

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

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»
 Отделение (НОЦ) – Отделение материаловедения
БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Процессы консолидации, структура и свойства керамических материалов на основе диоксида циркония и нановолокон оксида алюминия

УДК661.86.017+661.88.017

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Чжан Цзубан		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ ИШНПТ	Хасанов О. Л.	Д.Т.Н		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ ИШНПТ	Хасанов О. Л.	Д.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кашук И. В.	К.Т.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор (ОКД, ИШНКБ)	Сечин А. И.	Д.Т.Н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Овечкин Б.Б.	к.т.н., доцент		
Доцент ОМ ИШНПТ	Лямина Г.В.	к.х.н		

Томск – 2020 г.

Результаты обучения по направлению 22.03.01 «Материаловедение и

технологии материалов»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-4), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4, 2.5, 4.1, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-8, ПК-11), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.4, 4.8)
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.2, 4.3, 4.7, 4.8)
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4, 3.1, 3.2, 3.3), Критерий 5 АИОР (п. 2.9, 2.11), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>F3задачи...EANI</i>
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий	Требования ФГОС (ПК-3, 4, 6, 7, 11, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.4, 4.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.3, п. 2.8), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-10, ПК-14), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4, 4.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-7), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство	Требования ФГОС (ОК-8, ОК-9, ПК-12, ОПК-5), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1, 4.3, 4.4, 4.6, 2.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.12), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-19), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»
 Отделение (НОЦ) – Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) **Овечкин Б.Б.**
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
154Б62	Чжан Цзубан

тема работы:

Процессы консолидации, структура и свойства керамических материалов на основе диоксида циркония и нановолокон оксида алюминия

Утверждена приказом директора (дата, номер) Приказ №59-87/с от 28.02.220

Срок сдачи студентом выполненной работы: 07.06.2020г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Комплексное изучение влияния различного содержания нановолокон оксида алюминия на процессы консолидации, структуру и свойства композиционной керамики Y-TZP + Al ₂ O ₃ .
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1) Провести литературный обзор по керамике на основе диоксида циркония 2) Выполнить характеристику исходных порошковых материалов 3) Подготовить смесь из исходных порошковых материалов 4) Провести исследование реологических свойств порошковых материалов и их смесей 5) Провести исследование особенностей спекания порошковых материалов и их смесей 6) Провести измерения микротвёрдости и коэффициента вязкости разрушения, упругих свойств и стойкости к низкотемпературной деградации изготовленной керамики
Перечень графического материала	ПЭМ и СЭМ изображения порошковых материалов и керамики

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И. В. Доцент к.т.н
Социальная ответственность	Сечин А. И. Профессор (ОКД, ИШНКБ) Д.Т.Н

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику 13.05.2020 г.

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Лямина Г.В.	к.х.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Чжан Цзубан		

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

Студенту:

Группа 154Б62	ФИО ЧжанЦзубан		
Школа Уровень образования	ИШНПТ Бакалавриат	Отделение (НОЦ) Направление/специальность	ОМ 22.03.02 Материаловедение и технологии материалов

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.05.2020 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кащук Ирина Вадимовна	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	ЧжанЦзубан		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

"Czuban Chzhan" <czuban1@tpu.ru>

Студенту:

Группа	ФИО		
154Б62	Чжан Цзубан		
Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.02 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Процессы консолидации, структура и свойства керамических материалов на основе диоксида циркония и нановолокон оксида алюминия	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект: ZrO_2 , Y_2O_3 , Al_2O_3 Область применения: медицина, технологии
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Трудовой кодекс Российской Федерации ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Отклонение показателей микроклимата 2. Превышение уровня шума 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны 4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 5. Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы). Анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Пожар в лаборатории

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.05.2020 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Чжан Цзубан		

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

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»
 Отделение (НОЦ) – Отделение материаловедения
 Уровень образования – Бакалавриат
 Период выполнения – Осенний, весенний семестры 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.05.2020	Основная часть	75
10.05.2020	Финансовый менеджмент	15
10.05.2020	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ ИШНПТ	Хасанов О. Л.	д.т.н		

СОГЛАСОВАНО:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Овечкин Б.Б.	к.т.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 85 с., 10 рис., 33 табл., 61 источников.

Тема : Процессы консолидации, структура и свойства керамических материалов на основе диоксида циркония и нановолокон оксида алюминия.

Выпускная работа посвящена комплексному изучению влияния различного содержания нановолокон оксида алюминия на процессы консолидации, структуру и свойства композиционной керамики Y-TZP + Al₂O₃. Объектом исследования являются порошковые материалы Y-TZP и Al₂O₃, а также керамика изготовленная на их основе.

Цель работы заключается в изучении влияния различного содержания нановолокон оксида алюминия на процессы консолидации, структуру и свойства композиционной керамики Y-TZP + Al₂O₃.

Актуальность : керамика на основе диоксида циркония обладает высокими механическими свойствами, но подвержена деградации во влажной среде при высокой температуре и высоком давлении. Разработка керамики из диоксида циркония с повышенной стойкостью к гидротермальному воздействию является актуальной задачей.

Область применения: медицина, технологии.

Использованы следующие методы исследования: просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ, измерение микротвердости методом Виккерса, измерение упругих свойств ультразвуковым методом.

Ключевые слова: керамика, иттрий-стабилизированный поликристаллический тетрагональный диоксид циркония (Y-TZP), LTD (низкотемпературная деградация), Al₂O₃, структура, свойства.

В работе описаны свойства, область применения, преимущества и недостатки керамики из диоксида циркония. Выделяются несколько факторов, влияющих на стойкость керамики Y-TZP к LTD: легирующие примеси, размер

зерна, тип и концентрация стабилизатора. Результаты исследований показывают, что добавление нановолокнистого Al_2O_3 сопровождается интенсификацией спекания и положительно влияет на стойкость к LTD керамики Y-TZP.

Список сокращений

LTD-низкотемпературная деградация

СЭМ-сканирующий электронный микроскоп;

ПЭМ-просвечивающий электронный микроскоп;

РФА-рентгенофазовый анализ;

УЗ-ультразвук;

Y-TZP- иттрий-стабилизированный поликристаллический тетрагональный диоксид циркония

Содержание

Введение	13
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	15
1.1 Керамика на основе диоксида циркония	15
1.2 Применение керамики на основе диоксида циркония	16
1.2.1 Применение диоксида циркония в области конструкционной керамики	16
1.2.2 Применение диоксида циркония в области функциональной керамики.	17
1.2.3 Преимущества тетрагональной керамики из диоксида циркония.....	18
1.3 Стабилизация тетрагональной фазы диоксида циркония	18
1.4 Влияние легирующих примесей на гидротермическое старение Y-TZP	21
1.5 Влияние размера зерна на гидротермическое старение Y-TZP	24
1.6 Влияние содержания Y ₂ O ₃ на гидротермическое старение Y-TZP	26
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	27
2.1 Материал исследований	28
2.2 Характеризация исходных компонентов и керамики.....	29
2.3 Подготовка смесей на основе Y-TZP и Al ₂ O ₃	29
2.4 Компактирование и реологические свойства.....	30
2.5 Спекание.....	31
2.6 Гидротермальные испытания керамики	31
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	32
3.1 Характеризация исходных порошковых материалов.....	32
3.2 Реологические свойства исследуемых порошковых материалов	34
3.3 Свободное спекание керамических образцов	36
3.4. Изучение структуры спеченной керамики, упругих свойств, микротвердости и критического коэффициента интенсивности напряжений ...	38
3.5 Изучение стойкости керамик к гидротермальному воздействию.....	41
Выводы	43
ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	44

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	44
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	44
4.1.2 SWOT-анализ	45
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	48
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	48
4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	49
4.2.3 Бюджет научно-технического исследования.....	52
4.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	52
4.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования	53
4.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	56
4.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	58
4.2.3.5 Накладные расходы	58
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	59
4.4 Выводы по разделу.....	62
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	63
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	63
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	63
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	64
5.2 Производственная безопасность.....	65
5.2.1 Анализ показателей микроклимата.....	65
5.2.2 Анализ чрезмерного загрязнения воздушной среды в зоне дыхания	66
5.2.3 Анализ показателей шума и вибрации	67
5.2.4 Анализ освещенности рабочей зоны	69
5.2.5 Анализ электробезопасности.....	73

5.3 Экологическая безопасность.....	73
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	75
5.5. Пожарная безопасность	76
5.6 Выводы по разделу.....	78
6. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА	79
7. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	80

Введение

Стабилизированный иттрием тетрагональный поликристаллический диоксид циркония (Y-TZP) широко используется в медицине благодаря своим уникальным механическим свойствам и биологической инертности. [1]. Эта керамика является востребованным материалом в медицине в производстве имплантатов, зубных коронок [2]. Одним из немногих недостатков Y-TZP является склонность к деградации прочностных свойств под действием внешних факторов, обусловленная тетрагонально-моноклинным фазовым переходом. Наиболее интенсивно деградация происходит во влажной среде при повышенных температурах и давлении, что существенно ограничивает области применения данного материала. Это явление известно как гидротермальное старение или LTD (low-temperature degradation - низкотемпературная деградация) [3].

Добавление Al_2O_3 в состав керамики Y-TZP является перспективным ввиду высокой твердости и химической стойкости Al_2O_3 , что положительно сказывается на механических свойствах и стойкости к LTD керамики Y-TZP [4]. Обычно, исходными компонентами для изготовления таких композитов являются порошки различной дисперсности, гомогенно смешанные или совместно синтезированные [5] [6]. В настоящей работе в качестве наполнителя использовали метастабильный нановолокнистый Al_2O_3 с высокой удельной поверхностью (более $90 \text{ м}^2/\text{г}$). Высокое значение удельной поверхности нановолокон и их морфология может существенным образом сказаться на свойствах спеченных изделий на основе Y-TZP.

Цель работы:

Целью настоящей работы является комплексное изучение влияния различного содержания нановолокон оксида алюминия на процессы консолидации, структуру и свойства композиционной керамики Y-TZP + Al_2O_3 .

Задачи исследований:

1. Характеризация исходных порошковых материалов (ПМ)

2. Подготовка смесей из ПМ
3. Исследование реологических свойств ПМ и их смесей
4. Изучение спекания ПМ и их смесей
5. Изучение механических свойств и стойкости к LTD изготовленной керамики.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Керамика на основе диоксида циркония

В производстве технической керамики применяют только искусственный ZrO_2 . Сырьём же для его получения служат природные цирконий содержащие минералы: бадделейт, циркон и другие [7].

Диоксид циркония (ZrO_2) обладает особыми эксплуатационными характеристиками, такими как: высокая твердость, превосходная коррозионная стойкость, максимальная трещиностойкость среди керамических материалов, низкая теплопроводность, сохранение прочности в широком диапазоне температур и может использоваться в качестве твердого электролита.

При нормальном давлении диоксид циркония существует в трех кристаллических формах:

- Стабильный моноклинный кристалл,
- Метастабильные тетрагональные кристаллы,
- Нестабильный высокотемпературный куб.

Чистый фазовый переход чистого ZrO_2 от высокой температуры к комнатной температуре будет происходить следующим образом: кубическая фаза (c) → тетрагональная фаза (t) → моноклинная фаза (m), где фазовый переход t → m происходит при $1150\text{ }^\circ\text{C}$, сопровождаемый примерно 5% расширением объема. Чистый ZrO_2 при комнатной температуре находится в моноклинной фазе и при нагреве испытывает фазовые превращения по следующей схеме (рис1.1) [8]:

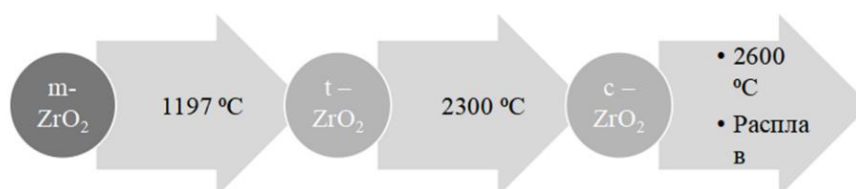


Рисунок 1.1. фазовые превращения диоксида циркония

1.2 Применение керамики на основе диоксида циркония

Диоксид циркония — это неорганический неметаллический материал, который устойчив к высоким температурам, коррозии, истиранию и обладает отличной электрической проводимостью. С середины 1970-х годов развитые страны вкладывают значительные средства в разработку продуктов из серии диоксида циркония. Область применения распространяется на конструкционные материалы и функциональные материалы. В то же время диоксид циркония также является одним из высокоэффективных новых материалов, которые поощряются к разработке в национальной промышленной политике. В настоящее время он широко используется в различных отраслях промышленности.

1.2.1 Применение диоксида циркония в области конструкционной керамики

В 1975 году в Австралии R.G.Garvie сделал частично стабилизированный диоксид циркония, используя оксид кальция в качестве стабилизатора, и впервые улучшил ударную вязкость и прочность диоксида циркония, значительно расширив его применение в области конструкционной керамики [9]. Циркониевые цельнокерамические подшипники обладают характеристиками износостойкости, коррозионной стойкости, высокой термостойкости, высокой морозостойкости, безмасляной самосмазывания, антимагнитной электрической изоляции и могут использоваться в чрезвычайно суровых условиях и в особых условиях работы.

В настоящее время керамические подшипники из диоксида циркония используются миниатюрными охлаждающими вентиляторами, а срок их службы и устойчивость к шумам лучше, чем у традиционных систем шариковых и

скользящих подшипников. Foxconn впервые применила циркониевые керамические подшипники в компьютерных вентиляторах.

1.2.2 Применение диоксида циркония в области функциональной керамики

Циркониевый керамический инструмент обладает характеристиками высокой прочности, износостойкости, отсутствия ржавчины, окисления, кислот и щелочей, антистатичности, отсутствия реакции с пищевыми продуктами, а корпус лезвия подобен нефриту. Высокотехнологичные ножи, в настоящее время представленные на рынке, включают в себя: столовые керамические циркониевые ножи, ножницы, бритвы, скальпели и т. д. В последние годы он стал популярным в Европе, Америке, Японии и других местах.

