях является определение механизма плавления (плавления) флуктуирующей расплавленной частицы с ее соседями.

В [16] было показано, что флуктуационная модель спекания нанопроволок хорошо описывает начальную стадию спекания при низких температурах (близких к начальным температурам спекания). Если предположить, что плавкая плавленная частица объединена с соседней частицей максимального объема, результаты расчета лучше согласуются с экспериментом.

2 Материалы, оборудование, методика исследования

Исходные материалы: плазмохимические керамические порошки оксидов циркония и алюминия, nano порошок алюминия и смеси на их основе следующих составов:

- 1) 76% ZrO_2 - 20% Al_2O_3 - 4% Y_2O_3 ;
- 2) 97% ZrO_2 – 3% Y_2O_3 ;

При выполнении работы использовали следующее оборудование и приборы:

1. Планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL»
2. Гидравлический пресс
3. Высокотемпературная печь для спекания в окислительной атмосфере
4. Установка горячего прессования (лаборатория физики nano структурных функциональных материалов ИФПМ СО РАН)
5. Микротвердомер ПМТ-3
6. Nan Indenter G 200
7. Микроскопический комплекс SIAMS с металлографическим микроскопом «Лабомет – И»

Механическая активация. Механическая обработка исходных порошков была проведена в планетарной шаровой мельнице «Активатор 2SL». Для композитов:

Помол проводился 20 минут при: 10, 20, 30, 40 Гц;

Сито были выбраны: 112, 90, 71, 63, 50 и 40 мкм.

Ситовый анализ выполняется с использованием одного или нескольких сит, лотка и крышки. Количество сеток, размер ячеек или размер и форма отверстий в перфорированных пластинах определяются условиями анализа.

Для улучшения прессуемой порошков был разработан метод пластифицированные. В качестве пластификатора использовали раствор каучука в бензине из расчета 2% по сухой массе.

Приготовленные смеси перемешивали в течение 5 минут, сушили, затем просеивали через сито 500 мкм.



Рисунок 14 - Анализатор для ситового анализа вибрационный лабораторный
А20

Одноосное статическое прессование в холодном состоянии в закрытой жесткой форме. Это простейшее техническое решение, перспективное для дальнейшего совершенствования методом порошкового формования. Этот технологический вариант формования деталей из порошков представляет собой прерывистый процесс, при котором гидравлическая площадь прессуемого изделия остается постоянной на протяжении всего процесса прессования, плотность увеличивается за счет уменьшения высоты, а давление непрерывно увеличивается до определенного заданного значения. максимальное значение или когда продукт достигает определенной высоты или плотности. Процесс происходит в закрытой со всех сторон форме при комнатной температуре и атмосферном давлении (рис. 15). В этом случае происходит уплотнение порошка за счет уменьшения объема пор, увеличения удельной поверхности контакта частиц, увеличения текучести порошка, упругопластических деформаций или хрупкого разрушения частиц. Частицы и их агломераты при контакте с поверхностями. В результате деформируемое порошковое тело укрепляется. В целом процесс холодного прессования состоит из трех этапов (Рисунок 16). На первом этапе в полость матрицы засыпается необходимое количество порошка, затем, в зависимости от выбранного способа прессования (одностороннее или

двустороннее), на пуансон прикладывается давление, последний этап холодного прессования - прессование.

