

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

Институт *физики высоких технологий*

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование структуры и свойств алюмо-циркониевых керамических композиционных материалов

УДК 620.22 – 419.8:536:666.3

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Кондратенко Антон Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
М.н.с ЛФНФМ ИФПМ СО РАН	Дедова Е.С.	К.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Асс. каф. менеджмента	Грахова Е.А.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	Д.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Материаловедение в машиностроении	Панин В.Е.	Д. ф.-м.н., акад. РАН		

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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов

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

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Панин В. Е.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
4Б21	Кондратенко Антон Игоревич

Тема работы:

Исследование структуры и свойств алюмо-циркониевых керамических композиционных материалов

Утверждена приказом директора ИФВТ

Приказ № _____ от _____

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

Объект исследования данной работы – керамический композиционный материал $ZrO_2 - Al_2O_3$. Керамические композиты выделяются среди прочих материалов своей способностью работать при повышенных температурах. Однако существует проблема накопления внутренних напряжений в изделии что может привести к образованию трещины. Причина появления внутренних напряжений может быть разный коэффициент термического расширения (КТР) материалов композиции.

Необходимо уменьшить КТР керамики за счёт добавки вольфрамата циркония (материала с отрицательным КТР)

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Обзор литературы Объект и методика исследования Результаты исследования Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность
Перечень графического материала (12 слайдов)	1. Исследование структуры и свойств алюмо-циркониевых керамических композиционных материалов 2. Введение 3. Использование материалов с низким значением коэффициента термического расширения 4. Материалы и методики 5. Горячее прессование 6. Свободное спекание 7. Исходные материалы 8. Рентгеновские исследования 9. Дилатометрические исследования 10. Дилатометрические исследования 11. Список публикаций 12. Заключение
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Обзор литературы	Дедова Е.С.
Объект и методика исследования	Дедова Е.С.
Результаты исследования	Дедова Е.С.
Финансовый менеджмент	Е.А. Грахова асс. каф. менеджмента
Социальная ответственность	О.Б. Назаренко профессор каф.ЭБЖ
Название разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат - Abstract	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.02.2016
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
м.н.с. ЛФНФМ ИФПМ СО РАН	Дедова Е.С.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4621	Кондратенко Антон Игоревич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 83 с., 12 рис., 22 табл., 25 источников.

Ключевые слова: коэффициент теплового расширения (КТР), алюмо-вольфрамовые шпинели, вольфрамат циркония, композиционные керамические материалы.

Объектом исследования являются керамические композиционные материалы (ZrO_2 - 20 об% Al_2O_3) – ZrW_2O_8 .

Цель работы – изучение фазового состава керамики (ZrO_2 - 20 об% Al_2O_3) – ZrW_2O_8 .

В процессе исследования проводились количественный и качественный рентгеновские анализы, дилатометрические исследования.

В результате исследования установлен фазовый состав и тепловые свойства керамических композиционных материалов (ZrO_2 – 20 об % Al_2O_3) – ZrW_2O_8 , определено влияние вольфрамата циркония на структуру и свойства керамических композитов. Определено, что при повышении весовой доли вольфрамата циркония в керамике ZrO_2 – 20 об % Al_2O_3 наблюдается изменение фазового состава керамики, в частности появление низкотемпературной моноклинной модификации диоксида циркония и тугоплавких алюмо-вольфрамовых шпинелей. В зависимости от способа получения керамических композитов образуются разные типы шпинелей.

Область применения: исследуемые материалы могут широко применяться в машиностроительных отраслях производства

В будущем планируется продолжить исследования фазового состава и механические свойства керамики (ZrO_2 – 20 об % Al_2O_3) - ZrW_2O_8 .

Данная ВКР размещена в электронно-библиотечной системе ТПУ

ABSTRACT

Final qualifying work 83 p., 12 fig., 22 tab., 25 sources.

Keywords: coefficient of thermal expansion (CTE), aluminum-spinel tungsten, zirconium tungstate, composite ceramic materials.

The object of the study are ceramic composite materials ($\text{ZrO}_2 - 20 \text{ vol} \% \text{ Al}_2\text{O}_3$) - ZrW_2O_8 .

The purpose of the work - the study of the phase composition of the ceramics ($\text{ZrO}_2 - 20 \text{ vol} \% \text{ Al}_2\text{O}_3$) - ZrW_2O_8 .

The study carried out qualitative and quantitative X-ray analysis, dilatometry studies.

As a result of the study: set phase structure and thermal properties of ceramic composite materials ($\text{ZrO}_2 - 20 \text{ vol} \% \text{ Al}_2\text{O}_3$), influence of zirconium tungstate on the structure and properties of ceramic composites. It was determined that an increase in the proportion by weight of ceramic zirconium tungstate $\text{ZrO}_2 - 20 \text{ vol} \% \text{ Al}_2\text{O}_3$, a change phase composition of ceramic, in particular the appearance of a low temperature monoclinic zirconia and alumino-tungsten refractory spinels. Depending on the method for producing ceramic composites formed are different types of spinels.

Application: Investigated materials are widely used in machine-building industries.

In the future we plan to continue the study of phase equilibrium ceramics ($\text{ZrO}_2 - 20 \text{ vol} \% \text{ Al}_2\text{O}_3$) - ZrW_2O_8 .