Высокотемпературный нагревательный элемент из оксида циркония: оксид циркония является изолирующим материалом при нормальной температуре, удельное сопротивление достигает 10^{15} Ом · см. Рост температуры до 600 °С сопровождается электропроводимостью материала, а свыше 1000 °С диоксид циркония является хорошим проводником и может использоваться в качестве высокотемпературного нагревательного элемента. Рабочая температура может достигать 2400 °С, что успешно используется в нагревательных элементах и оборудовании в окислительной атмосфере.

Биокерамические материалы на основе диоксида циркония. Качество материала фарфорового зуба напрямую влияет на его качество и здоровье пациента. Поскольку внутренняя коронка фарфорового зуба изготовлена из различных металлических материалов, металлическая внутренняя коронка подвержена реакции окисления со слюной полости рта. Фарфоровые зубы, изготовленные из диоксида циркония, не имеют металлической внутренней коронки, поэтому зубы имеют хорошую прозрачность и превосходный глянец, и эффективно избегают таких проблем, как аллергия на зубы и черные линии десен. Они имеют достаточно хорошую способность затенения и могут идеально

решить проблемы пациента. Прочность и высокая вязкость разрушения диоксида циркония компенсируют недостатки обычных фарфоровых зубов. Он обладает хорошей биосовместимостью, не стимулирует слизистую оболочку полости рта и легко чистится [10].

1.2.3 Преимущества тетрагональной керамики из диоксида циркония

Преимущества циркониевой керамики - высокая твердость и хорошая износостойкость.

Циркониевая керамика имеет твердость по Моосу около 8,5, что очень близко к твердости по Моосу из сапфира 9. Закаленное стекло имеет твердость по Моосу всего 5,5. Также циркониевая керамика имеет относительно сильную прочность и ударную вязкость.

Переход тетрагональной фазы диоксида циркония в моноклинную при комнатной температуре сопровождается увеличением объема, что увеличивает прочность таких керамик: механические напряжения у вершины растущей микротрещины инициируют фазовый переход тетрагональной модификации в моноклинную, и, как следствие, локальные увеличения объема и, соответственно, давления, что стабилизирует микротрещину, замедляя её рост. Этот эффект носит название трансформационного упрочнения [11].

1.3 Стабилизация тетрагональной фазы диоксида циркония

Для стабилизации тетрагональной фазы диоксида циркония при комнатной температуре с целью использования эффекта трансформационного упрочнения применяют различные добавки оксидов.

Обычно стабилизаторы представляют собой оксиды редкоземельных или щелочноземельных металлов, ионный радиус которых отличается от радиуса ZrO_2 не более чем на 40%. В качестве стабилизаторов для диоксида циркония могут использоваться Y_2O_3 , MgO , CeO_2 , CaO .

Механизм обычно можно рассматривать следующим образом: катионы стабилизаторов, таких как Y^{3+} , Mg^{2+} , Ce^{4+} и Ca^{2+} , имеют определенную растворимость в ZrO_2 , и Zr^{4+} может быть заменен с образованием твердого раствора замещения, что препятствует переходу тетрагональной фазы в моноклинную. Точка фазового перехода диоксида циркония стабилизируется до комнатной температуры. Таким образом могут быть получены частично стабилизированные керамики из диоксида циркония (PSZ), поликристалл тетрагонального диоксида циркония (TZP), а также полностью стабилизированный диоксид циркония (FSZ, однофазный кубический материал c- ZrO_2) [12].

Mg-PSZ обладает хорошими механическими свойствами и сопротивлением ползучести при относительно высоких температурах [9]. Он относится к среднетемпературным конструкционным керамическим материалам с температурой ниже $800^\circ C$. Однако температура образования твердого раствора MgO в ZrO_2 достигает $1700^\circ C$, что приводит к высокой температуре спекания материала Mg-PSZ (обычно от $1700^\circ C$ до $1800^\circ C$). Mg-PSZ имеет тенденцию генерировать большое количество нестабильности тетрагональной фазы выше $1000^\circ C$. Это ограничивает его применение в зонах с высокой температурой. [13]

Ce-TZP имеет высокую вязкость разрушения и хорошую стойкость к низкотемпературному гидротермическому старению, а его недостаток - низкая твердость и прочность. Твердость и вязкость разрушения Ce-TZP сильно зависят от размера зерна. Макроскопические механические свойства показывают, что область фазового перехода на вершине трещины увеличивается

с увеличением размера зерна Се-TZP. Поэтому ключом к исследованию Се-TZP является контроль роста кристаллических зерен.[14]

Использование оксида иттрия в качестве стабилизатора позволяет получить стабилизированную иттрием тетрагональную циркониевую керамику (Y-TZP). Этот материал обладает хорошими механическими свойствами, высокой прочностью, хорошей вязкостью разрушения, а его размер зерна меньше, чем у керамики из диоксида циркония с другими стабилизированными. Содержание стабилизатора Y_2O_3 в Y-TZP при этом составляет от 2 до 3 мол. % [15].

По сравнению с TZP-керамикой с другими стабилизаторами, выдающимся преимуществом Y-TZP является то, что его температура спекания до высокой плотности является достаточно низкой, около 1400-1500 ° С. Керамика обладает превосходными механическими свойствами при комнатной температуре, прочность на изгиб превышает 1000 МПа, а вязкость разрушения достигает 10-15 МПа м^{1/2}. Кроме того, Y-TZP также может демонстрирует хорошую износостойкость, коррозионную стойкость и биосовместимость. На основе Y-TZP были разработаны и применены на практике различные изделия, используемые в медицине в качестве ортопедических имплантатов, зубных коронок, режущего инструмента [16].

Одним из немногих недостатков Y-TZP является склонность к деградации прочностных свойств под действием внешних факторов, обусловленная тетрагонально-моноклинным фазовым переходом. Наиболее интенсивно деградация происходит во влажной среде при повышенных температурах и давлении, что существенно ограничивает области применения данного материала. Это явление известно как гидротермальное старение или LTD (low-temperature degradation - низкотемпературная деградация) [16], [17],[18],[19],[20].

1.4 Влияние легирующих примесей на гидротермическое старение Y-TZP

Оксид меди

Согласно сообщениям, добавление 0,5 мас.% CuO в Y-TZP, способствует ускорению уплотнения при низких температурах спекания. Это улучшение объясняется наличием переходной жидкой фазы во время спекания из-за низкой температуры плавления CuO [21]. В [22] Было изучено поведение при LTD 2,5 мол.% Y-TZP, содержащего различные количества CuO (0,05, 0,1, 0,2, 0,5 и 1 мас.%). Авторы наблюдали, что гидротермальное старение все еще происходило (до 200 часов в паре при 180°C/10 бар), но кинетика Cu-допированного Y-TZP была ниже по сравнению с нелегированными образцами. Авторы обнаружили, что после выдержки в течение 200 ч Y-TZP, легированным 0,05 масс. % CuO, содержание моноклинной фазы составляло 40%, тогда как содержание в нелегированных образцах составляло 80%.

Оксид железа

С 1998 года многие исследователи изучали эффект добавления небольшого количества Fe₂O₃ (≤ 3 мол.%) в качестве добавки для спекания Y-TZP. В частности, сообщается, что Y-TZP, легированный 0,25 мас.% Fe₂O₃, проявляет лучшую устойчивость к старению, чем нелегированный Y-TZP (в перегретом паре при 180°C / 10 бар до 120 часов). При спекании при низкой температуре 1150°C 3 мол.% Y-TZP с небольшим количеством Fe₂O₃ (0,5, 1,0, 1,5 и 2,0 мол.%) относительная плотность превышает 90%. [23]. В другом исследовании Сивакумар и др. [22] подтвердили полезные эффекты легирования оксидом железа и обнаружили, что добавление 0,05, 0,1 и 0,3 Wt% Fe₂O₃ к Y-TZP может ингибировать гидротермальное старение (до 24 часов в перегретом паре при 180°C / 10 бар).

Халлманн и его коллеги [24] также показали, что небольшое количество Fe_2O_3 (<0,15 мас.%) способствовало уплотнению Y-TZP 3 мол.%, и образец не проявлял признаков старения после воздействия водяного пара при 134°C / 2,3 Бар длительностью 2 часа.

Оксид алюминия

Мацуи и его коллеги исследовали поведение деградации 3 мол.% Y-TZP легированного Al_2O_3 (0.5-5 мол.%) в при выдержке в горячей воде при 140°C . [5] Было обнаружено, что добавление Al_2O_3 слегка способствует укрупнению зерен диоксида циркония в процессе уплотнения.

На ранней стадии старения твердость по Виккерсу и вязкость разрушения улучшаются. Однако при более длительных временах старения образование дефектов на поверхности в конечном итоге приводит к снижению механических свойств. Добавление Al_2O_3 эффективно задерживает переход $t \rightarrow m$ и снижение механических свойств в процессе старения. Кроме того, температура спекания оказывает существенное влияние на устойчивость к старению 3Y-TZP . Когда температура спекания увеличивается, устойчивость к старению 3Y-TZP быстро снижается, особенно для контрольной группы образцов без Al_2O_3 . Это можно объяснить увеличением размера зерен и неравномерным распределением ионов Y^{3+} в тетрагональных зернах.

Оксид церия

Сато и соавт. [25] исследовали влияние CeO_2 на поведение Y-TZP при старении и обнаружили, что спеченные образцы, содержащие церий (2–6 мол.%) в качестве добавки для спекания, приводят к снижению моноклинной фазы после старения в водяном паре при 130°C / 1,54 кПа в течение 150 часов. Boutz и соавторы [26] обнаружили, что увеличение содержания CeO_2 до 2 мол.% в Y-TZP не было полезным для подавления старения при воздействии воды при 185°C , и образцы распадались на порошок после выдержки в течение 4,5 часов.

Напротив, они обнаружили, что легирование выше 6 мол.% CeO_2 в Y-TZP было эффективным в предотвращении LTD.

Оксид кремния

SiO_2 является спорной легирующей примесью, так-как не существует общего мнения в литературе по отношению к его роли в подавлении гидротермального старения [27], [28]. Например, в одном исследовании сообщалось, что Y-TZP легированный 0,2 или 0,5 мас.% SiO_2 2,5 мол.% давали такое же содержание моноклинной фазы, что и в нелегированном образце, что составляло 70% после выдержки в перегретом паре при 180 °C / 10 Бар в течении 200 ч [29]. Однако в другом исследовании было обнаружено, что легирование 0,1 мол.% SiO_2 в Y-TZP может снизить содержание моноклинных веществ с 80% для нелегированного до 70% для диоксида циркония, легированного SiO_2 , после старения в горячей воде при 130°C / 2–4 бар в течение 48 часов [30]. Самодурова и соавт. [31] также сообщили о подобном эффекте для Y-TZP легированного 0,25 мас.% SiO_2 3 мол.% - содержание моноклинной фазы снизилось с 80% для нелегированного до 58% для образца, легированного SiO_2 , после старения в дистиллированной воде при 134 °C в течение 48 часов.

Оксид титана

Добавление TiO_2 в Y-TZP способствует росту тетрагональных зерен и не способствует замедлению развития моноклинной фазы во время гидротермального старения. Например, сообщалось, что 1,5 и 3,0 мол.% Y-TZP легированные TiO_2 , содержали до 80% моноклинной фазы после старения в воде при 140°C в течение 30 часов. Когда содержание TiO_2 увеличилось до 7,7 мол.% количество моноклинной фазы достигло 80% после старения в течение 120 ч [32]. Сато и соавт. [25] обнаружили, что вызванное старением фазовое превращение t в m (на воздухе при 200°C в течение 50 часов) можно подавить, добавив более высокое содержание TiO_2 , равное 10 мол.%.

1.5 Влияние размера зерна на гидротермическое старение Y-TZP

Многие исследователи изучали развитие моноклинной фазы с температурой спекания в процессе старения. Основные результаты приведены в таблице 2. Как правило, результаты показывают, что спекание при низких температурах 1350 °С и 1400 °С может предотвратить деградацию. [33] Например, спекание 3 мол.% Y-TZP (покрытого 3Y-ZrO₂) при различных температурах (1350 °С, 1450 °С, 1550 °С) показало, что размер зерна, полученного спеканием при 1350 °С, составлял 0,13 мкм, и образец не показал изменение фазы после старения при 134 °С / 2 бар в течение 40 часов. Имеются сообщения о том, что размер зерна Y-TZP, спеченного при 1400 °С, составляет 0,28 мкм, имеет более высокую устойчивость к деградации. С другой стороны, как показано на таблице 1, имеются сообщения о том, что мелкие зерна размером 0,28 мкм и 0,30 мкм не могут предотвратить фазовое превращение, вызванное старением.

Таблица 1.1. Влияние размера зерна на содержание моноклинной фазы при 134 °С / 2 бар и нагреве в течение 40 ч.

порошок	Размера зерна (μm)	Условия спекания	Моноклинная фаза (%)
3Y coated ZrO ₂ [34]	0.13	1350 °С 2ч	0
3Y coated ZrO ₂	0.18	1400 °С 2ч	0
3Y coated ZrO ₂	0.22	1450 °С 2ч	10
3Y coated ZrO ₂	0.25	1450 °С 4ч	80
3Y coated ZrO ₂	0.40	1550 °С 2ч	80
Tosoh TZ-3YB-E [35]	0.28	1400 °С, 2 h	45
Tosoh TZ-3YSB-E	0.30	1400 °С, 2 h	50

Таблица 1.2. Влияние размера зерна на содержание моноклинной фазы после LTD при 134 ° С и выдержке в течение 48 ч.

порошок	размера зерна (μm)	Условия спекания	Моноклинная фаза (%)
Tosoh 3Y-TZP[36]	0,4	1450 °С, 2 ч	35
Tosoh 3Y-TZP	0,6	1450 °С, 5 ч	35
Tosoh 3Y-TZP	0,6	1550 °С, 2 ч	52
Tosoh 3Y-TZP	0,9	1550 °С, 5 ч	62

Многие исследователи пытались объяснить поведение старения Y-TZP, сопоставляя его с размером тетрагональных зерен и относительной плотностью. Таблица 1.3 суммирует содержание моноклинной фазы в 3 мол.% Y-TZP с различными относительными плотностями и размерами зерен. Эйхлер и др. сообщили, что существует критический размер зерна 0,11 мкм. Ниже этого предела Y-TZP не претерпевает изменения фазы при воздействии пара при 200°С/16 Бар в течение 6 часов. Относительная плотность их образцов составляет 97,9%. Чжан и его коллеги [33] показали, что такой маленький размер зерна может быть получен только при более низкой температуре спекания. Y-TZP с размером частиц 0,13 мкм могут подавлять старение при 134°С / 2 бар в течение 40 часов, но, когда спекание без давления выполняется при низкой температуре ниже 1350°С, образец не достигнет высокой плотности. Большинство исследователей обнаружили, что благодаря получению относительно высокой плотности, превышающей 97%, с размером зерен менее 0,2 мкм, гидротермальная деградация может быть подавлена.