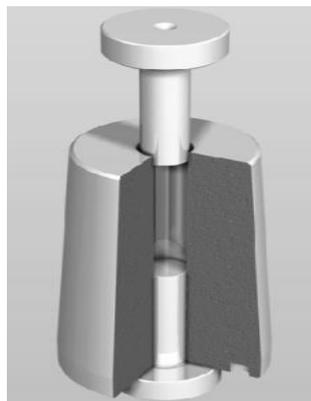


Рисунок 15 – Пресс-форма для одноосного прессования

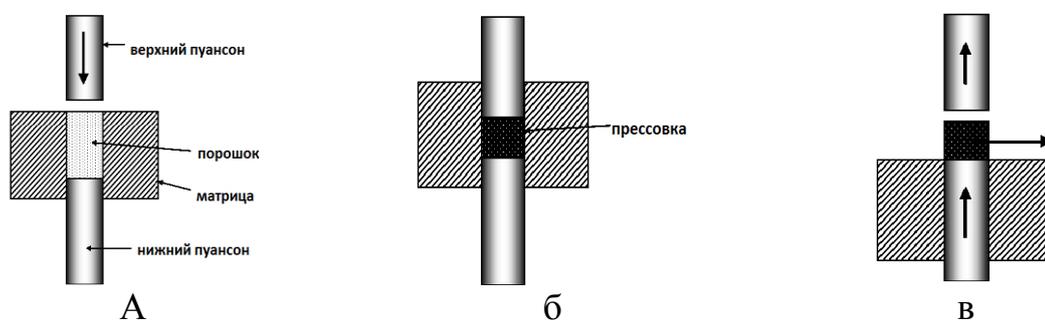


Рисунок 16 – Стадии холодного прессования: а - засыпка порошка, б - прессование, в - выпрессовка

Путем холодного прессования в закрытых формах получают прессование в соотношении формы и размеров, соответствующем готовой детали, с необходимыми допусками для последующих операций. Было проведено холодное статическое одноосное прессование в жесткой пресс-форме для порошков:

- а) 76 % ZrO_2 – 20% Al_2O_3 – 4% Y_2O_3 при 100 – 200 – 400 – 400 МПа;
- б) ZrO_2 – 3% Y_2O_3 при 100 – 200 – 300 – 400 МПа.

Гидростатическое прессование. Один из перспективных методов формования - гидростатическое прессование. Основное преимущество этого метода - возможность изготовления заготовок с равномерно распределенной плотностью. Кроме того, отсутствие внешнего трения порошка о стенки инструмента позволяет получать детали больших размеров, а размеры деталей ограничиваются только размерами камеры высокого давления.

Было проведено гидростатические прессования для порошка 97% ZrO_2 – 3% Y_2O_3 при 200 МПа.

Спекание. Электропечь СНВЭ-1.3.1/16 предназначена для проведения различных термических процессов (отжига, дегазации, спекания и т.п.) в вакууме при температуре до 1600 °С и небольших газа выделениях, 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).

Рабочая температура определяется как функция температуры плавления, фазовых превращений обрабатываемого материала и типа термических операций. Электропечь может найти применение в электронике, радиотехнике, электротехнике, авиации и других отраслях промышленности.



Рисунок 17 - Электрическая вакуумная печь сопротивления СНВЭ-1.3.1/16

Рабочая зона электропечи окружена с боков и с обоих концов б резисторами W-образной формы, состоящими из вольфрамового стержня диаметром 6 мм, образующих однофазную систему из двух параллельных групп. Загнутые концы боковых нагревателей проходят через отверстия в экранах и вставляются в отверстия молибденовых переходных втулок, которые ввинчиваются в медные пластины. Под действием собственного веса нагреватель удерживается на месте, и между ним и источником питания создается точечный электрический контакт. Такой способ монтажа нагревателей облегчает сборку и ремонт электропечи. Торцевые нагреватели вращаются для обеспечения установки заряда в патронник. В поднятом положении они крепятся

специальными крючками, закрепленными на раме бокового экрана. Операции загрузки и разгрузки могут выполняться с обоих концов камеры нагрева. Система водяного охлаждения электропечи включает коллектор, сливную воронку, вкладыши водяного охлаждения, конструктивные элементы электропечи и паромасляный диффузионный насос. Соединения в системе выполнены резиноканевыми шлангами, закрепленными на соединениях элементов системы жидкостного охлаждения с помощью лент. Давление охлаждающей воды в подводящем трубопроводе должно быть не менее 0,25–0,30 МПа (2,5–3,0 кгс / см²). Для обеспечения правильной установки паромасляного диффузионного насоса температура воды на входе для охлаждения не должна превышать + 20 ° С. Другие блоки электропечи могут иметь более высокую температуру, но при любых условиях температура на входе должна быть ниже. Не превышайте + 45 ° С. Регулирование теплового режима осуществляется путем изменения подводимого к нагревателям напряжения с помощью тиристорного регулятора напряжения, включенного в первичную обмотку печного трансформатора. Сигнал управления тиристорного регулятора напряжения формируется и подается с микропроцессорного регулирующего прибора ПРОТАР-100.