This FQW is available in electronic-library system TPU

Оглавление

Введение.....	8
1 Обзор литературы	10
1.1 Традиционная керамика.	11
1.2 Техническая керамика.	13
1.3 Керамические композиционные материалы.	19
1.4 Тепловое поведение керамики.....	22
2 Объект и методы исследования	30
3 Результаты исследования	35
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	48
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	48
4.2 SWOT-анализ.....	49
4.3 Планирование работ по НТИ	52
4.4 Определение трудоемкости работ	53
4.5 Расчет сметы затрат на исследование	57
4.6 Определение научно-технического уровня проекта	62
5 Социальная ответственность	68
5.1 Производственная безопасность.....	68
5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов	70
5.2 Экологическая безопасность.....	72
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	73
5.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
Заключение.....	77
Результаты научной работы	80
Список литературы	81

Введение

Одно из главных направлений материаловедения – создание новых материалов. Свойства новых материалов должны отвечать требованиям современного машиностроения. Материал должен работать при экстремальных условиях и при этом сохранять свою работоспособность на протяжении всего жизненного цикла. Группа материалов, удовлетворяющая на сегодняшний день этим требованиям – композиты.

Керамика является одной из перспективных групп материалов в сфере создания композитов, работающих при высокой температуре. Такие свойства керамики как: термостойкость, сопротивление коррозии и эрозии позволяют ей эксплуатироваться в агрессивных средах.

Однако при эксплуатации в агрессивных средах, например, при больших перепадах температуры, композиционные материалы могут выйти из строя раньше положенного срока. Причиной тому является накопление внутренних напряжений в материале, и их следствие – образование трещин. Можно предполагать, что внутренние напряжения образуются в следствии разного значения КТР материалов композиции. Одно из решений данной проблемы – создание композиционного материала с наполнителем, компенсирующим термическое расширение.

Вольфрамат циркония – керамический материал с отрицательным линейным КТР ($\alpha = -9 \cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$) в широком диапазоне температур от -273 до 770°C [1,2]. Благодаря данному свойству, этот материал можно применять как компенсатор теплового расширения в композите.

Метод получения композита также влияет на его конечные свойства. При разных способах получения композиционного материала, возможны разные фазовые превращения, это может послужить причиной непостоянства химического состава. На данный момент не представлено работ по фазовому равновесию керамики ZrO_2 - 20 об% Al_2O_3 .

Цель данной работы: изучение фазового состава керамики (ZrO_2 - 20 об% Al_2O_3) – ZrW_2O_8 . Для успешной реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) получение композиционных материалов (ZrO_2 - 20 об% Al_2O_3) – ZrW_2O_8 методом горячего прессования и свободного спекания;
- 2) изучение структуры, фазового состава и тепловых свойств (коэффициент термического расширения) керамик
- 3) установление влияния вольфрамата циркония на фазовый состав и свойства керамик
- 4) установление взаимосвязей между структурой композита и способом получения.

1 Обзор литературы

Керамика – материал состоящий преимущественно из не металлических соединений, а также из соединений металл-неметалл. Керамику можно получать традиционной технологией (формование, сушка, спекание), а также более современными способами (горячее прессование). Сырьё для керамики может быть, как природное (глины, каолины и т.д.), так и искусственное (окиси, титанаты и пр.)

Керамические материалы как правило разделяют по элементному составу и по применению.

Классификация керамики по химическому составу:

1. Оксидная керамика – керамика, состоящая из оксидов: алюминия, циркония, иттрия, кальция и титана и др. Также оксидной керамикой можно назвать механические смеси такие как: $ZrO_2-Al_2O_3$ и др., твердые растворы $ZrO_2-Y_2O_3$ и др.

2. Безоксидная керамика – соединения с карбидами, боридами, нитридами и т.п. Этот класс керамики отличается своей высокой температурой плавления и твёрдостью.

Керамику можно также классифицировать по назначению:

1. Керамика для химической промышленности (высокая устойчивость к кислотам, щелочам, расплавам).

2. Строительная керамика (высокая прочность и плотность, пористость или образование стекло-фазы не допустимо).

3. Техническая керамика (применение – обработка резаньем металла, детали в двигателях, характеризуется высокой твёрдостью, устойчивостью к температурам и износостойкостью).

4. Огнеупоры (характеризуются высокой термостойкостью).

Однако стоит сказать, что общепринятой классификации керамики пока нет, так что можно увидеть разнообразные варианты классификаций.

1.1 Традиционная керамика

Как правило керамические материалы делят на «традиционные» и «новые». Традиционная керамика может быть использована в: строительстве, металлургии, химической промышленности. «Новая керамика» вбирает в себя использование керамических материалов в машиностроении, авиационной, космической промышленности как конструкционного и инструментального материала, а также в электронике.

Следует сказать, что традиционная и электротехническая керамика - в основном оксидная, тогда как, новая керамика и некоторые виды специальной керамики, могут относиться к обеим группам.

Общая схема технологии как традиционной, так и новой керамики состоит из 3-х основных этапов:

1. Получение исходного материала.
2. Придание изделию формы (формование).
4. Спекание.