Таблица 1.3. Краткое изложение индуцированного старением развития моноклинной фазы для 3 мол.% Y-TZP, имеющих различную относительную плотность и размер зерна, как сообщают различные исследователи.

Исходный порошок	размера зерна (μm)	Относительная плотность (%)	Состояние старения в паре	Моноклинная фаза (%)
------------------	---------------------------------	-----------------------------	---------------------------	----------------------

)			
3Ycoated ZrO ₂ [34]	0.13	89.5	134 °C/2 bar, 40 ч	0
3Y coated ZrO ₂	0.18	98.5	134 °C/2 bar, 40 ч	0
3Y coated ZrO ₂	0.22	99.5	134 °C/2 bar, 40 ч	10
3Y coated ZrO ₂	0.21	99.5	134 °C/2 bar, 40 ч	10
3Y-TZP Toronto, Canada[37]	0.11	97,9	200 °C/16 bar, 6 ч	11
3Y-TZP Toronto, Canada	0.21	97,8	200 °C/16 bar, 6 ч	90
3Y-TZP Toronto, Canada	0.3	96,3	200 °C/16 bar, 6 ч	97
3Y-TZP Toronto, Canada	0.38	96,7	200 °C/16 bar, 6 ч	97
3Y-TZP Toronto, Canada	0.48	92,1	200 °C/16 bar, 6 ч	97

1.6 Влияние содержания Y₂O₃ на гидротермическое старение Y-TZP

Многие исследователи предполагают, что в процессе старения вода или гидроксильные группы будут преимущественно атаковать область с низким содержанием оксида иттрия в тетрагональной структуре, что приведет к фазовому переходу от *t* к *m*. Содержание оксида иттрия также было определено как ключевой фактор, влияющий на деградацию при низких температурах. По общему мнению, увеличение содержания оксида иттрия может препятствовать гидротермальному старению. Согласно результатам, показанным на Рис.2, наноразмерный 3 мол.% Y-TZP устойчив к деградации, но наноразмерный 1,5 мол.% Y-TZP имеет содержание моноклинных кристаллов более 99% в течение 4 часов выдержки и разлагается в порошок после 16 часов выдержки при 140°C [38].

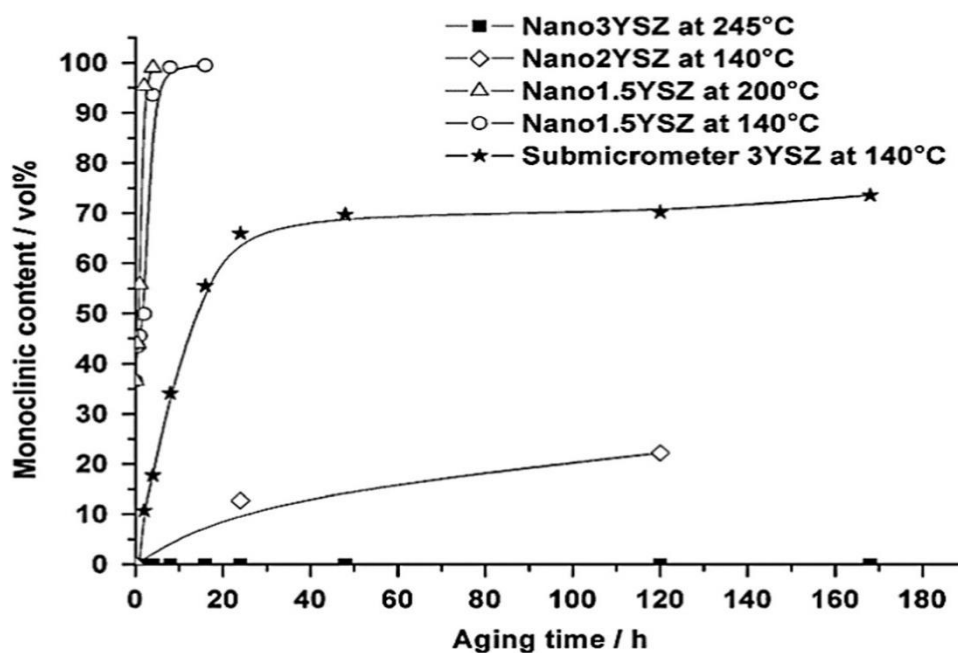


Рисунок 1.2. Влияние гидротермального старения на развитие моноклинной фазы Y-TZP с различным содержанием оксида иттрия.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основании проведенного литературного обзора выявлено, что керамика на основе диоксида циркония тетрагональной модификация Y-TZP обладает уникальными физико-механическими свойствами и является востребованным материалом в медицине в производстве имплантатов, зубных коронок. Одним из немногих недостатков Y-TZP является склонность к деградации прочностных свойств под действием внешних факторов, обусловленная тетрагонально-моноклинным фазовым переходом. Наиболее интенсивно деградация происходит во влажной среде при повышенных температурах и давлении, что существенно ограничивает области применения данного материала. Это явление известно как гидротермальное старение или LTD (low-temperature degradation - низкотемпературная деградация). Разработка новых образцов керамики Y-TZP, стойкой к LTD является актуальной задачей.

Объект исследований

Порошковые материалы и керамика на основе Y-TZP и Al₂O₃.

Предмет исследований

Морфология и структура объекта исследований, процессы консолидации, механические свойства и стойкость к LTD керамики на основе Y-TZP и Al₂O₃.

2.1 Материал исследований

В качестве исходного материала для изготовления керамической матрицы использовали наноразмерный порошок (НП) стабилизированного иттрием диоксида циркония ZrO₂+3 моль. % Y₂O₃ (порошок марки TZ-3YS, Tosoh, Япония).

Компания Tosoh является крупнейшим в мире производителем химически производимого высокочистого порошка диоксида циркония.

В таблицах 2.1 и 2.2 представлены данные о химическом составе и основных физических свойствах порошка TZ-3YS, которые доступны на веб-сайте производителя [39].

Таблица 2.1. Химический состав НП TZ-3YS

ZrO ₂ +HfO ₂ +Y ₂ O ₃ , мас.%	Y ₂ O ₃ , мас.%	Al ₂ O ₃ , мас.%	SiO ₂ , мас.%	Fe ₂ O ₃ , мас.%	Na ₂ O, мас.%	Потери при прокаливании (1000 °C), мас.%
>99.8	5.15±0.20	≤0.1	≤0.02	≤0.01	≤0.04	≤1.2

Таблица 2.2. Физические характеристики НП TZ-3YS

Размер кристаллитов (нм)	Размер частиц D(50) (мкм)	Размер гранул D(50) (мкм)	Насыпная плотность (г/см ³)	Площадь удельной поверхности (м ² /г)	Теоретическая плотность (г/см ³)
--------------------------	---------------------------	---------------------------	---	--	--

36	0.6	60	1,3	7±2	6,05
----	-----	----	-----	-----	------

Наполнителем являлся нановолокнистый Al_2O_3 (нановолокна марки Fibrall, OCSiAl, Россия), полученный методом жидкофазного каталитического окисления алюминия молекулярным кислородом при температуре 820 °С.

2.2 Характеризация исходных компонентов и керамики

Использование прибора SALD-7101 (Shimadzu, Япония) с помощью лазерной дифракции (LD), с использованием дифрактометра XRD-7000S (Shimadzu, Japan), рентгеноструктурного анализа (XRD) и с использованием прибора Sorbi-M (Meta, Russia), передача и Сканирующие просвечивающие электронные микроскопы (ТЕМ и SPEM соответственно) использовали JSM-2100F (Japan JEOL). Термический анализатор STA 409 C Jupiter (Netsch, Германия) использовался для выполнения нанообъемов Al_2O_3 на воздухе в диапазоне температур от 30 до 1250 ° С с использованием дифференциальной сканирующей калориметрии (DSC) и термогравиметрического анализа (TG). Термический анализ. Используйте бесплатное программное обеспечение PowderCell и базу данных PDF 4 для декодирования результатов XRD и используйте метод Уильямсона-Холла для расчета размера и относительного напряжения области когерентного рассеяния (CSR).

2.3 Подготовка смесей на основе Y-TZP и Al_2O_3

Готовят смешанный порошок с содержанием нановолокон Al_2O_3 от 0 до 50% по объему. Перед смешиванием используйте ультразвуковые волны для диспергирования исходного порошка в этаноле в течение 10 минут (мощность воздействия ~ 1,4 кВт). Использовали ультразвуковой генератор UZG2-22

(Ультразвук, Россия) и стержневой магнитострикционный датчик с рабочей частотой 18,7 кГц. Порошок затем перемешивали с использованием шаровой мельницы в течение 24 часов. В качестве мелющих тел используются шарики с массовым соотношением ZrO_2 1: 4 и радиусом около 250 мкм. Полученную смесь сушили в лабораторной сушильной печи при температуре 120 градусов в течение 3 часов, и высушенную смесь просеивали через сито с размером пор 300 мкм.

2.4 Компактирование и реологические свойства

Синтезированный порошок односно охлаждали на автоматическом испытательном прессе IP-500 (ЗИПО, Россия) с внутренним диаметром 10 мм в закрытой стальной пресс-форме.

Реологические свойства порошковых материалов и их смесей при деформации закрытой жесткой формы были изучены в рамках модели механического повышения давления [40], и была определена граница между началом и концом каждого этапа повышения давления. Для построения кривой сжатия используется ранее разработанный метод, который позволяет определить зависимость деформации (плотности после переноса) от давления, оказываемого образцом. Полученная кривая аппроксимируется уравнением сжатия (1), а ее коэффициент позволяет определить текучесть уплотненного порошка.

$$\rho = b \cdot \ln \left(\frac{P_{np}}{P_{кр}} \right) + 1 \quad (1)$$

где ρ – относительная плотность порошкового тела, b – коэффициент, характеризующий интенсивность уплотнения порошкового тела под действием давления прессования, P_{np} – давление прессования, $P_{кр}$ – критическое давление прессования, при котором достигается беспористое состояние порошкового тела. Коэффициенты уравнения прессования для различных порошковых материалов и условий их консолидации определяли аппроксимацией экспериментальных кривых уплотнения методом наименьших квадратов.

Согласно правилам и выводам модели, уплотнение порошка в закрытой твердой форме имеет два основных процесса: перераспределение порошка и укладка элементов конструкции и их пластическая деформация (рис. 3.3). Оба метода работают во время процесса необратимого уплотнения (во всем диапазоне плотности порошкового тела), и их вклады будут меняться на разных стадиях уплотнения.

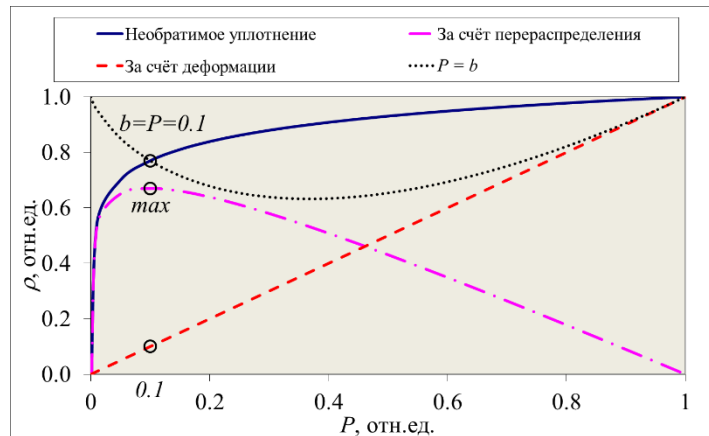


Рисунок 3.3. Взяв в качестве примера порошок с прочностью на сжатие $b = 0,1$, взаимное перераспределение структурных элементов и их вклад в деформацию при необратимом уплотнении

2.5 Спекание

Спекание проводят в высокотемпературной муфельной печи LHT 02/18 (Nabersheim, Германия). Плотность спеченного образца оценивали путем взвешивания негазированной воды в дистиллированной воде. В диапазоне температур от 1350 до 1600 °C свободное спекание выполняется с шагом 50 °C, при этом поддерживается постоянная скорость изменения температуры и время изотермического старения 200 °C / ч, и поддерживается в течение 1 часа.

2.6 Гидротермальные испытания керамики

Испытание керамики на стойкость к LTD проводили с использованием

автоклава в парах воды при условиях, соответствующих требованиям стандарта [41]: температура 134 ± 2 °С и давление 0.2 МПа. Продолжительность испытаний была ограничена 40 часами; через каждые 10 часов испытаний проводили исследование результатов воздействия.

Характеризацию керамики проводили методами рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре XRD-7000S (Shimadzu, Япония) на отполированной поверхности. Оценку относительного содержания моноклинной фазы в образцах после испытаний при 134 ± 2 °С и давление 0.2 МПа определили в узком диапазоне углов (от 26 до 33 градусов по 2), аналогично по формуле:

$$f_m = \frac{I_m(11\bar{1}) + I_m(111)}{I_m(11\bar{1}) + I_m(111) + I_t(101) + I_c(111)} \quad (2)$$

Где I – это интегральная интенсивность, а индексы m , t и c указывают на моноклинную, тетрагональную и кубическую фазы, соответственно.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Характеризация исходных порошковых материалов

В таблице 3.1 приведены основные данные исходного порошка: теоретическая плотность ρ_0 , D_{10} , D_{50} и D_{90} , характеристики распределения частиц по размерам и удельная площадь поверхности $S_{уд}$.

После предварительного ультразвукового диспергирования при мощности 1,4 кВт в течение 5 минут размер исходного компонента измеряли в этанольной среде с использованием метода LD. Средний размер агломератов NF- Al_2O_3 составляет 13,401 мкм, а максимальный размер – 90 мкм. Существование больших агломератов NF- Al_2O_3 является трудной проблемой для получения однородной порошковой смеси и равномерного распределения наполнителя по объему.