Спрессованные образцы на основе 76 % ZrO₂ – 20% Al₂O₃ – 4% Y₂O₃ спекали в вакуумной печи типа СНВЭ (рисунок 20) при температуре 1450°С, время изотермической выдержки при температуре спекания составляло 1 ч.

Спрессованные керамические образцы спекали в воздушной печи при 1600°С, затем охладили с печью до комнатной температуры.

Шлифование производилось абразивным истиранием поверхности образца с последовательным переходом к все более мелкозернистому абразивному материалу. Также большое значение во время шлифования имело давление, прикладываемое к образцу, контактирующему с абразивным материалом. Шлифовку и полировку керамических образцов проводили алмазными пастами. Для шлифовки и полировки керамических образцов использовали: пасту эльборную ТУ 29377-036-05806883-03 марок АСМ 3/2 НОМ

и АСМ 1/0 НОМ; паста алмазная ГОСТ 25293 марка АСМ 7/5 Х13ОМ. Микроскоп металлографический лабораторный инвертированный «Лаба Мет – И». Микроскоп предназначен для наблюдения и исследования изображения структуры металлов, сплавов и других непрозрачных объектов (в виде шлифов и срезов) при прямом освещении в отражённом свете в светлом поле.

Микроскоп может использоваться для научных, исследовательских целей, а также для рутинных лабораторных исследований и учебных работ.

Таблица 1 - Технические характеристики

Система	Конечная длина тубуса 160мм	
Диапазон возможных увеличений на микроскопе	Стандартная комплектация	оригинальная комплектация
	40 – 400х	12,5 – 2000х
Насадка	Биноккулярная с наклоном 45° Левый окулярный тубус снабжён диоптрийным механизмом перемещения окуляра в пределах ±5 диоптрий. Регулируемое в пределах 55 - 75 мм межзрачковое расстояние.	
Объективы стандарта DIN (высота 45 мм)	Планахроматы: 4х/0,10, 10х/0,25, 40х/0,65	
Окуляры	10/18 парные центрированные	
Методы освещения и исследования на микроскопе	Отражённый свет. Классический метод освещения по Кёлеру с регулируемой полевой и апертурной диафрагмами. Светлое поле.	
Револьверное устройство	Для четырех объективов	
Механизм фокусировки	Коаксиальный. Позволяет проводить отдельно грубую и тонкую фокусировки. Общая величина фокусировки – не менее 30 мм. Цена деления шкалы тонкой фокусировки – 0,002 мм. Имеется возможность регулировки тугости хода при грубой фокусировке.	
Предметный столик	Двухкоординатный с возможностью перемещения препарата в горизонтальной плоскости в продольном и поперечном направлениях. Размеры предметного столика 180X 200мм.	

Наноиндентор G200. Наноиндентирование – универсальное средство количественной характеризуй физических свойств материалов в нано- и микродиапазонах.

Основные возможности:

- определение микротвёрдости;
- определение модуля Юнга;

- выявление зависимости свойств от глубины в высокоградиентных материалах;
- определение расположения границ и отдельное определение материала пленки и свойств подложки в тонкопленочных структурах без подготовки поперечного сечения и травления поверхности;

Индентирование производили с помощью прибора Nano Indenter G200. Наноиндентор G200 позволяет определять механические свойства нанометровых поверхностных слоев и субмикронных объемов самых разнообразных материалов - от мягких биологических до сверхтвердых алмазоподобных. Пирамида Берковича использовалась как индентор; нагрузка составляла 500 мН (50 г).