В зависимости от будущего применения керамики, могут быть использованы различные способы получения исходного сырья, формования и обжига. При создании традиционной керамики как правило используется природное сырье (глины, полевого шпата, пески), подвергнутые необходимой обработке. Такой как, например, измельчение и смешивание компонентов. Глинистые материалы сперва обрабатываются в глинорезательных машинах, подсушиваются и затем измельчаются в дезинтеграторах. Для измельчения непластичных добавок – отощителей, плавней могут быть использованы различные дробилки, вибрационные и шаровые мельницы. За измельчением порошков, следует их просеивание через сита для отсеивания не нужных фракций. Перед формованием исходная смесь должна быть хорошо перемешана.

Для формования изделий как правило, используются способы полусухого прессования и формования пластичных масс. Прессование

осуществляется в металлических пресс-формах или на оборудовании для гидростатического прессования. В первом случае достигается высокая производительность процесса, но плотность изделий может составлять до 50% от теоретической, во втором случае – возможность получения равноплотных изделий сложной конфигурации, однако производительность ниже чем в первом. Полусухое прессование может быть использовано в технологии огнеупоров, электрофарфора, стеновой керамики.

Одной из распространённых технологий традиционной керамики, можно считать пластическое формование. Пластическое формование можно подразделять на:

- 1) выдавливание - используется для производства кирпича, труб, некоторых изделий технической керамики;
- 2) штампование и вытачивание - используется при необходимости получить у изделия более точные размеры.

При всех методах сырьё (глина, добавки) содержит воду в количестве 30–50% об.

Метод шликерного литья широко применяется как в технической, так и в традиционной керамики. Различают несколько способов литья:

- 1) горячее литье с использованием термопластичных связующих;
- 2) литье в пористые формы водных шликеров;
- 3) литье пленок из шликеров на полимерных связках;

Литье термопластичных шликеров можно считать более современным способом. Его используют для изготовления керамических лопаток газовых турбин, деталей ракетных двигателей.

В производстве традиционной керамики значительная операция - сушка отформованных изделий так как, они содержат большое количество временной связки (до 25%). Сушка может происходить в туннельных сушилках с воздушным, газовым или паровоздушным теплоносителем. Количество влаги после сушки не должно превышать 1–3%. Время сушки зависит от формы изделия, может продолжаться до нескольких суток.

Спекание является финальной операцией в технологии получения керамики. В процессе спекания керамики протекают процессы: изменение размеров отформованного изделия (усадка или рост), полиморфные превращения, химические реакции, стеклообразование или кристаллизация. Движущая сила спекания - избыточная поверхностная энергия на границе раздела фаз порошковой системы. Спекание может быть: жидкофазное и твердофазное. Жидкофазное спекание - компактирование происходит из-за сил поверхностного натяжения образующейся жидкой фазы. Твердофазное спекание - перенос вещества происходит за счет диффузии дефектов кристаллической решетки, главным образом вакансий. Основными признаками спекания керамики являются повышение плотности и механической прочности изделия.

Процесс обжига можно описать тремя периодами – нагрев, выдержка при необходимой температуре и охлаждение. Для обжига керамики используются печи разнообразных типов и конструкций.

1.2 Техническая керамика

Класс объединяющий большое количество керамических материалов, различных по химическому составу и по применению. Однако, существуют признаки, обобщающие всю техническую керамику, отличающие их от классических видов керамики:

1. Использование искусственно полученного сырья, некоторые соединения просто невозможно получить иначе.
2. Применение современных способов получения, в первую очередь порошковых технологий.

Нельзя не сказать, что свойства технической керамики, а именно механической, в главной степени зависят от способа получения исходных компонентов, формования и спекания изделий. По этой причине, материалы одного и того же состава, но созданные разными методами, имеют

качественно разные физико-химические и механические характеристики, а также разные сферы применения.

Однако стоит помнить, что техническая керамика - относительно новый вид материалов, в следствии чего, объём ее производства, и стоимость значительно меньше традиционных металлических и полимерных материалов. Впрочем, нельзя не сказать, что проводимые исследования продвигают керамику на более популярное место в сравнении с другими материалами.

В технической керамики, можно выделить группы:

1. Инструментальная керамика.
2. Конструкционная керамика.
3. Керамика с особыми свойствами.
4. Электрорадиотехническая керамика.

Безоксидная керамика – поликристаллические материалы на основе соединений неметаллов III–VI групп периодической системы элементов, исключая кислород, друг с другом и так называемыми переходными металлами, обладающими недостроенными электронными слоями. Основные представители данной керамики – WC, TiC, BN, MoSi. Безоксидная керамика обладает высокой твёрдостью (20 – 35 ГПа), температурой плавления (свыше 3000 °C). Применение у бескислородной керамики может быть самое разное. Это могут быть огнеупоры, сухая смазка для подшипников, материалы для синтезирующих камер в химической промышленности, инструменты для обработки металла резанием использование в технологии создания реактивных двигателей [3].