Таблица 3.1. теоретическая плотность ρ_0 , характеристики распределения частиц по размерам и значения удельной поверхности исходных компонентов

Марка порошка	Обозначение	Формула	D ₁₀ , мкм	D ₅₀ , мкм	D ₉₀ , мкм	S _{уд} , м ² /г	ρ_0 , г/см ³
TZ-3YS	Y-TZP	ZrO ₂ + 3 мол.% Y ₂ O ₃	0,20	0,53	1,29	5,66±0,4	6,1
Fibral	NF-Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	3,89	13,40	44,26	96±6,5	3,68

В исследуемом порошке Y-TZP содержится 5,15 масс. % Y₂O₃, менее 3 масс. % HfO₂ и менее 0,1 масс. % Al₂O₃.

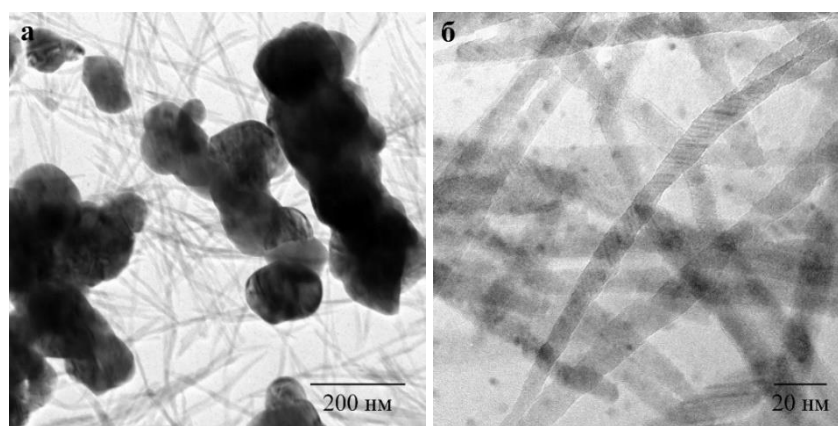


Рисунок 3.1. смесь частиц Y-TZP и нановолокон NF-Al₂O₃ (а) и NF-Al₂O₃ (б):

ПЭМ

Используя метод XRD для исследования структуры исходного компонента, было обнаружено, что порошок Y-TZP содержит ZrO₂-модификацию тетрагонального кристалла (65,8 об.%) и моноклинного кристалла (34,2 об.%). А его размер CSR составляет 50 нм. По данным ПЭМ, средний размер кристаллитов при 26 нм составляет 130 ± 30 нм (рис. 3.1а). Нановолокна состоят из γ , δ и χ модифицированного оксида алюминия. Для расчета относительной плотности образца использовалось значение плотности Al₂O₃, соответствующее γ -модификации. Согласно результатам ПЭМ, средний диаметр волокна составляет 9 ± 2 нм, а длина достигает 1 мкм (рис. 3.1б). Согласно данным TGA и DSC, в волокне поглощается влага (5% по массе), и

экзотермические эффекты наблюдаются при температурах 808, 860 и 1008 ° С, которые связаны с метастабильными фазовыми переходами, модифицированными Al_2O_3 , присутствующими в материале. После термообработки при температуре 1250 ° С фазовый состав исследуемого материала полностью соответствует α -модификации Al_2O_3 .

3.2 Реологические свойства исследуемых порошковых материалов

Из исходных компонентов подготовили порошковые смеси с содержанием нановолокон Al_2O_3 от 0,1 до 50 об.%. В подготовленных смесях встречаются массивы волокон, длиной до 100 мкм (рис.3.2), что согласуется с измерениями NF- Al_2O_3 , проводимыми методом ЛД.

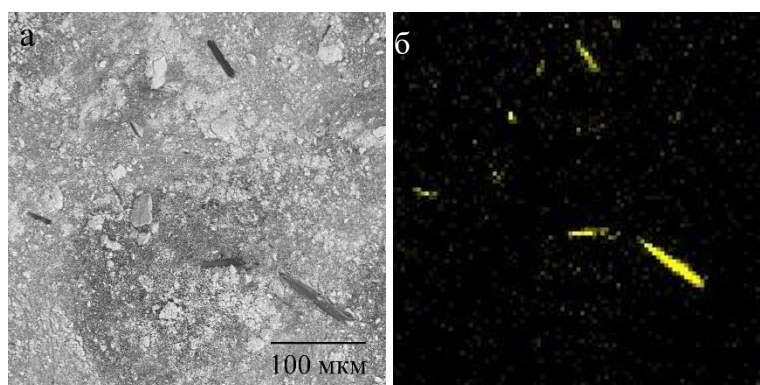


Рисунок 3.2. Смесь порошка Y-TZP и нановолокон NF- Al_2O_3 : а – СЭМ-изображение, б – ЭДС сигнал Al в режиме картирования

Таблица 3.2. Реологические характеристики исследуемых материалов и значения относительной плотности ρ при давлении прессования 100 МПа

Al_2O_3 , об. %	$P_{кр}$, МПа	Интенсивность уплотнения b	ρ при 100 МПа
0	2097279539	0,033	0,45
0,1	1263877740	0,032	0,47
0,5	570298637	0,034	0,48
1,0	490476548	0,035	0,47

2,0	658517212	0,034	0,46
5,1	168065208	0,037	0,46
10,2	103847774	0,040	0,44
20,4	21230807	0,046	0,43
50,7	5774014	0,056	0,39
100	2331810	0,067	0,32

Кривые уплотнения всех исследованных смесей порошковых материалов аппроксимируются уравнением (1), и их надежность составляет не менее 97%. Коэффициенты уравнения сжатия исходных порошковых материалов, перечисленные в таблице 3.2, показывают, что существует значительная разница в сжимаемости порошка Y-TZP и нановолокон NF-Al₂O₃. Предел падения плотности этих материалов на расстоянии уплотнения составляет 3,3% для Y-TZP и 6,7% для NF-Al₂O₃. В этом случае значение критического давления P_{кр}, которое достигает непористого состояния, отличается в 900 раз.

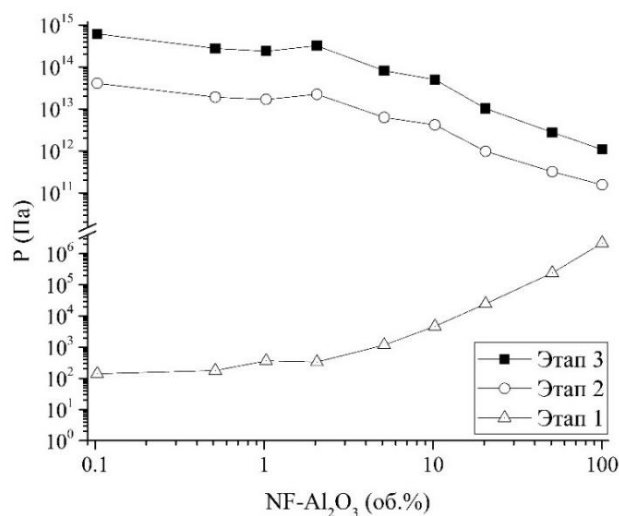


Рисунок 3.3. границы наступления и окончания этапов прессования в зависимости от содержания NF-Al₂O₃

Как видно на рисунке 3.3, анализ количественных значений границы в начале и конце этапа повышения давления показывает, что относительное содержание волокна NF-Al₂O₃ увеличивается с ростом давления. Процесс

перераспределения и ламинирования порошковых структурных элементов начинается со всего объема, включая слой порошка, снятый с пресса. С другой стороны, во всем исследовании абсолютное значение давления первой ступени в пределах диапазона содержания NF- Al_2O_3 не превышает 2,2 МПа, поэтому этот параметр можно исключить из критериев оптимизации. Однако значительный перепад давления происходит на второй стадии уплотнения только тогда, когда относительное содержание волокна NF- Al_2O_3 превышает 2%. Сжатие происходит из-за перераспределения и размещения элементов конструкции, а прочность необратима. Деформация начинает превышать прочность на сжатие. Подобное поведение указывает на зависимость начального напряжения стадии 3. Можно сделать вывод, что добавление от 0,5% до 2% волокна NF- Al_2O_3 не оказывает критического влияния на реологические свойства порошковой смеси, поэтому его можно прессовать при постоянных оптимальных условиях, и в соответствии со стандартом результатов спекания нановолокно Оптимальное содержание должно быть в пределах указанного диапазона.

Другим критерием выбора наилучшего давления уплотнения является то, что образец не будет растрескиваться и расслаиваться. Следовательно, максимальное давление для обеспечения целостности образца составляет 100 МПа, при этом давлении относительная плотность образца с содержанием волокон от 0,1% до 5% составляет $47 \pm 1\%$. Увеличение содержания Al_2O_3 более чем на 10% приведет к уменьшению относительной плотности образца (таблица 3.2).

3.3 Свободное спекание керамических образцов

Для оптимизации метода спекания были использованы измерения относительной плотности и относительной скорости звука. Увеличение температуры спекания приводит к увеличению скорости распространения звука, что связано с плотным контактом между частицами, а число контактов

увеличивается с ростом температуры и продолжительности процесса [42]. Скорость звука в образце измеряли ультразвуковым прецизионным толщиномером Olympus 38D1 Plus (Olympus, США). Значение скорости в непористых композиционных материалах рассчитывается методом условного момента [43]. Пока механические волны распространяются в изотропной структуре, этот метод может точно рассчитать зависимость упругих свойств от содержания исходного компонента и пористости.

Из результатов, приведенных в таблице 3.4, видно, что использование оксида алюминия сопровождается увеличением спекания и составляет 1 об. % NF-Al₂O₃ продемонстрировали этот эффект в наибольшей степени. Поэтому при температуре 1350 °С плотность керамики составляет 97 ± 1%, а значение скорости звука близко к расчетному c_0 , составляя 6985 ± 20 м / с. В этом случае исходный Y-TZP в условиях спекания спекали только до относительной плотности 75 ± 1%. Образец выделен серым цветом с относительной плотностью и скоростью звука 0,97 или выше.

Таблица 3.3. Значения теоретической плотности ρ_0 , скорости звука c_0 и модуля продольной упругости E_0 исследуемых материалов

Материал	ρ_0 , г/см ³	c_0 , м/с	E_0 , ГПа
Y-TZP	6,1	7190	234
NF-Al ₂ O ₃	3,99	10900	415

Таблица 3.4. Относительные значения плотности ρ и скорости звука c в образцах композита, спечённого в различных условиях. Ошибки для ρ и c равны 0,01 и 0,003, соответственно

NF-Al ₂ O ₃ , %		1350 °С	1400 °С	1450 °С	1500 °С	1550 °С	1600 °С
0	ρ	0,75	0,95	0,97	0,99	0,99	-
	c	0,62	нд	0,98	0,99	1,00	нд
0,09	ρ	0,87	0,94	0,98	0,98	-	

	<i>c</i>	нд	нд	1,00	нд	нд	нд
0,47	ρ	0,95	0,975	0,98	0,98	-	-
	<i>c</i>	0,94	0,96	0,99	нд	нд	нд
0,95	ρ	0,97	0,98	0,99	0,99	-	-
	<i>c</i>	0,97	0,99	0,99	0,99	нд	нд
1,9	ρ	0,95	0,98	0,99	0,99	-	-
	<i>c</i>	0,95	0,98	0,99	0,99	нд	нд
4,75	ρ	0,94	0,97	0,97	0,98	0,98	-
	<i>c</i>	0,93	0,96	0,98	0,98	0,98	нд
9,53	ρ	0,90	0,95	0,96	0,97	0,98	-
	<i>c</i>	0,87	0,92	0,95	0,97	0,97	нд
19,15	ρ	0,73	0,83	0,9	0,96	-	0,96
	<i>c</i>	0,69	0,69	0,88	0,92	нд	0,96
48,65	ρ	0,5	0,55	0,63	0,75	-	0,93
	<i>c</i>	0,38	0,45	0,56	0,72	нд	0,91

В некоторых образцах из-за внутренних макродефектов не удалось измерить значение скорости звука. В табл. 3.4 они отмечены как «нд» - нет данных.

3.4. Изучение структуры спеченной керамики, упругих свойств, микротвердости и критического коэффициента интенсивности напряжений

Изучение структуры спеченной керамики проводили методами РФА на дифрактометре XRD-7000S (Shimadzu, Япония) и СПЭМ на установке JSM-2100F (JEOL, Япония). Подготовка образцов образцов СПЭМ выполняется на устройстве Ion Slicer (JEOL, Япония) методом ионного разбавления, что обеспечивает высокую чистоту и высокое качество поверхности обрабатываемого объекта после обработки.

Исследование характеристик проводилось на свободной поверхности образца, механическая обработка проводилась с использованием системы

шлифования и полировки EcoMet 300 Pro (Buehler, Германия) и суспензии монокристаллического алмаза polylab-PRO (Polilab, Россия).

Микротвердость керамики определяется по индентированию алмазной пирамиды Виккерса на микротвердомере ПМТ-3М (ЛОМО, Россия) с нагрузкой 0,5 кгс.

Коэффициент интенсивности критических напряжений КИС рассчитывается по формуле Ниихара. Этот расчет основан на результатах измерения радиальных трещин, образованных при вдавливании алмазной пирамиды Виккерса.

По мере увеличения содержания волокна $NF-Al_2O_3$ значение остаточной пористости также увеличивается. Причина в том, что агломераты $NF-Al_2O_3$ в используемых режимах ультразвуковой дисперсии и механического перемешивания не будут разлагаться на отдельные компоненты. Во время процесса спекания в локальных местах этих агрегатов образовались закрытые поры, что сыграло главную роль в интегральной величине пористости (рис. 3.4, а).