Рисунок 18 –Nano Indenter G200

Конструкция устройства позволяет отображать на мониторе график глубины проникновения в реальном времени. Основные данные - глубина загрузки и развертывания. На основе диаграммы провара прибор автоматически рассчитал модуль упругости ЕИТ и микротвердость НИТ по стандарту IS 14577. После вдавливания индентора в материал упругие и пластические деформации приводят к образованию надреза с соответствующим форма индентора на определенной глубине h_c . После подъема индентора упругая деформация восстанавливается, что позволяет определить упругие свойства материала.

Экспериментальная первичная кривая «нагрузка – внедрение» (диаграмма внедрения), непрерывно получаемая в процессе индентирования, показана на рисунке 19. По диаграмме определяются следующие величины: пиковая нагрузка и глубина проникновения индентора P_{max} и h_{max} , остаточная глубина после разгрузки h_f , и наклон начальной части кривой разгрузки $S=dP/dh$. Наклон S имеет размерность силы на единицу расстояния, и также известен как упругая жесткость контакта.

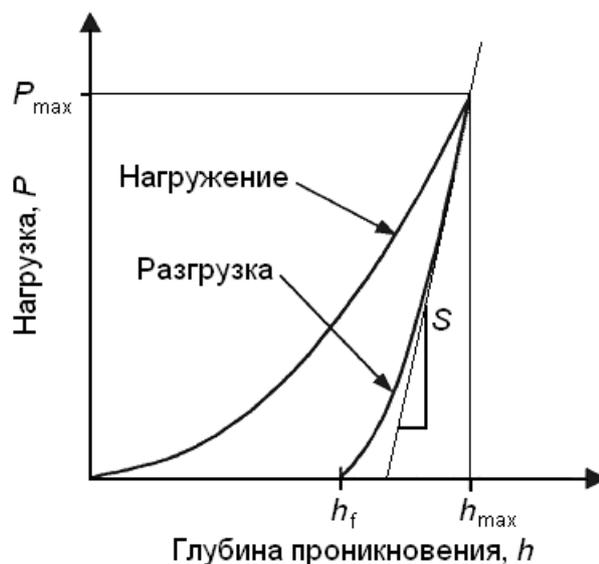


Рисунок 19 - Кривая «нагрузка – внедрение», получаемая в процессе индентирования

Твердость исследуемой поверхности H определяется по следующей формуле: $H = \frac{P}{A}$, где P – нагрузка, прилагаемая к испытываемой поверхности, A – площадь контакта под нагрузкой.

Модуль упругости исследуемого образца E определяется из приведенного модуля E_r , который рассчитывается по формуле: $E_r = \frac{(S\sqrt{\pi})}{2\beta\sqrt{A}}$.

β является константой, которая зависит от геометрии индентора. Уравнение было получено для осесимметричного индентора, и формально относится только к круговым контактам, для которых $\beta=1$. Тем не менее, было показано, что уравнение работает и тогда, когда геометрия индентора не осесимметрична, при условии, что используются различные значения β . Для

индентора с квадратным сечением (пирамида Виккерса) $\beta=1,012$, для
треугольного сечения (пирамида Берковича) $\beta=1,034$.

3 Результаты эксперимента

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б71	Абдуллаеву Азизбеку Акмальжон угли

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

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала НИ	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения НИ	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования.
3. Составление бюджета НИ	Расчет бюджетной стоимости НИ по разработке стенда
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности НИ	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Маланина Вероника Анатольевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б71	Абдуллаев Азизбек Акмальжон угли		

Введение

Целью раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- планирование научно-технической работы;
- определение сметы на осуществление научно-технической работы;
- оценка научного - технического уровня работы.

Научно - исследовательская работа представляет собой процесс исследования физико-механических свойств керамики на основе диоксида циркония.