Одна из часто используемых керамик – карбид вольфрама. Данное соединение очень редко используется в чистом виде, так как имеет высокую температуру спекания. Однако подобная керамика находит своё применение в металлообработке. Для получения изделий из керамики на основе карбидов используется связка – кобальт. Популярные марки твёрдых сплавов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Марки сплавов на основе карбида вольфрама и их свойства [3]

Марка	λ , Вт/(м*К)	ЛКТР, * 10^{-6} K^{-1}	$\sigma_{\text{изг}}$, МПа
ВК4	38–80	3,4–4,7	1270–1370
ВК6	46–75	3,6–5,0	1320–1660
ВК8	54–71	4,8–5,5	1370–1810
ВК10	67–69	3,8–6,0	1470–1910
ВК15	41–66	4,7–6,0	1615–2155

Оксидная керамика – соединения элементов с кислородом. Типичные представители Al_2O_3 , ZrO_2 , SiO_2 , MgO и др. Данная группа характеризуется высокой температурой плавления, высоким сопротивлением коррозии.

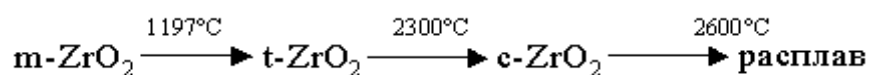
Оксид алюминия выделяется из прочих материалов своей повышенной температурой плавления (2050°C), химической стойкостью к расплавам щелочей и кислотам. Оксид алюминия может существовать в трёх модификациях: α – самая распространённая модификация, встречается в природе, её называют корундом, также есть нестабильные модификации β – гексагональная и γ – кубическая, эти модификации переходят в корунд при 1500°C . Свойства керамики на основе оксида алюминия представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Свойства корундовой керамики [4]

Плотность, г/см ³	3.8 – 3.9
Трещиностойкость, МПа*м ^{1/2}	3 – 3.5
Коэффициент теплопроводности, Вт/м*град	25 - 30
Модуль упругости, ГПа	370 - 380
Предел прочности при изгибе, МПа	300 - 350
Коэффициент термического расширения 10 ⁻⁶ *К ⁻¹	8 - 9
Микротвердость по Виккерсу, ГПа	19 - 21

Корундовая керамика используется в металлургической промышленности при создании печей, в химической промышленности, а также в электро- и радиотехнике.

Также интерес представляет керамика на основе диоксида циркония. Данное соединение может существовать в трёх модификациях: моноклинной (низкотемпературной), тетрагональной и кубической.



Стабильной является только моноклинная модификация. Однако она менее прочная, чем остальные. Переход от моноклинной к тетрагональной фазе происходит по мартенситному механизму и сопровождается уменьшением объёма до 5%. Для получения тетрагональной модификации ZrO_2 , необходимо её стабилизировать. Распространённые стабилизаторы – Y_2O_3 , MgO , добавка может варьироваться от 3 до 6%. Стабилизаторы не дают расти тетрагональным частицам диоксида циркония, в следствии имеем устойчивую тетрагональную структуру.

Стабилизированный диоксид циркония обладает высокой прочностью, трещиностойкостью, хорошим сопротивлением коррозии и эрозии. Особенностей этой керамики может считаться эффект трансформационного

упрочнения. Суть этого эффекта в контроле полиморфного $t - m$ превращения диоксида циркония. В процессе эксплуатации, в материале может появиться микротрещина. Трещина, приближаясь к тетрагональным зёрнам диоксида циркония, отдаёт им часть своей энергии, а также необходимый объём для перехода в моноклинную сингонию. В результате, трещина оказывается сжатой в точке роста, что не даёт ей вырасти. Диоксид циркония вводят во многие керамические материалы для увеличения их вязкости. Эффект трансформационного упрочнения представлен на рисунке 1.

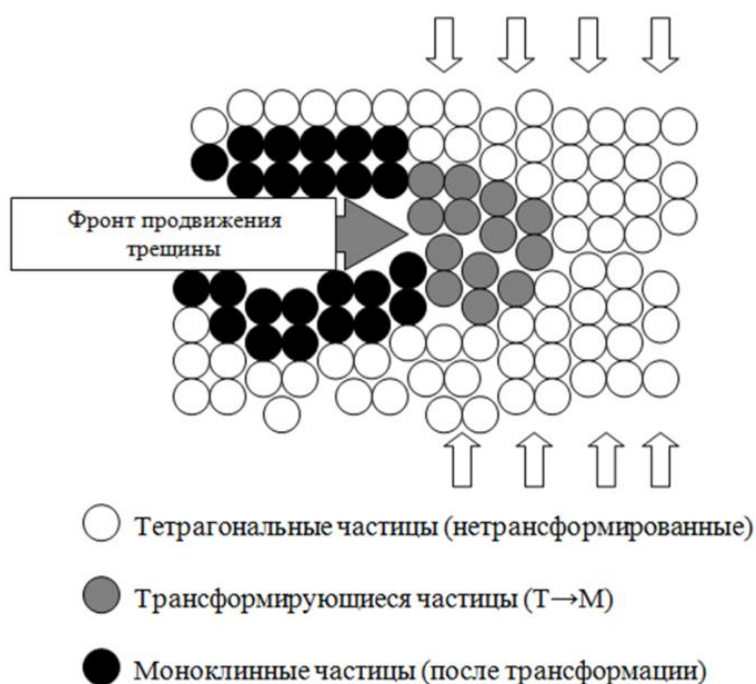


Рисунок 1 – Эффект трансформационного упрочнения

Свойства циркониевой керамики представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Свойства циркониевой керамики [4]

Плотность, г/см ³	6
Трещиностойкость МПа*м ^{1/2}	8 - 10
Коэффициент теплопроводности, Вт/м*град	2 - 3
Модуль упругости, ГПа	200 - 210
Предел прочности при изгибе, Мпа	750 - 1050
Коэффициент термического расширения 10 ⁻⁶ *К ⁻¹	10 - 11
Микротвердость по Виккерсу, ГПа	12 - 13

Керамика на основе диоксида циркония применяется в технологии создания газотурбинных двигателей, узлов трения, уплотнительных колец насосов, элементов запорной арматуры, форсунок распылительных камер, фильер для протяжки проволоки, режущего инструмента. Также керамика на основе ZrO₂ находит применение в медицине для изготовления имплантантов в костные ткани.