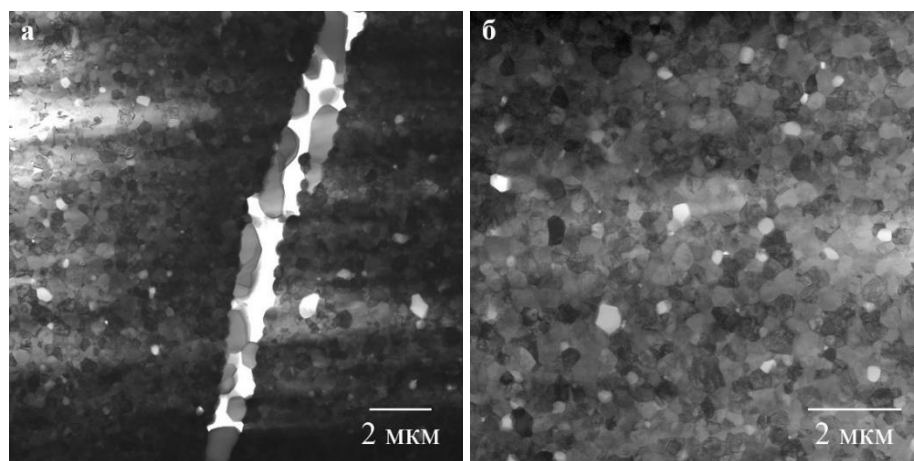


Рисунок 3.4. Структура керамики с 5 об. % $NF-Al_2O_3$: СПЭМ

Размер зерна измеряли с помощью микроскопического изображения, полученного с помощью сканирующего просвечивающего электронного микроскопа. Фольги для микроскопического анализа готовили из объема образца вдоль оси сжатия. Размер зерна определяется плоскостью измерения площади

одного зерна, а длина окружности эквивалентной площади принимается за размер зерна. Количество измерений не менее 200. Результаты показывают, что в керамике образуются равноосные зерна Al_2O_3 , и размер эквивалентен размеру Y-TZP (рис. 3.4, таблица 3.5). Композит с 1 об. % NF- Al_2O_3 после спекания при температуре 1450 °С имеет средний размер зерна на 8 % меньше, чем у сопоставимой по плотности керамики на основе исходного Y-TZP, спечённой при 1500 °С.

Для состава с 1 об. % NF- Al_2O_3 наблюдается увеличение микротвердости при нагрузке 500 г на 5-7 % и K_{IC} на 8 % по сравнению с керамикой из исходного Y-TZP. Дальнейшее увеличение концентрации NF- Al_2O_3 не приводит к ожидаемому увеличению значения микротвердости, а для 20 % NF- Al_2O_3 отмечается ее снижение, что, безусловно, связано с остаточной пористостью. В табл.3.5 приведены измеренные значения модуля продольной упругости E , микротвердости HV и среднего размера зерна D , образцов, с относительной плотностью 0,97 и более, спеченных при температуре T , «нд» - нет данных.

Таблица 3.5. Характеристики спеченных образцов

Al_2O_3 , %	T , °С	ρ , %	E , ГПа	HV 0,5/10	HV 10/10	K_{IC}	D , нм	D , нм для Al_2O_3
0	1500	99±1	236±5	1405±10	1287±9	7,22±0,06	256±26	нд
	1550	99±1	236±5	1393±4	1231±18	7,39±0,11	372±8	нд
0,95	1400	98±1	235±5	1471±13	1316±10	7,88±0,04	196±21	нд
	1450	99±1	240±5	1502±14	1334±6	7,87±0,09	244±21	251±3
	1500	99±1	нд	1481±8	1315±10	8,07±0,03	305±19	нд
1,9	1400	98±1	235±5	1431±12	1278±10	8,06±0,05	нд	нд
	1450	99±1	235±5	1437±10	1306±10	8,14±0,08	нд	нд
	1500	99±1	237±5	1479±7	1326±8	8,1±0,16	нд	нд
4,75	1500	98±1	240±5	1485±8	1276±26	8,1±0,13	320±7	313±6
9,53	1500	97±1	237±5	1490±14	1309±12	8,25±0,08	317±7	325±7
19,15	1600	96±1	250±5	1455±24	1230±17	8,07±0,16	541± 11	522±9

3.5 Изучение стойкости керамик к гидротермальному воздействию

Испытания образцов на стойкость к LTD проводили в соответствии с методикой, описанной в 2.6. Проводили сравнение стойкости образцов из Y-TZP и Y-TZP + 1 об. % Al₂O₃.

Таблица 3.6 Зависимость относительной плотности ρ и среднего условного размера зерна \bar{L} от температуры спекания

Т, °С	Y-TZP		Y-TZP+ Al ₂ O ₃	
	ρ	\bar{L} , нм	ρ	\bar{L} , нм
1350	0.75±0.01	-	0.97±0.01	-
1400	0.94±0.01	182±26	0.98±0.01	196±21
1450	0.96±0.01	223±23	0.99±0.01	244±21
1500	0.97±0.01	256±26	0.99±0.01	305±19

Представленные в таблице 3.6 результаты анализа относительной плотности ρ и среднего размера зерен \bar{L} спечённой керамики показывают, что добавление нановолокон Al₂O₃ способствует интенсификации уплотнения и ограничению роста зерна. Добавление нановолокон позволяет уже при температуре 1400 °С получить керамику с зерном 196 нм и с относительной плотностью 98%. На образцах без нановолокон значение плотности приближается к 98 % лишь при 1500 °С и сопровождается увеличением среднего размера зерна на 25%. Плотность 99% на образцах с нановолокнами может быть достигнута при температуре 1450 °С, а средний размер зерна при этом составляет 244 нм.

Согласно сведениям [5], 1 час ускоренного гидротермального старения при 134 °С и давлении 0.2 МПа условно соответствует 3-4 годам *in vivo* (при использовании данного материала в качестве имплантата). Проведённые нами испытания на стойкость к LTD при 134 °С показывают, что керамика, изготовленная на основе исходного (без добавки нановолокон) состава при

повышенных температурах спекания и имеющая повышенный средний размер зерна склонна к существенному повышению содержания моноклинной фазы (рис. 3.5). Содержание *m*-фазы определяли по формуле 1. После 40 часов испытаний (около 120-150 лет *in vivo*), у образца, спеченного при 1500 °С, содержание моноклинной фазы превысило 60 об. %. Аналогичные результаты были получены рядом независимых исследований, что позволяет определить температуру спекания 1450 °С условной границей, после спекания при которой керамика Y-TZP катастрофически теряет стойкость к LTD. Напротив, образцы с добавкой нановолокон Al₂O₃, изготовленные спеканием при 1500 °С, практически не проявляют признаков старения даже при среднем размере зерна более 300 нм: содержание моноклинной фазы после испытаний не превышает 3.5 об. % во всём исследуемом диапазоне температур спекания. Таким образом, введение в Y-TZP нановолокон Al₂O₃ является эффективным барьером для LTD керамики, спечённой при высоких температурах. Предположительно, повышение стойкости к LTD может быть обусловлено сегрегацией ионов Al на границах зерен Y-TZP, однако наши исследования, проведённые методом энергодисперсионной спектроскопии (ЭДС), пока не подтверждают этого предположения.

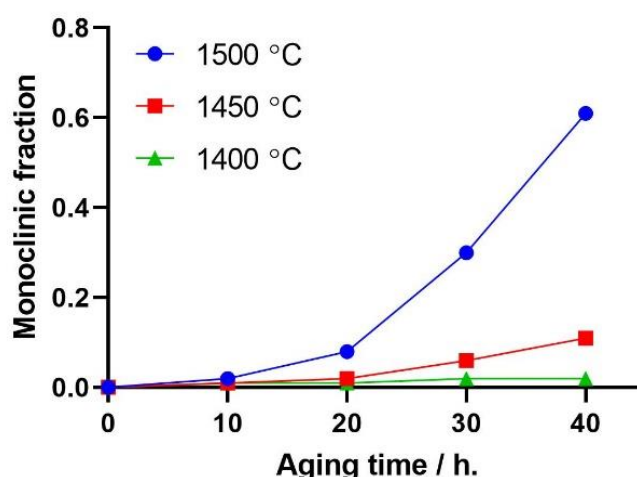


Рисунок 3.5. Зависимости содержания моноклинной фазы в образцах Y-TZP, спеченных при температурах от 1350 до 1500 °С от времени старения в водяном паре при 134 °С и давлении 0.2 МПа

Выводы

Введение метастабильного нановолокнистого Al_2O_3 в состав порошка Y-TZP :

1. в пределах 2 % не оказывает существенного влияния на реологические свойства и позволяет проводить прессование в постоянных оптимальных режимах;
2. сопровождается интенсификацией спекания, а в наибольшей степени этот эффект демонстрирует состав с 1 об. % Al_2O_3 ;
3. для состава с 1 об. % Al_2O_3 наблюдается увеличение микротвердости при нагрузке 500 г на 5-7 % и K_{IC} на 8 % по сравнению с керамикой из исходного Y-TZP ;
4. добавка 1 об. % $\text{NF-Al}_2\text{O}_3$ позволяет многократно повысить стойкость керамики на основе Y-TZP к гидротермальному воздействию.

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Цель данного раздела ВКР заключается в оценке перспективности разработки и планировании финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках НИ. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы: будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала разработки;
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель данной ВКР – Изучение гидротермальной стойкости образцов на основе диоксида циркония и нановолокон оксида алюминия..

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

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В процесс исследования рассматривались две конкурирующие разработки:

1) Изучение гидротермальной стойкости образцов на основе диоксида циркония и нановолокон оксида меди.

2) Изучение гидротермальной стойкости образцов на основе диоксида циркония и нановолокон оксида железа

В таблице 4.1 представлено сравнение разработок-конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 4.1 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. устойчивость к старению	0,15	5	2	3	0,75	0,3	0,45
2. Высокая прочность	0,05	5	3	2	0,25	0,15	0,1
3. вязкость разрушения	0,1	4	1	3	0,4	0,1	0,3
4. Коррозионная стойкость	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
5. Безопасность	0,02	5	5	5	0,1	0,1	0,1
6. Эффективность работы	0,06	5	2	2	0,3	0,12	0,12
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Реализация продукта	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
2. Уровень охвата рынка	0,14	4	5	3	0,56	0,7	0,42
3. Предполагаемая цена	0,09	5	5	3	0,45	0,45	0,27
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
5. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
6. Срок выхода на рынок	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
7. Наличие сертификации разработки	0,03	5	4	4	0,15	0,12	0,12
Итого	1	63	47	47	4,76	3,43	3,45

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что предлагаемое в данной ВКР решение обладает конкурентоспособностью.

4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта проведен SWOT-анализ, где детально продуманы сильные и слабые стороны научно-технической

разработки. На втором этапе проведения SWOT-анализа составлены интерактивные матрицы проекта, в которых осуществлено выполнение анализа соответствия параметров SWOT каждого с каждым. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.2–4.5.

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	+	-	-	-
	B3	-	+	-	+	-
	B4	-	+	-	+	-
	B5	+	+	-	-	-

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	+	-
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	-
	B5	-	-	-	-	-

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	-
	У2	-	+	-	-	-

Результаты выполнения SWOT-анализа представлены в таблице 6.

Таблица 4.6 – Результаты SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Низкая стоимость исходного сырья</p> <p>С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции</p> <p>С3. Взаимосвязи ТПУ с потенциальными заказчиками</p> <p>С4. Экологичность технологии</p> <p>С5. Квалифицированный персонал</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Невысокие объемы производства</p> <p>Сл3. Риск нарушения правил безопасности и возникновения различных непредвиденных ситуаций</p> <p>Сл4. Вероятность получения брака</p> <p>Сл5. Большой срок поставок материала, используемого при проведении научного исследования</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Использование оборудования ИШНПТ ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В3. Внедрение технологии в производство</p> <p>В4. Участие в грантах</p> <p>В5. Выход на зарубежные рынки</p>	<p>Направления развития</p> <p>В2С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции позволит расширить спрос</p> <p>В3С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии являются основанием для внедрения технологии в производство</p> <p>В4С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>В1Сл4. Новейшее оборудование позволит на ранних стадиях исследование выявить и предотвратить появление брака</p>

	технологии позволит участвовать в грантах В5С1С2. Низкая стоимость исходного сырья и высокий уровень физико-механических свойств продукции является хорошим основанием для выхода на зарубежные рынки	
Угрозы У1. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок У2. Разработка новых технологий конкурентами и снижение цен	Угрозы развития У1С1С2. Более ускоренные темпы разработки и производства и поиск технологического решения для ускорения технологического процесса	Уязвимости: У2Сл2. Разработка новых технологий для увеличения объема производства У1Сл4. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения брака

Результаты проведенного SWOT-анализа учтены в процессе дальнейшей разработки структуры работ, которые необходимо выполнить в научно-исследовательском проекте.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование работ предполагало определение структуры работ по проведению научного исследования, определение участников каждого вида работ, установление продолжительности работ, построение графика проведения исследований. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по выполнению НТР представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения ВКР	Студент-инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Студент-инженер
	4	Выбор методов исследования	Студент-инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Студент-инженер, научный руководитель
	6	Проведение эксперимента	Студент-инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов НИР	Студент-инженер
	8	Оценка эффективности результатов	Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	9	Составление пояснительной записки	Студент-инженер
	10	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Студент-инженер
	11	Социальная ответственность	Студент-инженер

4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Определение трудоемкости выполнения научного исследования проведено экспертным путем в человеко-днях. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ использована следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

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

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

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

Исходя из рассчитанной ожидаемой трудоемкости работ, была определена продолжительность каждого этапа работы (в рабочих днях T_p), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, а также возможность выполнения нескольких видов работ в один временной промежуток. Далее с помощью формулы 2 рассчитана продолжительность одной работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

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

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожі}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9

1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	1		4		2.2		2,2	3
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	1	4	4	2.2	2.2	2.2	3
3. Обзор научной литературы		4		10	0	6.4	6.4	10
4. Выбор методов исследования		8		14	0	10.4	10.4	15
5. Планирование эксперимента		10		18	0	13.2	13.2	19
6. Проведение эксперимента		6		14	0	9.2	9.2	14
7. Анализ полученных результатов НИР		4		8	0	5.6	5.6	8
8. Оценка эффективности результатов		4		8	0	5.6	5,6	8
9. Составление пояснительной записки		6		14	0	9.2	9.2	14
10. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		4		10		6.4	6.4	9
11. Социальная ответственность		8		10		9	9	13
Итого	2	61	8	120	2.2	84.6	84,6	116

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

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.9)..