Цель работы – разработка стабилизированной керамики на основе диоксида циркония с повышенными механическими свойствами, для применения в качестве конструкционного материала, а также ее модифицирование.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

При создании метода необходимо определить потенциального потребителя данной технологии. Ввиду того, что для синтеза оксикарбонитридных фаз порошков необходимы дополнительные знания и умения в области физики и материаловедения, потенциальными потребителями продукции являются научные институты и предприятия машиностроительной отрасли. Керамика, полученная синтезом оксикарбонитридных фаз имеет большой спрос на рынке, является материалом нового поколения, обладающим высокими технологическими свойствами.

Потенциальными потребителями результатов исследования могут быть предприятия автомобильной промышленности, пищевой, аэрокосмической, военной промышленности, предприятия, производящие медицинское оборудование.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в проведение сварочных работ, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Потенциальными конкурентами по производству порошковых материалов и деталей из них на отечественном рынке могут выступать: Завод технической керамики, г. Москва – занимается производством режущего инструмента и износостойких изделий из керамики марок на основе диоксида циркония. ОАО «НЭВЗ-Союз», г. Новосибирск - Предприятие владеет технологией производства технической керамики на основе циркония. Сравнение конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку эффективности научного исследования и определить направления для ее повышения.

Более целесообразно проводить анализ с помощью оценочной карты, приведённой в таблице 10. Критерии для сравнения подбираются исходя из выбранных объектов с учетом их технологических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации, где $K_{к1}$ - керамика на основе диоксида циркония, производимая в Москве а $K_{к2}$ - керамика на основе диоксида циркония, производимая в Новосибирске.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к2}	Б _{к3}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Твердость	0,098	5	5	5	0,490	0,490	0,490
2. Высокая прочность	0,093	3	4	4	0,279	0,372	0,372
3. Стойкость к высоким температурам	0,083	4	4	3	0,332	0,332	0,249
4. Технологичность	0,060	5	5	5	0,300	0,300	0,300
5. Плотность	0,099	5	5	5	0,495	0,495	0,495
6. Износостойкость	0,067	4	3	5	0,268	0,201	0,335
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Реализация продукта	0,089	3	5	4	0,268	0,445	0,356
2. Цена продукта	0,055	4	4	4	0,220	0,220	0,220
3. Охват рынка	0,088	3	5	3	0,264	0,440	0,264
4. Срок эксплуатации продукта	0,098	4	4	3	0,392	0,392	0,294
5. Сроки изготовления продукта	0,083	4	3	4	0,332	0,249	0,332
6. Наличие сертификатов	0,087	4	4	4	0,348	0,348	0,348
Итого:	1	48	50	47	3,988	4,569	3,263

Расчет конкурентоспособности определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность проекта; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл показателя.

При выполнении анализа были проведены сравнения конкурентоспособности. Видно, что у второго варианта конкурентоспособность выше в основном из-за того, что охват рынка больше и продукт реализуется

лучше. Вероятно, это связано с тем, что Завод технической керамики старше своих конкурентов, а значит более известен. В дополнение к этому, он находится в Москве, что в ряде случаев упрощает доставку, в том числе и за рубеж.