Многообразие свойств керамики, вкупе с экономически выгодным способом получения (относительно производства металлов) даёт возможность заменять некоторые конструкционные материалы, в частности это могут быть металлы. Основные достоинства керамики перед металлами включают в себя:

Производство керамики нанесёт наименьший вред окружающей среде по сравнению с металлургическим производством, так же оно более безопасно для человека.

Керамика имеет более высокой коррозионной стойкостью и устойчивостью к радиационным воздействиям относительно металлических материалов, обеспечивающее долговечность керамических конструкций в агрессивных средах.

Керамические материалы обладают высокой биосовместимостью по сравнению с металлами и полимерами, что определяет их применение в качестве имплантатов искусственных органов, конструкционных материалов в биотехнологии и генной инженерии.

Перечисленные особенности показывают, что керамика может применяться для создания новейших материалов. Для этого возможно регулировать химический и фазовый состав керамик.

1.3 Керамические композиционные материалы

Керамика обладает многими свойствами, позволяющими конкурировать с металлами. Однако, нельзя забывать и о недостатках. Одним из важных недостатков керамических конструкционных материалов является пористость. Решить данную проблему помогает создание композиционных материалов.

Композиционный материал $ZrO_2 - Al_2O_3$, выделяется среди прочих керамик своими механическими характеристиками, коррозионной стойкостью, устойчивостью к действию большинства кислот и щелочей, способностью работать при высоких температурах. Данные свойства позволяют эксплуатировать данную керамику в агрессивных средах. Свойства керамики представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Свойства керамики $ZrO_2 - Al_2O_3$ [4]

Плотность, г/см ³	4.5
Трещеностойкость МПа*м ^{1/2}	6 - 8
Коэффициент теплопроводности, Вт/м*град	20 - 22
Модуль упругости, ГПа	310 - 340
Предел прочности при изгибе, Мпа	550 - 750
Коэффициент термического расширения $10^{-6} \cdot K^{-1}$	8.5 – 9.5
Микротвердость по Викерсу, ГПа	15 - 17

Одним из преимуществ керамических композитов перед металлами и полимерами является биосовместимость керамики. Следовательно, данная группа материалов получает широкий спектр возможностей в протезировании. В настоящее время, уже появилась возможность воспроизводить человеческие кости из керамики, которые будут приняты организмом без отторжения, тогда как лишь очень малая часть людей способна нормально сосуществовать с металлическими протезами.

Керамические композиционные материалы на основе керамики по виду наполнителя можно разделить на металлокерамику, полимерную керамику и керамические композиты.

Металлокерамика — искусственный материал, представляющий собой гетерогенную композицию металлов или сплавов с неметаллами (керамикой). Кроме основных компонентов, в состав металлокерамики возможно добавлять различные элементы, улучшающие её свойства. Например, при добавлении свинца улучшается износостойкость и сопротивляемость заеданию; при добавлении меди обеспечивается хороший отвод тепла от поверхностей трения, увеличивается пластичность, а также уменьшается необходимое давление при спекании керамики; добавление абразивных не

металлических материалов, таких как кремний или наждак увеличивает коэффициент трения.

Одной из главных проблем эксплуатации фрикционных металлокерамических изделий на медной основе при низких температурах – схватывание металлокерамики с металлическим элементом. Это может привести к повышенной износостойкости, а также к глубинному выкрашиванию материала и, как следствие, повреждение фрикционных поверхностей. Решением указанной проблемы является использование смазки или введение баритов (BaSO_4) в металлокерамику [6].

Полимерная керамика – один из уникальнейших материалов современности, который также называют искусственным камнем, или литьевым камнем. Одно из интереснейших соединений полимерной керамики – материал, полученный наполнением керамической матрицы не металлическими элементами, углеродом и кремнием. Полученные соединения представляют собой полимерные цепи, образованные атомами углерода и кремния, в которые встроены атомы циркония. Мельчайшие кластеры циркония, равномерно распределенные в керамической матрице, придают особую прочность новому материалу. Из керамических полимеров можно изготавливать прочный каркас для композиционного материала и выпускать изделия практически любой формы. С другой стороны, раствором полимера можно пропитывать пористые изделия, в том числе детали бурового оборудования. После термической обработки такие детали будут обладать повышенной износостойкостью по сравнению с традиционными графитовыми деталями [7].

Данная группа материалов имеет длительный срок службы (более 20 лет), отличается прочностью и высокими эксплуатационными характеристиками. Эти материалы просты в уходе и легко поддаются ремонту, если на поверхности появились небольшие дефекты или другие механические повреждения [8].