Таблица 4.9 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T _{ki} кал. дн.	Продолжительность работ												
				февр			март			апр			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель	3													
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Студент-инженер, научный руководитель	3													
3	Обзор научной литературы	Студент-инженер	10													
4	Выбор методов исследования	Студент-инженер	15													
5	Планирование эксперимента	Студент-инженер, научный руководитель	19													
6	Проведение эксперимента	Студент-инженер	14													
7	Анализ полученных результатов НИР	Студент-инженер	8													
8	Оценка эффективности результатов	Научный руководитель	8													
9	Составление пояснительной записки	Студент-инженер	14													
10	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Студент-инженер	9													
11	Социальная ответственность	Студент-инженер	13													

Примечание:

||||| – Исп 1 (научный руководитель)

||||| – Исп 2 (студент-инженер)

4.2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением.

4.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу,

или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Затраты на получение образца порошковой системы $ZrO_2 + 3$ мол. % Y_2O_3

Наименование статей	Кол-во/1 изд	Цена, руб./кг	Итого затраты, руб.
Порошок оксида циркония ГОСТ 21907 - 76, кг	0,05	8000	400
Нановолокон Al_2O_3 , кг	0,01	81767,5	817
Порошок Оксида иттрия с cas по 1314-36-9 ,кг	0,0015	7000	10,5
Рукавицы специальные, термостойкие – 6 мес.	1	15	15
Мыло туалетное ГОСТ 28546- 2002 ГОСТ 790-89	1	35	35
Очки защитные ГОСТ Р 12.4.013-97, шт.	1	58	58
Перчатки резиновые, технические ГОСТ 20010-93, пар	1	12	12
Итого:			1347.5

4.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.

1	Ноутбук	1	3	50	50
2	Аналитические весы DA-124	1	3	86	86
3	Ультразвуковая ванна ОДА Сервис 1.3л ODA-M13	1	5	6	6
4	Магнитная мешалка MS-3000 ЛТК	1	10	10	10
5	Электронный микроскоп FEG SEM: JEOL JSM 2100F	1	15	16000	16000
6	Гидравлическая машина прессования (ИП-500-пресс ЗИПО	1	35	1119	1119
7	Высокотемпературная вакуумная печь (Nabertherm VHT 8/22-GR	1	15	1750	1750
	Шлифованный станок (Eco Met 300 Pro Buehler)	1	10	1290	1290
9	Ион слайсер (Ion Slicer EM- 09100IS)	1	10	2000	8000
10	Микротвердомера ПМТ - ЗМЛОМО	1	10	1500	1500
11	ТвердомерТП-7Р-1 ЗИП	1	10	895	895
12	Рентгеновский Дифрактометра XRD – 7000	1	20	3700	3700
Итого		34406			

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (3)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4)$$

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

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Ноутбук:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 50}{12} \cdot 4 = 5,5 \text{ тыс. руб.}$$

Аналитические весы:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} * m = \frac{0,33 * 86}{12} * 4 = 9,46 \text{ тыс. руб}$$

Ультразвуковая ванна:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} * m = \frac{0,2 * 6}{12} * 4 = 0,4 \text{ тыс. руб}$$

Магнитная мешалка:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} * m = \frac{0,1 * 10}{12} * 4 = 0,33 \text{ тыс. руб}$$

Электронный микроскоп:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} * m = \frac{0,07 * 16000}{12} * 4 = 355,6 \text{ тыс. Руб.}$$

Гидравлическая машина прессования:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} * m = \frac{0,029 * 1119}{12} * 4 = 11,2 \text{ тыс. руб}$$

Высокотемпературная вакуумная печь:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} * m = \frac{0,07 * 1750}{12} * 4 = 40,8 \text{ тыс. Руб.}$$

Шлифованный станок:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} * m = \frac{0,1 * 1290}{12} * 4 = 43 \text{ тыс. руб}$$

Инон слайсер:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} * m = \frac{0,1 * 2000}{12} * 4 = 66,7 \text{ тыс. руб}$$

Микротвердомера:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} * m = \frac{0,1 * 1500}{12} * 4 = 50 \text{ тыс. Руб.}$$

Твердомер:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} * m = \frac{0,1 * 895}{12} * 4 = 29,8 \text{ тыс. Руб.}$$

Рентгеновская дифрактометра:

$$A = \frac{H_{AI}}{12} * m = \frac{0,05 * 3700}{12} * 4 = 61,7 \text{ тыс. Руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 5,5 + 9,46 + 0,4 + 0,33 + 355,6 + 11,2 + 40,8 + 43 + 66,7 + 50 + 29,8 + 61,7 = 674,49 \text{ тыс. Руб}$$

4.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (9)$$

где $Z_{дн}$ – 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):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (10)$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_0 – 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):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_0} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (11)$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_{\partial}) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (12)$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_\partial) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (13)$$

где Z_{mc} – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_∂ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.12 – Баланс рабочего времени исполнителей

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

Таблица 4.13 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	Z_{mc} , руб	k_{np}	k_∂	k_p	Z_m , руб	$Z_{\partialн}$, руб	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	10	21473
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	116	202199,6
Итого:								223672,6

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{\partialон} = K_{\partialон} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 21473 = 3220,95 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_{\partialон} = K_{\partialон} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 202199,6 = 30329,94 \text{ руб}$$

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

4.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$З_{внед} = K_{внед}(З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (21473 + 3220,95) = 7408,2 \text{руб.}$$

Для инженера:

$$З_{внед} = K_{внед}(З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (202199,6 + 30329,94) = 69758,86 \text{руб.}$$

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

4.2.3.5 Накладные расходы

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

Накладные расходы в целом:

$$З_{накл} = (\text{сумма}/6) \cdot k_{нр} = (674490 + 1347,5 + 223672,6 + 7408,2 + 69758,86 + 3220,95 + 30329,94) \cdot 0,2 = 1010228,05 \cdot 0,2 = 202045,6 \text{руб.}$$

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 «Керамические композиционные материалы на основе диоксида циркония и оксида алюминия» по форме, приведенной в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Группировка затрат по статьям

Статьи

Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
674490	1347,5	223672,6	77167,06	33550,89	1010228,05	202045,6	2222501,7

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

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

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

В качестве аналогов данной НТР рассмотрены:

- 1) Изучение гидротермальной стойкости образцов на основе диоксида циркония и нановолокон оксида меди.
- 2) Изучение гидротермальной стойкости образцов на основе диоксида циркония и нановолокон оксида железа

Интегральный финансовый показатель вариантов выполнения проектируемого объекта определялся по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{Var.i}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (19)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{вар.1}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{20000}{22000} = 0,91$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{вар.2}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{21000}{22000} = 0,955$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{вар.3}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{мах}}} = \frac{22000}{22000} = 1$$

В результате расчета интегрального финансового показателя по трем вариантам разработки вариант 3 (данная НТР) с небольшим перевесом признан более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НТР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.15).

Таблица 4.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НТР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Вар.1	Вар.2	Вар.3
1. устойчивость к старению	0,3	5/1.5	3/0.9	3/0.9
2. Высокая прочность	0,1	4/0,4	5/0,5	4/0,4
3. вязкость разрушения	0.2	3/0,6	5/1	4/0,6
4. Коррозионная стойкость	0,1	5/0.5	2/0.2	2/0.2
5. Безопасность	0.2	4/0.8	3/0.6	2/0.6
6. Эффективность работы	0,1	3/0.3	2/0.2	2/0.2
ИТОГО	1	27/4.1	20/3.4	17/2.9

$$I_{p\text{-вар1}} = 4,1;$$

$$I_{p\text{-вар2}} = 3,4;$$

$$I_{p\text{-вар3}} = 2,9.$$

На основании полученных интегрального финансового показателя и интегрального показателя ресурсоэффективности был рассчитан интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{вари}$) по формуле:

$$I_{вари} = \frac{I_{р-вари}}{I \frac{вари}{финр}}$$

$$I_{вар1} = \frac{4,1}{0,91} = 4,5$$

$$I_{вар2} = \frac{3,4}{0,955} = 3,56$$

$$I_{вар3} = \frac{2,9}{1} = 2,9$$

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

Таблица 4.16 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,91	0,955	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,1	3,4	2,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,5	3,56	2,9
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Вар.1/Вар.2 = 1,2 Вар. 1/Вар. 3= 1,4	Вар. 2/Вар. 1 = 0,83 Вар. 2/Вар. 3 = 1,16	Вар. 3/Вар. 1 = 0,71 Вар. 3/Вар. 2 = 0,86

Вариант 1: $0,91 + 4,1 + 4,5 = 9,51$.

Вариант 2: $0,955 + 3,4 + 3,56 = 7,915$.

Вариант 3: $1 + 2,9 + 2,9 = 6,8$.

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (данная разработка), т. к. показатель

его сравнительной эффективности по отношению к каждому из сравниваемых вариантов больше 1.

4.4 Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НТР 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. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работы – 116 дней; общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер, – 116; общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель, – 10;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 2222501,7 руб;

4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,91, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,1, по сравнению с 3,4 и 2,9;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4,5, по сравнению с 3,56 и 2,9, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Цель данной главы – выявление вреда и опасностей, возникающих при выполнении экспериментальной части работы, а также разработка мер по их устранению.

Объект исследования – ZrO_2 , Y_2O_3 , Al_2O_3 . Область применения данного вида керамики - медицина и металлообрабатывающая промышленность, нефтеперерабатывающая промышленность.

Экспериментальная часть работы осуществлялась с применением такого оборудования, как: высокотемпературные печи, электрическая плитка, гидравлический пресс, вакуум-насос, ПЭМ, рентгеновский дифрактометр.

Место работы: лаборатория Томского политехнического университета (ауд. 109 10 корпуса)

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя)

правовые нормы трудового законодательства

На предприятии следует руководствоваться Трудовым кодексом Российской Федерации от 30.12.2001 но.197-ФЗ [45].

Каждый работник лаборатории должен быть обеспечен средствами индивидуальной защиты и моющими средствами.

Для поддержания здоровья и предотвращения заболеваний работники, подвергающиеся воздействию химических веществ, должны повышаться два раза в год.

Перед началом работы каждый сотрудник должен получить вводную и вводную лекцию о мерах безопасности, а затем подписать вступительное введение в дневнике. Чтобы исключить возможность несчастных случаев, все студенты и студенты высших и средних профессиональных учебных заведений должны провести серьезные исследования по вопросам безопасности и другим видам деятельности в соответствии с утвержденными курсами и планами.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

В этом параграфе приведены эргономические требования для обеспечения правильного расположения и расположения рабочей зоны исследователя и рабочей зоны, разработанных в производственной среде для создания комфортной рабочей среды.

Основным объектом в производственной среде является рабочее место, которое обычно является местом, где люди могут жить во время работы.

Рабочее место расположено на первом этаже лаборатории. Комната длиной 8 м, шириной 5 м, высотой 3.2 м, общей площадью 40 м², общим объемом 128 м³, Поэтому там, где рабочее место инженера организовано, должны соблюдаться требования ГОСТ 12.2.032-78 [46] и ГОСТ 12.2.033-78 [47].

Персонал может работать только в рабочей одежде и средствах индивидуальной защиты. На рабочем месте должен быть запас сырья, не превышающий сменный спрос. Вы должны знать конкретные характеристики используемых веществ и соблюдать установленные правила, связанные с ними. Производственный процесс должен быть организован таким образом, чтобы предотвратить попадание пыли и вредных веществ в воздух в рабочей зоне. Все работающее электрооборудование должно соответствовать требованиям «Правил технической эксплуатации электрооборудования потребителя» и других нормативных документов. Не используйте электрооборудование без заземления. Согласно действующим стандартам помещения опытно-производственной лаборатории оснащены основным оборудованием пожаротушения. Все сотрудники должны иметь возможность использовать противопожарное оборудование и оказывать первую медицинскую помощь в случае аварии. Запрещено портить рабочие места, тротуары, выходы из помещений и зданий, а также противопожарное оборудование.

5.2 Производственная безопасность

Для идентификации потенциальных факторов использован ГОСТ 12.0.003-2015 [48]. Перечень выявленных возможных опасных и вредных факторов представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработ ка	Изготовл ение	Эксплуат ация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 [49] ГОСТ 12.1.005-88 [50]
2. Превышение уровня шума		+		ГОСТ 12.1.003-2014 [51] ГОСТ 12.1.029-80 [52] СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [53]
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [54] СП 52.13330.2016 [55]
4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 [56] ГОСТ 12.1.038-82 [57]
5. Чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания		+		ГОСТ 12.1.005-88 [50] ГН 2.2.5.3532-18 [58] СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4 [49]

5.2.1 Анализ показателей микроклимата

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата приведены в таблице 1.

Таблица 5.2 – Требования к микроклимату помещения для категории работ «Легкая Ia»

Пе ри од	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения, м/с
----------------	-----------------	-------------------------------	---------------------------

	оптимальная	допусти мая				оптимальная	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных, не более	оптимальная, не более	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных
		верхняя граница		нижняя граница					
		на рабочих местах							
		посто- янных	не- посто- янных	пос- тоян- ных	не- посто- янных				
Холод- ный	22- 24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	Не более 0,1
Теплый	23- 25	28	30	22	20	40-60	55 (при 28°C)	0,1	0,1-0,2

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека - не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточный, постоянный и равномерный нагрев воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистому воздуху следует использовать горячую воду. Параметры микроклимата в используемой комнате управления регулируются системой центрального отопления и имеют следующие значения: влажность -40%, скорость воздуха -0,1, температура летом -20 ... 25 ° С, зима -13 ... 15 ° С. В лаборатории искусственная вентиляция.

5.2.2 Анализ чрезмерного загрязнения воздушной среды в зоне дыхания

В лабораторий по изготовлению прессованных заготовок используются вещества, которые оказывают вредное влияние на организм человека. Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно

допустимых концентраций (ПДК). Величина ПДК и другие нормативы представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Гигиенические нормативы

Наименование вещества	Величина ПДК, (мг/м ³) *	Преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
Оксид иттрия	6	а	4	Ф
Диоксид циркония	6	а	4	Ф
Оксид алюминия	6	а	4	Ф

а - аэрозоль,

4 - вещества мало опасные, в соответствии с классификацией [59].