4.3 SWOT-анализ

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

Таблица 11 – SWOT-анализ

	Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
	<p>S1. Повышение эффективности производственных процессов;</p> <p>S2. Повышенные механические свойства изделий;</p> <p>S3. Наличие необходимых установок для проведения испытаний;</p> <p>S4. Меньшие затраты на выпуск изделия из керамики.</p>	<p>W1. Малое количество предприятий, производящих и распространяющих техническую керамику;</p> <p>W2. Отсутствие квалифицированных работников для применения концепции в различных отраслях.</p>
<p>Opportunities (возможности)</p> <p>O1. Относительно свободная ниша рынка;</p> <p>O2. Появление дополнительного спроса на конечный продукт;</p> <p>O3. Возможность использования на мировом уровне;</p> <p>O4. Использование во многих отраслях.</p>	<p>O1O2S1S2S4 – Комбинируя разные порошки, можно создать материалы нового поколения, которых не было ранее.</p> <p>O3O4S1S2S3S4 – Улучшив свойства керамики нового поколения, можно вывести продукт на востребованный уровень.</p>	<p>W1W2O2O3 – При увеличении спроса на конечный продукт, существует вероятность что будет нехватка времени и производственных сил для качественной реализации.</p>
<p>Threats (угрозы)</p> <p>T1. Отсутствие спроса на некоторые виды керамики</p> <p>T2. Повышение стоимости оборудования</p>	<p>T1S1S2S3S4 – Можно повысить спрос на керамику, создавая продукт с требуемыми свойствами, а наличие необходимых установок и повышение эффективности процессов производства поможет держать цену на невысоком уровне.</p> <p>T2S2 – Для получения керамики с повышенными механическими свойствами может потребоваться дополнительное</p>	<p>Главными угрозами проекта является непроработанная схема коммерциализации проекта и возможное увеличение цены на оборудование.</p>

	оборудование, как для производства, так и для проведения испытаний.	
--	---	--

Таблица 12 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4
O1	+	+	-	+
O2	+	+	-	+
O3	+	+	+	+
O4	+	+	+	+

Из таблицы 12 следует, что сильные стороны проекта соответствуют возможностям реализации по параметрам: O1O2S1S2S4, O3O4S1S2S3S4.

Таблица 13 – Связь слабых сторон с возможностями

	O1	O2	O3	O4
W1	-	+	+	-
W2	-	+	+	-

Из таблицы 13 следует, что слабые стороны соответствуют возможностям реализации по параметрам: W1W2O2O3.

Таблица 14 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4
T1	+	+	-	+
T2	-	+	-	-

Из таблицы 14 следует, что сильные стороны проекта соответствуют угрозам по параметрам: T1S1S2S3S4, T2S2.

Таблица 15 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2
T1	-	-
T2	-	-

Из таблицы 15 следует, что слабые стороны проекта не коррелируют с угрозами. Т.к. слабые стороны связаны больше с возможностями, нежели с

угрозами, слабые стороны можно нейтрализовать и постепенно обратить в преимущества. Поэтому для развития благоприятного сценария необходимо больше концентрироваться на угрозах, нежели на слабых сторонах, а именно на том, как избежать угроз и минимизировать потери, создаваемые угрозами.

4.4 Планирование научно-исследовательских работ

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Список производимых задач и работ и их исполнители

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, инженер
	5	Изучение методик по работе с оборудованием	Инженер
	6	Подготовка оборудования для проведения исследования	Инженер
	7	Изготовление и подготовка образцов для исследования	Инженер
	8	Проведение экспериментального исследования	Инженер
	9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Инженер
	10	Анализ полученных результатов	Инженер, руководитель
	11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, инженер
	12	Оформление отчета по исследованию	Инженер

4.4.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожi}$ определяется по формуле:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

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

поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств, чел.-дн.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожіi}}{Q_i},$$

где Q_i – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

4.4.2 Разработка графика проведения исследования

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

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

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

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

где $k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

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

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

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

Расчет трудоемкости и продолжительности работ, на примере задачи «Составление и утверждение технического задания»:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 4}{5} = 2,8 \text{ чел.-дн.},$$

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{C_i} = \frac{2,8}{1} = 2,8 \text{ раб.дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

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

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{\text{кал.инж}} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 2,4 \cdot 1,48 = 3,55 \approx 4 \text{ кал.дн.}$$

Расчет календарного коэффициента для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

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

Расчет календарной продолжительности выполнения работы, на примере задачи «Выбор направления исследований»:

$$T_{\text{кал.инж}} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 2,1 \cdot 1,28 = 2,69 \approx 3 \text{ кал.дн.}$$

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 17.