1.4 Тепловое поведение керамики

Керамика может работать при высоких температурах (свыше 2000 °С). Важными тепловыми характеристиками можно считать – тепловое расширение материала, низкая теплопроводность и термическая стойкость. На термические характеристики керамики влияет её структура. При наличии в керамики мелкозернистой структуры, можно говорить об её высоком термическом сопротивлении по сравнению с силикатной керамикой.

Способы изучения термического сопротивления керамики:

циклическое изменение температур керамики до её полного разрушения;

уменьшение необходимых механических характеристик после термического циклования;

определение граничной температуры, при которой начинает происходить постоянное уменьшение необходимых свойств.

Керамика может разрушаться по причине накопления в ней внутренних напряжений. Внутренние напряжения являются следствием воздействия разных факторов на материал. Одним из таких факторов может являться разное термическое расширение материалов в течении всего срока его эксплуатации.

Термостойкость можно численно оценить с помощью подсчёта коэффициента термической стойкости:

$$K = \lambda \sigma / c \gamma \alpha E, \quad (1)$$

где λ — теплопроводность; σ — предел прочности при разрыве; c — теплоемкость; γ — плотность; α — термический коэффициент линейного расширения; E — модуль упругости.

Из (1), можно сказать что, с увеличением коэффициента линейного расширения, модуля упругости и кажущейся плотности термическая

стойкость снижается. Следовательно, контролируя тепловое расширения материала, возможно увеличить термостойкость керамики.

Создание композиционных материалов можно считать одним из способов устранения проблемы с понижением теплового расширения керамики. В таблице 5 представлены значения КТР разных материалов.

Таблица 5 – Значения КТР некоторых материалов

Материал		КТЛР, $\cdot 10^{-6} \text{ C}^{-1}$
Металлы	Алюминий	22
	Сталь	13
	железо, чистое	12
Полимеры	Полиамид	110
	Полиэстер	123.5
	эпоксидная смола	55
Керамика	корунд, спеченный	6 – 11
	Кварц	0.8 – 1.4
	диоксид циркония	6.5 – 13

Как видно из таблицы, керамика имеет сравнительно низкий КТР, что даёт ей преимущество при создании композиционного материала с заданными тепловыми свойствами. Также целесообразно создание композиций с керамическими наполнителями.

Термическое расширение материалов может носить разный характер. Например, оксид алюминия расширяется в разных направлениях по-разному, что говорит об его анизотропном характере теплового расширения. Анизотропия теплового расширения в материалах снижает их срок службы, а также может стать причиной деградации необходимых свойств. Керамические материалы состоят из мелких кристаллитов, что возможно является причиной изотропного поведения термического расширения.

Для понижения коэффициента теплового расширения керамики необходимо создать композиционный материал с использованием такого наполнителя, который мог бы компенсировать тепловое расширение всего материала. Группа материалов способная компенсировать тепловое расширение: оксид кремния, титанат циркония, вольфрамат циркония, литиевая керамика и др.

Оксид кремния имеет низкое значение КТР в аморфном состоянии, при образовании кристаллической решётки, данное соединение не понизит КТР, может только увеличить.

В работе [9] для понижения КТР применялся материал титанат циркония, уменьшение КТР составило $(0.3 - 0.9) \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ в диапазоне температур 25 – 1000 °C.

Литиевая керамика имеет низкое значение КТР ($\alpha = -1.8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$), её так же возможно применять как компенсатор термического расширения материалов. В работе [10] после использования данного соединения КТР композита понизилось до $4.6 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

Вольфрамат циркония - керамика с необычными свойствами. Соединение образуется при атмосферном давлении с помощью реакции ZrO_2 и WO_3 - это метастабильная кубическая фаза, которая имеет отрицательные характеристики теплового расширения, а именно, сжимается в широком диапазоне температур при нагревании [11]. В отличие от большинства других керамик, демонстрирующих отрицательный КТР, КТР ZrW_2O_8 изотропен и имеет большую отрицательную величину ($\alpha = -9 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$) в широком диапазоне температур (-273 °C до 777 °C) [12]. Так же возможно формирование других фаз при высоком давлении.

Кубическая фаза вольфрамат циркония ($\alpha\text{-ZrW}_2\text{O}_8$) является единственной стабильной модификаций вольфрамата циркония и является, пожалуй, одной из наиболее изученных фаз данного материала, обладающего отрицательным коэффициентом теплового расширения. Поскольку структура является кубической, тепловое сжатие изотропно - одинаковой во всех

направлениях. В данный момент предпринимается множество попыток для выяснения причины отрицательного КТР на таком продолжительном промежутке температур.

Природа теплового сжатия вольфрамата циркония. Структура кубического вольфрамата циркония состоит из углового разделения ZrO_6 октаэдрических и тетраэдрических WO_4 структурных элементов рисунок 2. Расположение групп в структуре кубического ZrW_2O_8 аналогично простой структуре NaCl с ZrO_6 октаэдров в местах Na, и W_2O_8 групп на местах Cl. Элементарная ячейка состоит из 44 атомов, выравнивающих в простой кубической решетки Браве с длиной элементарной ячейки 9,15462 Å.