Ф - аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

*Предельно допустимая концентрация аэрозолей в воздухе рабочей зоны (в том числе и для аэрозолей в сумме) не должна превышать 10 мг/м³

Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия – производственная пыль способная вызывать пылевые заболевания легких, основными из которых являются силикозы, пылевые бронхиты, пневмокониозы. Самым действенным способом защиты организма от воздействия АПФД являются средства индивидуальной защиты и профилактическое питание. При аттестации рабочих мест определяется концентрация АПФД в воздухе рабочей зоны, а также обеспеченность работника СИЗ и профилактическим питанием (молоком). Средствам индивидуальной защиты относят респираторы (противогазы), перчатки, очки, специальная противопылевая одежда, защитные пасты и мази. Контролем содержания вредных примесей в воздухе и на рабочих местах занимается санитарная лаборатория. Рабочая зона снабжена вытяжной вентиляцией.

5.2.3 Анализ показателей шума и вибрации

Нормативы по шуму установлены в ГОСТ-12.1.003-2014 [51] в СН2.2.4/2.1.8.562-96 [53] (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	Легкая физическая нагрузка	Средняя физическая нагрузка	Тяжелый труд 1 степени	Тяжелый труд 2 степени	Тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

Одним из инструментов, который генерирует шум в лаборатории, является ультразвуковая очистка.

ГОСТ 12.1.003-2014 устанавливает уровень звукового давления и эквивалентные уровни звука на рабочем месте компаний-производителей в диапазоне частот 31,5-8000 зависит от тяжести и интенсивности труда уровень звука герц и эквивалентный уровень звука на рабочем месте производственное оборудование -70дБА. Непрерывный шум > 85дБА. Согласно нормативным документам СН 2.2.4 / 2.1.8.562-96 и ГОСТ 12.1.003-2014, вызывая непрерывный рост порога слуха, профессиональные заболевания (глухота, потеря слуха) для увеличения крови стресс, чтобы уменьшить скорость реакции и внимание.

Если уровень шума превышает нормальный уровень, необходимо принять меры в соответствии с [51], чтобы уменьшить уровень шума, чтобы избежать вреда для людей от шума: 1. Звукоизоляционные и звукопоглощающие элементы 2. Личные средства защиты.

5.2.4 Анализ освещенности рабочей зоны

Работая в плохом качестве или в условиях низкой освещенности, люди будут чувствовать усталость глаз и усталость, что приведет к снижению трудоспособности. В некоторых случаях это может вызвать головную боль. Во многих случаях причина заключается в том, что уровень освещения слишком низкий, слепящий эффект источника света и неравномерный баланс яркости на рабочем месте. Импульсы освещения также могут вызывать головные боли, в основном из-за использования электромагнитных балластов для газоразрядных ламп с рабочей частотой 50 Гц.

Освещение на рабочем месте должно соответствовать характеру визуальной работы: равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и отсутствие резких теней, количество освещения постоянно во времени (без пульсации луча), лучшая направленность и большая часть луча. Хороший спектральный состав, все элементы осветительной установки должны быть долговечными, безопасными от взрыва, пожара и электричества.

В таблице 5.5 перечислены стандарты освещения для научно-технических лабораторий в соответствии с [54], в том числе физические, ступенчатые и спектральные.

Таблица 5.5 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения научно-технических лабораторий

Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г – горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение КЕО e_n , %		Совмещенное освещение КЕО e_n , %		Искусственное освещение				
	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	Освещенность, лк		Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации и освещенности, КЕО e_n , %, не более	
					при комбинированном освещении	при общем освещении			всего
Г-0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	500	300	400	40	10

Изучение керамических характеристик и структуры требует освещения

низкой точности. В таблице 5.6 перечислены различные типы спецификаций освещения для промышленных объектов с визуальной работой пятой категории [55].

Таблица 5.6 – Требования к освещению помещений промышленных предприятий (для категории IVг)

Искусственное освещение				
Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин объединенного показателя дискомфорта UGR и коэффициента пульсации	
при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения	UGR, не более	К _п , %, не более
Всего	В том числе от общего			
-	-	200	25	20

Лаборатория расположена на цокольном этаже – нормальная освещенность достигается за счет искусственного освещения люминесцентными лампами.

По нормам освещения и отраслевым нормам освещения в помещении при работе с ПК рекомендуется 300 - 500 лк при общем освещении.

Определим количество светильников, необходимое для освещения лаборатории при $E = 300$ лк. Общее освещение осуществляется светильниками ARS/R. Оптическая часть светильника ARS/R включает в себя экранирующую решетку, которая выполнена из зеркального алюминия и монтируются к корпусу посредством скрытых пружин. В одном светильнике 4 ЛЛ мощностью по 18 Вт.

- Световой поток лампы – 1150 лм.

- Коэффициент отражения потолка – 70%, стен – 50%, пола – 10%.

Помещение имеет размеры:

- 1) Длина $A = 8$ м;
- 2) Ширина $B = 5$ м;
- 3) Высота $H = 3.2$ м.

Площадь помещения таким образом составит:

$$S = 5 \times 8 = 40 \text{ м}^2$$

Коэффициенты отражения светового потока от потолка, стен, соответственно равны: $q_{\text{п}} = 70 \%$, $q_{\text{с}} = 50 \%$, $q_{\text{з}} = 10 \%$. Уровень от рабочей поверхности до потолка составляет:

$$H = h - h_{\text{р}} - h_{\text{с}},$$

$$H = 3.2 - 0.73 - 0 = 2.47 \text{ м},$$

где h – высота потолков, м;

$h_{\text{с}}$ – расстояние от светильника до потолка, м (при высоте помещения менее пяти метров принимается равной 0 м);

$h_{\text{п}}$ – высота рабочей поверхности над уровнем пола, м (принимается равной 0,73 м).

Для освещения используются светильники типа ОД мощностью 40 Вт, для которых оптимальность расположения светильников составляет $\lambda = 1,4$. Расчетная длина между двумя рядами светильников:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 3.2 = 4,48 \text{ м}.$$

Число рядов светильников:

$$n = B/L = 5/4,48 = 1,12,$$

где B – ширина помещения, м.

Выбираем $n = 1$ ряд светильников. Тогда индекс освещения:

$$i = \frac{S}{H \cdot (A + B)} = \frac{40}{1 \cdot (5 + 8)} = 1.25$$

$$\text{Коэффициент использования светового потока } \eta = \frac{q_{\text{п}} + q_{\text{с}} + q_{\text{з}}}{3} = 43\%$$

Их количество рассчитывается по следующей формуле:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_{\text{з}}}{U \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}},$$

где E – требуемая горизонтальная освещенность, лк;

- S – площадь освещаемого помещения, м^2 ;

- K_z – коэффициент запаса;
- U – коэффициент использования;
- Φ_l – световой поток одной лампы, лм;

Коэффициент запаса зависит от степени загрязнения помещения, частоты технического обслуживания светильника, интенсивности эксплуатации светильников и принимает значения от 1, до 2. Для чистых помещений с трехгодичным циклом обслуживания равен 1,5.

Для $p_n = 70\%$, $p_c = 50\%$, $U = 0,54$.

Подставим результаты в формулу:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_z}{U \cdot n \cdot \Phi_l},$$

для количества светильников получим:

$$N = \frac{300 \cdot 40 \cdot 1,5}{0,54 \cdot 4 \cdot 1150} \approx 8$$

Таким образом, количество светильников ARS/R, необходимое для освещения лаборатории при $E = 300$ лк равно 8.

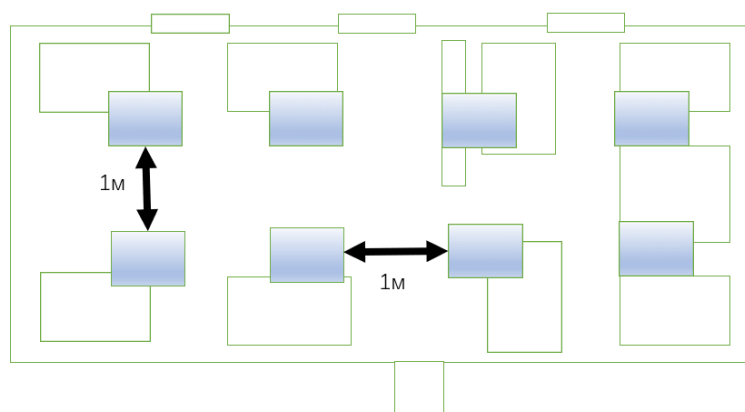


Рисунок 5.1. План размещения светильников

5.2.5 Анализ электробезопасности

Наибольшую опасность при эксплуатации электрооборудования и проведении ремонтных и профилактических работ представляет собой поражение электрическим током, вызванное токоведущими частями и соединениями с токоведущими частями оборудования.

В соответствии с условиями поражения электрическим током опасности поражения электрическим током нет, и лабораторная комната относится к первой категории, в этом случае нет условий, которые увеличивали бы опасность или особую опасность.

Причину поражения электрическим током необходимо устранить.

Меры, принятые для устранения факторов поражения электрическим током:

а) Под руководством всего персонала, который начинает использовать электрооборудование на рабочем месте, они могут работать самостоятельно только после проверки знаний техники безопасности;

б) постоянно контролировать качество и ремонтпригодность защитных устройств и заземления и использовать только защитные устройства для ремонта и регулировки существующих электрических устройств;

с) Эксплуатация электроустановок предусматривает введение необходимых технических документов, обеспечение невозможности прикосновения к токоведущим частям, заземление корпусов оборудования и электрооборудования.

5.3 Экологическая безопасность

В этом разделе рассматривается характер воздействия предлагаемого решения на окружающую среду. Вы всегда должны учитывать проектируемое решение и то, как вещества и материалы, используемые для его создания, влияют на атмосферу, гидросферу и литосферу, и предлагать решения для обеспечения экологической безопасности.

Поскольку для изготовления керамики из диоксида циркония требуется прессование, шлифование, полировка, спекание и ряд механических операций, серьезной проблемой является энергопотребление оборудования. Это неизбежно приведет к общему увеличению энергопотребления. Чтобы удовлетворить спрос на электроэнергию, необходимо увеличить мощность и количество электростанций. Это приводит к нарушениям условий окружающей среды, поскольку электростанции используют различные виды топлива, водные ресурсы, а также являются источником вредных веществ в атмосферу.

Эта проблема является глобальной. Сегодня многие страны ввели альтернативные источники энергии (солнечные батареи, энергия ветра). Другим способом решения этой проблемы является использование энергосберегающих систем. Установите аппарат в автоматический режим ожидания, когда он не используется, для экономии энергии.

Для эксперимента по исследованию керамики из диоксида циркония при приготовлении порошка диоксида циркония, легированного иттрием, будут образовываться вредные газы, которые должны быть собраны и переданы специалистам для надлежащей утилизации.

На этапе исследования образуются твердые отходы: образцы, бумага для взвешивания, использованные перчатки и салфетки. Порошковые материалы, попадающие в почву, могут вызвать изменения в их составе, что может оказать негативное влияние на местные организмы. Утилизация опасных твердых отходов должна осуществляться в соответствии с действующим законодательством.

Утилизация электрических приборов осуществляется сотрудниками университета, и указываются следующие этапы:

Правильное завершение поведения списания указывает на то, что невозможно выполнить дальнейшие операции, перечисленные в поведении измерительного оборудования, и для этого существует акт технического осмотра;

Поскольку предприятие может быть утилизировано только после окончательного аннулирования, измерительное оборудование, указанное в счете, списывается с баланса предприятия, а инструкции приводятся в бухгалтерском отчете.

Откажитесь от измерительного оборудования напрямую, полностью разберите оборудование на части, а затем классифицируйте его по типу материала и передайте его на перерабатывающий завод.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация - это сочетание опасных событий или явлений, которые угрожают безопасности.

Основными причинами чрезвычайных ситуаций являются:

- 1) Внешние технические продукты, вода, стихийные бедствия, неожиданные отключения электроэнергии и т.д. ;
- 2) внутренне-техническая сложность, недостаточная квалификация персонала, конструктивные дефекты, физическое и моральное износ оборудования, снижение трудовой и технической дисциплины и т. Д.

Наиболее вероятной технической аварийной ситуацией в лаборатории является пожар

В лаборатории наиболее вероятно возникновение технической аварийной ситуации (ЧС). Если в лаборатории возникает чрезвычайная ситуация, необходимо принять следующие меры:

- 1) Необходимо эвакуировать персонал или персонал принюта с защитными средствами;
- 2) обеспечить людей средствами индивидуальной защиты;
- 3) Организовать медицинскую помощь пострадавшим.

5.5. Пожарная безопасность

Под огнем понимается неконтролируемое горение за пределами специального центра, приводящее к материальным потерям. Согласно [60], понятие пожарной безопасности относится к состоянию объекта, где выявленная возможность исключает возможность пожара и пожара и подвергает персонал воздействию опасных факторов пожара, а также защищает материальные ценности.

В зависимости от степени пожара лабораторное помещение относится к категории П-2, поскольку в его суспензии содержатся пыль и волокна [61].

При использовании электронного оборудования возможен пожар из-за электрических и неэлектрических свойств.

Причины неэлектрических пожаров:

а) Неосторожная пожарная обработка (курение, автоматическое отопление, использование открытого огня);

б) Самовозгорание и самовозгорание вещества.

Причины электрических пожаров: короткие замыкания, перегрузки по току, искры и дуги, статическое электричество и т. Д.

Чтобы устранить причину пожара в лаборатории, необходимо принять следующие меры:

а) персонал лаборатории должен принять пожарную инструкцию;

б) Требовать от работников знать местонахождение устройств пожаротушения и уметь их использовать;

в) необходимо обеспечить правильную термическую и электрическую работу оборудования;

г) Противопожарное оборудование и основное противопожарное оборудование должны содержаться в хорошем состоянии и в видимом и легкодоступном месте.

В лаборатории имеется 2 огнетушителя ОУ-2, предназначенных для тушения различных веществ и материалов, кроме щелочноземельных металлов и электроустановок напряжением до 1000 В. При тушении электрооборудования под напряжением колпак не должен быть близко к электрооборудованию и к пламени, а расстояние не должно превышать 1 метра.