Таблица 17 – Временные показатели проектирования

Номер работы	Трудоёмкость работ			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{\min} , чел-дни	t_{\max} , чел-дни	$t_{ожі}$, чел-дни		

	Р у к о в о д и т е л ь	И н ж е н е р	Р у к о в о д и т е л ь	И н ж е н е р	Р у к о в о д и т е л ь	И н ж е н е р	Руко води тель	Ин жен ер	Руков одите ль	Инж енер
1	2	0	3	0	2	0	2	0	3	0
2	0	5	0	10	0	6	0	6	0	9
3	1	1	4	4	2	2	1	1	1	1
4	1	1	3	3	2	2	1	1	1	1
5	0	2	0	7	0	4	0	4	0	6
6	0	2	0	5	0	3	0	3	0	4
7	0	2	0	7	0	4	0	4	0	6
8	0	6	0	14	0	9	0	9	0	13
9	0	2	0	9	0	5	0	5	0	7
10	3	3	9	9	5	5	2	2	3	3
11	4	4	9	9	6	6	3	3	4	4
12	0	8	0	16	0	11	0	11	0	16

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы была построена диаграмма Ганта (таблица 18).

Таблица 18 – Диаграмма Ганта

№ работ	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Руководитель	2	■													
2	Изучение литературы	Инженер	6		■												
3	Выбор направления исследования	Руководитель, инженер	1		■												
4	Календарное планирование	Руководитель, инженер	1				■										
5	Изучение методик	Инженер	4				■										
6	Подготовка оборудования	Инженер	3				■										
7	Изготовление и подготовка образцов	Инженер	4				■										
8	Проведение эксперимента	Инженер	9					■									
9	Сопоставление результатов	Инженер	5						■								
10	Анализ результатов	Руководитель, инженер	2							■							
11	Оценка эффективности	Руководитель, инженер	3								■						
12	Оформление отчета	Инженер	11										■				

Руководитель - 

Инженер - 

Таблица 19 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	51
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	43
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	9

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

4.4.3 Бюджет научного исследования

4.4.3.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 20.

Таблица 20 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Количество, шт.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Порошок ZrC	0,1 кг	2000	230
Порошок ZrO ₂	0,1 кг	500	57,7
Порошок ZrN	0,1 кг	2000	230
Абразивы	15 шт	35	603
Спирт этиловый ректификованный ГОСТ 5962-2013	0,3 л	1200	414
Вата медицинская	0,3 кг	400	138

Царская водка	0,1 л	150	17
Алмазная паста	0,03 кг	350	12,075
Пластификатор	0,1 кг	200	30
Перчатки	4 шт.	7	28
Итого:		1800	

4.4.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Таблица 21 – Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Количество, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Весы	1	3	4500	4500
Смеситель С 2.0	1	4	59700	59700
Электродпечь СНВЭ-1.3.1/16	1	8	187000	187000
Планетарная мельница Активатор 2SL	1	15	28589	28589
Персональный компьютер	1	3	40000	40000
Микроскоп ЛабоМет-1	1	5	200000	200000
Наноиндентор G200	1	10	6000000	6000000
Итого			6519789	

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

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

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

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

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для электропечи, с учётом, что срок полезного использования 8 лет:

$$H_a = \frac{1}{n} = \frac{1}{8} = 0,125.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Электропечь:

$$A = \frac{H_a I}{12} \cdot m = \frac{0,125 \cdot 187000}{12} \cdot 3 = 5844 \text{ руб.}$$

Весы:

$$A = \frac{H_a I}{12} \cdot m = \frac{0,333 \cdot 4500}{12} \cdot 3 = 375 \text{ руб.}$$

Смеситель:

$$A = \frac{H_a I}{12} \cdot m = \frac{0,25 \cdot 59700}{12} \cdot 3 = 3732 \text{ руб.}$$

Планетарная мельница:

$$A = \frac{H_a I}{12} \cdot m = \frac{0,066 \cdot 28589}{12} \cdot 3 = 476 \text{ руб.}$$