Октаэдры ZrO_6 лишь слегка искажаются от обычной конфигурации, и все атомы кислорода в данном октаэдре связаны симметрично. Кроме этого в структуре ZrW_2O_8 присутствуют два типа кристаллографически отличных тетраэдров WO_4 , которые формально не скреплены между собой атомом кислорода. Эти два типа тетраэдров отличаются как длиной связей W – O, так и углами. WO_4 тетраэдры искажены от правильной формы, так как один атом кислорода не ограничен (атом, который связан только с центральным атомом вольфрама (W)), и три других атома кислорода, каждый из которых связан с атомом циркония.

Структура имеет $P2_13$ пространственную группу симметрии при низких температурах. При более высоких температурах, центр инверсии вводит разупорядочение ориентации групп вольфрамата, и пространственных групп выше температуры фазового перехода (~ 180 °C).

Октаэдры и тетраэдры связаны между собой путем обмена атомами кислорода. Структурные элементы связаны между собой общим атомом кислорода. При этом структурные элементы могут поворачиваться вокруг атомов кислорода без искажения формы многогранников. Согласно [13], данный поворот является основной причиной, которая приводит к отрицательному тепловому расширению.

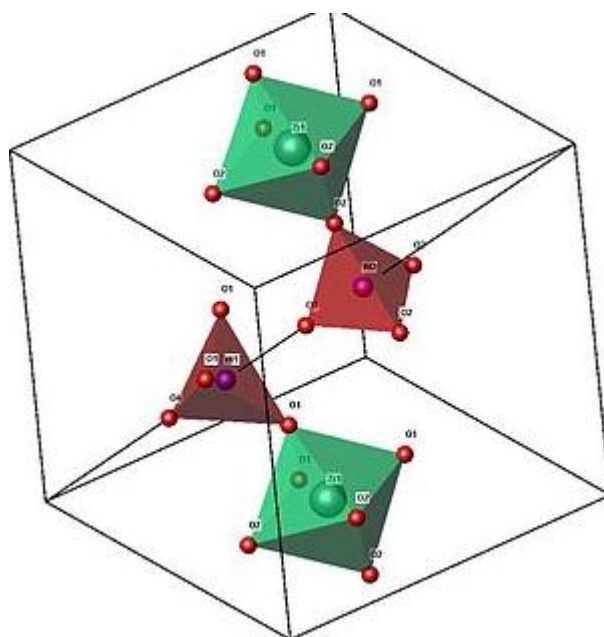


Рисунок 2 – Расположение кислорода (шарики в вершинах) в соединении циркония и вольфрама.

Применение вольфрамата циркония в качестве добавки в композит с целью понижения теплового расширения, делает возможным создание материала с заданным термическим расширением.

Получение керамических композиционных материалов с добавкой вольфрамата циркония состоит из:

- 1) смешивания исходных компонентов в определённом соотношении
- 2) статического прессования исходной смеси
- 3) отжига получившегося образца с последующей закалкой

В качестве исходного материала возможно использование таких соединений как: циркониевые оксиды и соли, алюмо-вольфрамовые соединения. При использовании свободного соотношения исходных порошков диоксида циркония и окиси вольфрама, возможно получения материала $ZrO_2 - ZrW_2O_8$ [14, 15].

Вольфрамат циркония, полученный золь-гель методом состоит из мелкодисперсных частиц, что даёт ему некоторые преимущества по сравнению с крупнодисперсным порошком полученным методом твердофазного спекания. Одно из преимуществ мелкодисперсного

вольфрамата циркония – образование равномерной мелкодисперсной структуры в композиционном материале при его добавлении.

Сведение термического расширения материала к нулю возможно, при добавке вольфрамата циркония 26% полученного золь-гель методом. Использование вольфрамата циркония полученного твердофазной реакцией потребует 35% порошка [16].

От массовой доли вольфрамата циркония в композите, зависит КТР материала: чем больше составит добавка вольфрамата циркония, тем меньше будет КТР материала.

Для определения коэффициента теплового расширения композиционного материала используется правило смеси.

$$\alpha_c = \sum \alpha_i V_i \quad (2)$$

где α_i – тепловое расширение каждого компонента, V_i – объемная доля компонента.

Однако правило смеси не учитывает: появление новых фаз в материале, разного рода превращения компонентов композиции, особенности структуры материала. Наличие данных не учитываемых факторов в материале делает тепловое расширение более непредсказуемым, а его определение более сложным.

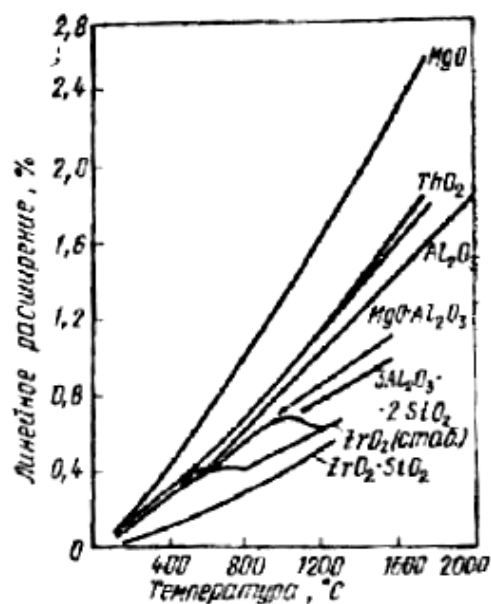


Рисунок 3 – Зависимость изменения линейного расширения керамик от температуры

Применение материалов с низким КТР. Коэффициент теплового расширения можно считать одним из главнейших параметров печатной платы. Проблема в том, что, при эксплуатации керамического корпуса (КТР, $6-7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) на обычной печатной плате (КТР, $17-18 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) разница в тепловом расширении приведёт к появлению касательных напряжений в паяных соединениях (корпуса с платой). Тепловые циклические испытания показывают, что это может привести к появлению трещин в пайках. И как следствие, появится прерывистый разрыв в электрической цепи. Это совершенно недопустимо в высококачественных электронных приложениях.