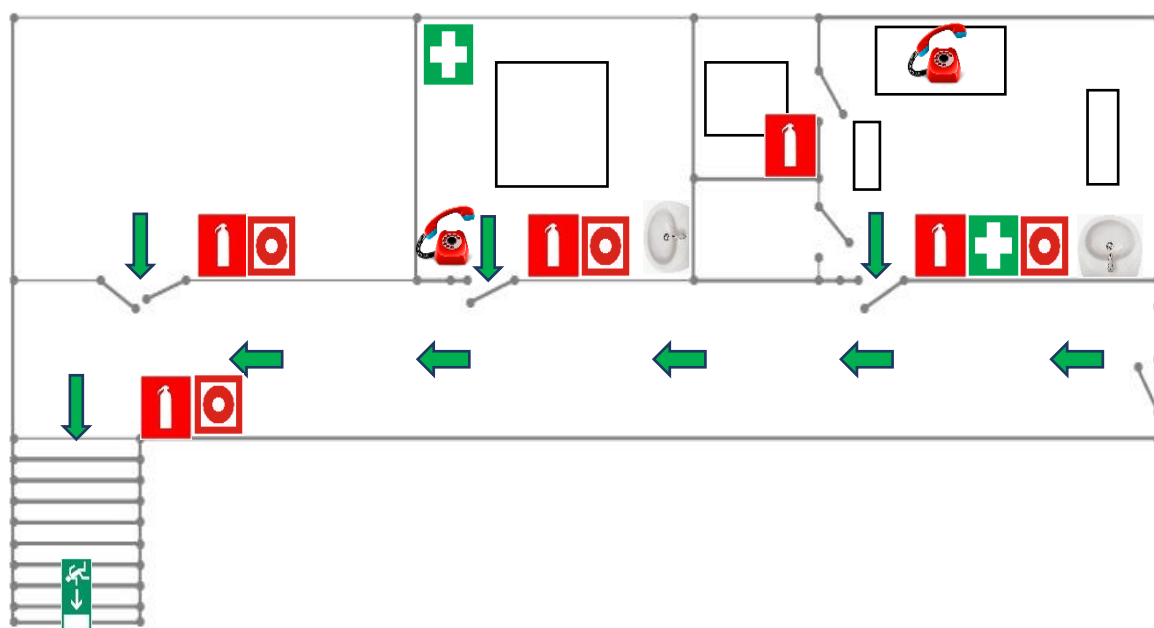


Рисунок 5.2. План эвакуации

5.6 Выводы по разделу

После проведения научной деятельности нам следует обратить внимание на неблагоприятные факторы, которые могут нанести вред физическому и психическому здоровью людей, загрязнить окружающую среду и даже вызвать серьезные потери имущества, такие как шум, вредные вещества, пожары и так далее. Мы должны быть полностью готовы к тому, чтобы предотвратить эти вещи:

1. Для микроклимата мы должны контролировать влажность в помещении, температуру и скорость воздуха.
2. Для шума, мы должны заранее подготовить звукоизоляционные инструменты.
3. При недостаточном освещении необходимо подготовить достаточное количество света для соответствия стандартной яркости.
4. В случае пожара должно быть подготовлено противопожарное оборудование, не должно быть препятствий для эвакуации, и персонал должен регулярно обучаться знаниям, связанным с пожаром.
5. В целях экологической безопасности с опасными веществами следует обращаться надлежащим образом, чтобы предотвратить загрязнение, а также экономить потребление электроэнергии.

6. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Чжан Ч. Керамические композиционные материалы на основе диоксида циркония и оксида алюминия// Труды X Всероссийской научно-практической конференции "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", 22-24 апреля 2020 г., г.Томск: Изд-во ТПУ, 2020. - В печати

7. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. C. Piconi, G. Maccauro Zirconia as a ceramic biomaterial//Biomaterials, 20 (1999), pp. 1-25
2. I. Denry, J.R. Kelly State of the art of zirconia for dental applications//Dental Materials, 24 (2008), pp. 299-307
3. J. Chevalier What future for zirconia as a biomaterial//Biomaterials, 27 (2006), pp. 535-543
4. H. Tsubakino, R. Nozato, M. Hamamoto Effect of alumina addition on the tetragonal-to-monoclinic phase transformation in zirconia–3 mol% yttria//J Am Ceram Soc, 74 (1991), pp. 440-443
5. Zhi-kai Wu, Ning Li, Chao Jian, Wan-qian Zhao, Jia-zhen Yan. Low temperature degradation of Al₂O₃-doped 3Y-TZP sintered at various temperatures // Ceramics International. 2013. V.39. № 6. P. 7199-7204
6. Sequeira S., Fernandes M.H., Neves N., Almeida M.M. Development and characterization of zirconia–alumina composites for orthopedic implants // Ceramics International. 2017. V. 43. № 1A. P. 693-703
7. Бакунов В. С., Балкевич В. Л., Власов А. С., и др. Керамика из высокоогнеупор-ных окислов.- Металлургия: Издательство, 1977. - 304 с.
8. Матренин С. В., Слосман А.И. М 34 Техническая керамика: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. 75 с.
9. R.C. Garvie, C. Urbani, D.R. Kennedy, J.C. McNeuer Biocompatibility of magnesia partially stabilized zirconia (mg-PSZ) ceramics//J Mater Sci, 19 (1984), pp. 3224-3228
10. M. Cattani-Lorente, S.S. Scherrer, P. Ammann, M. Jobin Low temperature degradation of a Y-TZP dental ceramic//Acta Biomaterialia, 7 (2011), pp. 858-865
11. Крупа А. А., Городов В. С. Химическая технология керамических материалов. - Киев: Высшаяшкола, 1990. - 399 с.

12. VanniLughi, ValterSergo Low temperature degradation -aging- of zirconia: A critical review of the relevant aspects in dentistry// *Dental Materials* Volume 26, Issue 8, August 2010, Pages 807-820
13. R Fernández, Frank A. Meschke, Gofferedo de Portu, Marc Anglada, Luis Llanes. Fatigue and fracture characteristics of a fine-grained (Mg,Y)–PSZ zirconia ceramic// *Journal of the European Ceramic Society*.1999. V.19. № 9. P. 1705-1715
14. Sitian Zang, Ningxiang He, Xiaoting Sun, Mingyue Sun, Weiwei Wu, Huazhe Yang. Influence of additives on the purity of tetragonal phase and grain size of ceria-stabilized tetragonal zirconia polycrystals (Ce-TZP)// *Ceramics International*.2019. V.45. № 1. P. 394-400
15. J. Chevalier, S. Deville, E. Munch, R. Jullian, F. Lair Critical effect of cubic phase on aging in 3 mol% yttria-stabilized zirconia ceramics for hip replacement prosthesis//*Biomaterials*, 25 (2004), pp. 5539-5545
16. S. Ramesh, K. Y. Sara Lee, and C. Y. Tan. *Ceram. Int.* 44 (17), 20620 (2018), doi: 10.1016/j.ceramint.2018.08.216.
17. B. D. Flinn, A. J. Raigrodski, A. Singh, and L. A. Mancl. *J. Prosthet. Dent.* 112 (6), 1377 (2014), doi: 10.1016/j.prosdent.2014.07.015.
18. S. A. Salehi, K. Vanmeensel, A. K. Swarnakar, O. Van der Biest, and J. Vleugels *J. Alloys Compd.*, 495 (2), 556 (2010), doi: 10.1016/J.JALLCOM.2009.10.211.
19. Z. K. Wu, N. Li, C. Jian, W. Q. Zhao, and J. Z. Yan. *Ceram. Int.* 39 (6), 7199 (2013), doi: 10.1016/j.ceramint.2013.02.065.
20. A. Smirnov, H. D. Kurland, J. Grabow, F. A. Müller, and J. F. Bartolomé. *J. Eur. Ceram. Soc.* 35 (9), 2685 (2015), doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2015.03.006.
21. P. Kanellopoulos, C. Gill/Hydrothermal ageing of yttria-stabilised zirconia, sintered at 1300°C–1325°C: the effects of copper oxide doping and sintering time variations//*J. Mater. Sci.*, 37 (2002), pp. 5075-5082
22. S. Ramesh, C. Gill, S. Lawson/The effect of copper oxide on sintering, microstructure, mechanical properties and hydrothermal ageing of coated 2.5Y-TZP ceramics//*J. Mater. Sci.*, 34 (1999), pp. 5457-5467

23. F. Guo, P. Xiao/Effect of Fe₂O₃ doping on sintering of yttria-stabilized zirconia//J. Eur. Ceram. Soc., 32 (2012), pp. 4157-4164
24. L. Hallmann, P. Ulmer, E. Reusser, M. Louvel, C.H.F. Hämmerle/Effect of dopants and sintering temperature on microstructure and low temperature degradation of dental Y-TZP-zirconia//J. Eur. Ceram. Soc., 32 (2012), pp. 4091-4104
25. T. Sato, S. Ohtaki, T. Endo, M. Shimada/Improvement of thermal stability of yttria-doped tetragonal zirconia polycrystals by alloying with various oxides//Int. J. High Technol. Ceram., 2 (1986), pp. 167-177
26. M.M.R. Boutz, A.J.A. Winnubst, B.V. Langerak, R.J.M.O. Scholtenhuis, K. Kreuwel, A.J. Burggraaf.The effect of ceria co-doping on chemical stability and fracture toughness of Y-TZP//J. Mater. Sci., 30 (1995), pp. 1854-1862
27. F.F. Lange, G.L. Dunlop, B.I. Davis/Degradation during aging of transformation-toughened ZrO₂-Y₂O₃ materials at 250 °C//J. Am. Ceram. Soc., 69 (1986),pp. 237-240
28. Y. Takigawa, T. Shibano, Y. Kanzawa, K. Higashi/Effect of small amount of insoluble dopant on tetragonal to monoclinic phase transformation in tetragonal zirconia polycrystal//Mater. Trans., 50 (2009), pp. 1091-1095
29. H.C. Tan, C. Gill, S. Lawson/The effect of sintering additives on the hydrothermal and corrosive degradation of Y-TZP //Key Eng. Mater., 113 (1996), pp. 199-206
30. Y. Takigawa, T. Shibano, Y. Kanzawa, K. Higashi/Effect of small amount of insoluble dopant on tetragonal to monoclinic phase transformation in tetragonal zirconia polycrystal//Mater. Trans., 50 (2009), pp. 1091-1095
31. A. Samodurova, A. Kocjan, M.V. Swain, T. KosmačThe combined effect of alumina and silica co-doping on the ageing resistance of 3Y-TZP//bioceramics Acta Bio-mater., 11 (2015), pp. 477-487
32. Y. Takigawa, Y. Naka, K. Higashi/Effect of titania doping on phase stability of zirconia bioceramics in hot water//Mater. Trans., 48 (2007), pp. 332-336], [Y. Naka, Y. Takigawa, K. Higashi/Effect of dopant on phase stability of zirconia in hot water//Eng. Mater., 309–311 (2006), pp. 1231-1234

33. F. Zhang, K. Vanmeensel, M. Inokoshi, M. Batuk, J. Hadermann, B. Van Meerbeek, I. Naert, J. Vleugels 3Y-TZP ceramics with improved hydrothermal degradation resistance and fracture toughness//J. Eur. Ceram. Soc., 34 (2014), pp. 2453-2463
34. F. Zhang, K. Vanmeensel, M. Inokoshi, M. Batuk, J. Hadermann, B. Van Meerbeek, I. Naert, J. Vleugels 3Y-TZP ceramics with improved hydrothermal degradation resistance and fracture toughness//J. Eur. Ceram. Soc., 34 (2014), pp. 2453-2463
35. T. Kosmač, A. Kocjan Ageing of dental zirconia ceramics//J. Eur. Ceram. Soc., 32 (2012), pp. 2613-2622
36. J. Chevalier, S. Deville, E. Munch, R. Jullian, F. Lair Critical effect of cubic phase on aging in 3 mol% yttria-stabilized zirconia ceramics for hip replacement prosthesis//Biomaterials, 25 (2004), pp. 5539-5545
37. J. Eichler, J. Rödel, U. Eisele, M. Hoffman Effect of grain size on mechanical properties of submicrometer 3Y-TZP: fracture strength and hydrothermal degradation/J. Am. Ceram. Soc., 90 (2007), pp. 2830-2836
38. A. Paul, B. Vaidhyanathan, J.G.P. Binner Hydrothermal aging behavior of nanocrystalline Y-TZP ceramics//J. Am. Ceram. Soc., 94 (2011), pp. 2146-2152
39. Электронный ресурс tocoH.com
40. Двилис Э.С. Закономерности процессов консолидации порошковых систем при изменении условий деформации и физических воздействий: диссертация на соискание учёной степени доктора физико-математических наук: 01.04.07. – Томск, 2014. – 386 с.
41. ISO standard 13356:2008 Implants for surgery: ceramic materials based on yttria-stabilized tetragonal zirconia (Y-TZP). Geneva, Switzerland: ISO. Available at: <http://www.iso.ch/iso/en/prods-services/ISOstore/store.html>. Last accessed September 22, 2014.

42. Роман О.В., Скороход В.В., Фридман Г.Р. Ультразвуковой и резистометрический контроль в порошковой металлургии. Мн.: Выш.шк., 1989. 182 с.
43. Хорошун Л.П. Математические модели и методы механики стохастических композитных материалов // Прикладная механика. 2000. Т.36. № 10. С. 30-62
44. Niihara K., Morena R., Hasselman D.P.H. Evaluation of K_{Ic} of brittle solids by the indentation method with low crack-to indent ratios // Journal of Materials Science Letters. 1982. V.1. P.13-16.
45. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 02.12.2019).
46. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).
47. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).
48. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (дата введения: 01.03.2017).
49. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г.).
50. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (дата введения: 01.01.1989).
51. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности (дата введения: 01.11.2015).
52. ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация (дата введения: 01.07.1981).
53. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г.).

54. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий (дата введения: 15.06.2003).
55. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (дата введения: 08.05.2017).
56. ГОСТ 12.1.019-2017. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (дата введения: 01.01.2019).
57. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов (дата введения: 01.07.1983).
58. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны(дата введения: 13.02.2018)
59. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности(дата введения: 01.01.1977)
60. ГОСТ 12.1.033-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Термины и определения(дата введения: 01.07.1982)
61. Федеральный закон "О внесении изменений в Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 10.07.2012 N 117-ФЗ (последняя редакция)