Наноиндентор:

$$A = \frac{H_a I}{12} \cdot m = \frac{0,1 \cdot 6000000}{12} \cdot 3 = 150000 \text{ руб.}$$

Персональный компьютер:

$$A = \frac{H_a I}{12} \cdot m = \frac{0,142 \cdot 40000}{12} \cdot 4 = 1893 \text{ руб.}$$

Микроскоп:

$$A = \frac{H_a I}{12} \cdot m = \frac{0,2 \cdot 200000}{12} \cdot 3 = 10000 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 5844 + 375 + 3732 + 476 + 150000 + 1893 + 10000 = 172320 \text{ руб.}$$

4.4.3.3 Основная заработная плата

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

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

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{68250 \cdot 10,3}{246} = 2857 \text{ руб.},$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{25350 \cdot 11,2}{213} = 1322,9 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}})k_p = 20000(1 + 0,3 + 0,2)1,3 = 68250 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_{\text{мс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}})k_p = 13000(1 + 0,3 + 0,2)1,3 = 25350 \text{ руб.}$$

где $Z_{\text{мс}}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 22 – Баланс рабочего времени исполнителей

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

Таблица 23 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{mc}, руб$	k_{np}	k_o	k_p	$Z_m, руб$	$Z_{on}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	20000	0,3	0,2	1,3	68250	2857	9	25713
Инженер	13000	0,3	0,2	1,3	25350	1322,9	43	56884,7
Итого:								82597,7

4.4.3.4 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 25713 = 3856,9 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 56884,7 = 8532,7 \text{ руб.,}$$

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

4.4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,32(25713 + 3856,9) = 9462,4 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,32(56884,7 + 8532,7) = 20933,6 \text{ руб.}$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2021 году – 30,2% (ст. 425, 426 НК РФ).

4.4.3.6 Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 6) \cdot k_{нр} = (172320+1800+6519789+82597,7+12389,6+28496,1)0,2 = 1368697,9$$

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

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ по форме, приведенной в таблице 24.

Таблица 24 – Группировка затрат по статьям

Статьи								
Амортизация	Сырье, материалы	Специальное оборудование	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
172320	1800	6519789	82597,7	12389,6	28496,1	684344,9	1368464,9	8870202,2

4.4.4 Определение ресурсоэффективности исследования

4.4.4.1 Интегральный показатель финансовой эффективности

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{8870202,2}{9000000} = 0,91,$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{финр}^{исп 2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{8987970}{9000000} = 0,981,$$
$$I_{финр}^{исп 3} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{9000000}{9000000} = 1.$$

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

4.4.4.2 Интегральный показатель ресурсоэффективности

В данном разделе необходимо произвести оценку ресурсоэффективности проекта, определяемую посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

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

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

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 25.

Таблица 25 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Исп. 1 (данный проект)	Исп. 2	Исп. 3
----------	---------------------	------------------------	--------	--------

1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4	3	3
3. Экономичность	0,15	4	3	3
4. Энергосбережение	0,2	4	3	3
5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,15	5	4	5
Итого:	1	4,3	3,5	3,65

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 = 4,3$$

$$I_{p2} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 = 3,5$$

$$I_{p3} = 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 = 3,65$$

4.4.4.3 Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Данный показатель определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{p-\text{исп1}}}{I_{\text{финр}}}$$

$$I_{\text{исп1}} = 5,06; I_{\text{исп2}} = 4,32; I_{\text{исп3}} = 3,65.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (таблица 26). Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп1}}}{I_{\text{исп2}}}$$

Таблица 26 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,91	0,981	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,3	3,5	3,6
3	Интегральный показатель эффективности	5,06	4,32	3,65
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,17	1,18

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

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации устройства, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;
2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 51 дней, общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 43 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель - 9;
3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 8870202,2 руб.;
4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:
 - Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,91, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;

- Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,3, по сравнению с 3,5 и 3,6;
- Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,06, по сравнению с 4,32 и 3,65, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
5 «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