Разработка покрытий для ЭАС (электроакустическая стимуляция). Разработки материалов с малыми значениями КТР начались уже при начале серийного производства ЭАС. Проблема заключается в магнитных потерях. Материалы с низким коэффициентом термического расширения могут уменьшить удельные магнитные потери на величину около 3%. В настоящее время применяется материал — алюмо-фосфат с дисперсными добавками кремния.

Также материалы с низким значением КТР могут использоваться в любых отраслях промышленности где необходимо точное соблюдение размеров изделий. Примером может послужить космическая отрасль, в которой материалы подвергаются постоянным большим перепадам температуры (тёмная / светлая сторона).

Отсутствие термического расширения материалов или хотя бы его фиксированное значение позволит создавать более точные конструкции, детали с повышенным сроком службы, даст возможность усовершенствовать уже существующие механизмы, а также откроет новые горизонты для исследования и проектировки.

2 Объект и методы исследования

Для получения композиционного материала ($\text{ZrO}_2 - 20\%\text{Al}_2\text{O}_3$) – ZrW_2O_8 в качестве исходных материалов были использованы:

- порошковая смесь оксида алюминия и диоксид циркония $\text{ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$ – масс $20\%\text{Al}_2\text{O}_3$ (фирма TOSOH, Япония);
- наноразмерный вольфрамата циркония (ZrW_2O_8) полученный гидротермальным методом [1].

Доля вольфрамата циркония в исходной смеси составляла 10, 25 и 55 вес. %.

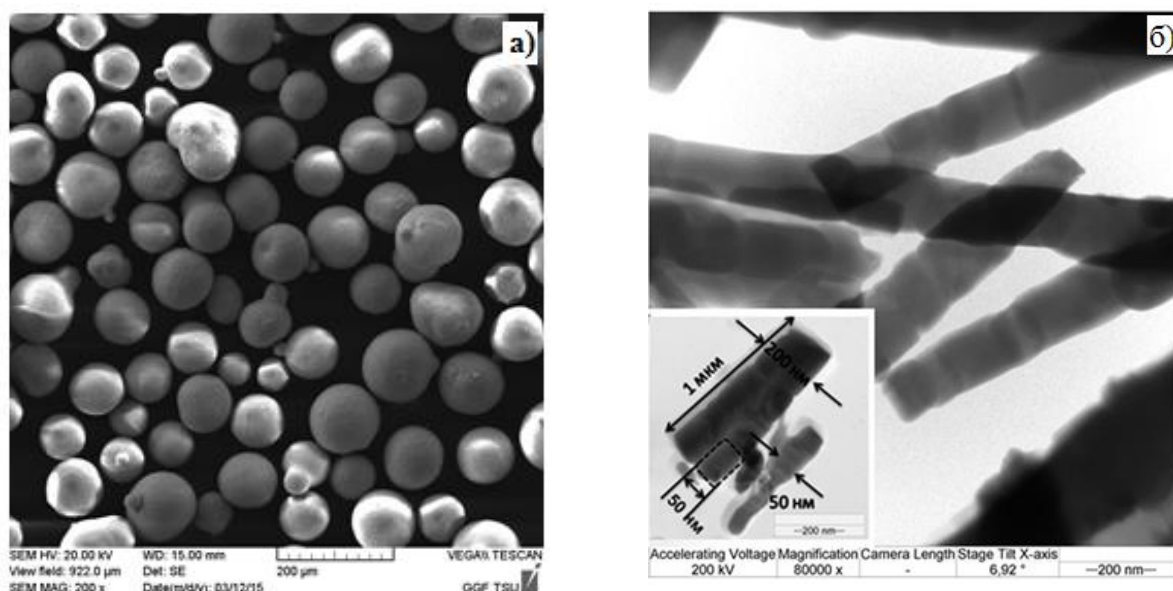


Рисунок 4 – РЭМ изображения (а) смеси порошков диоксида циркония и оксида алюминия, (б) нанокристаллического порошка вольфрамата циркония

Исходная смесь порошков диоксида циркония и оксида алюминия представляла собой сферические частицы, средний размер составлял 80 мкм. Распределение по размерам носило бимодальный характер. Порошок вольфрамата циркония представлял собой вытянутые сросшиеся и одиночные частицы блочной структуры, средний размер частиц в длину составлял 5 мкм, в ширину 0.5 мкм.

Исходные порошки перемешивались в планетарной мельнице АГО – 2 в течение 1 минуты для равномерного распределения вольфрамата циркония в смеси. Смешивание проводилось в барабанах с керамическими вкладышами с использованием корундовых меющих тел.

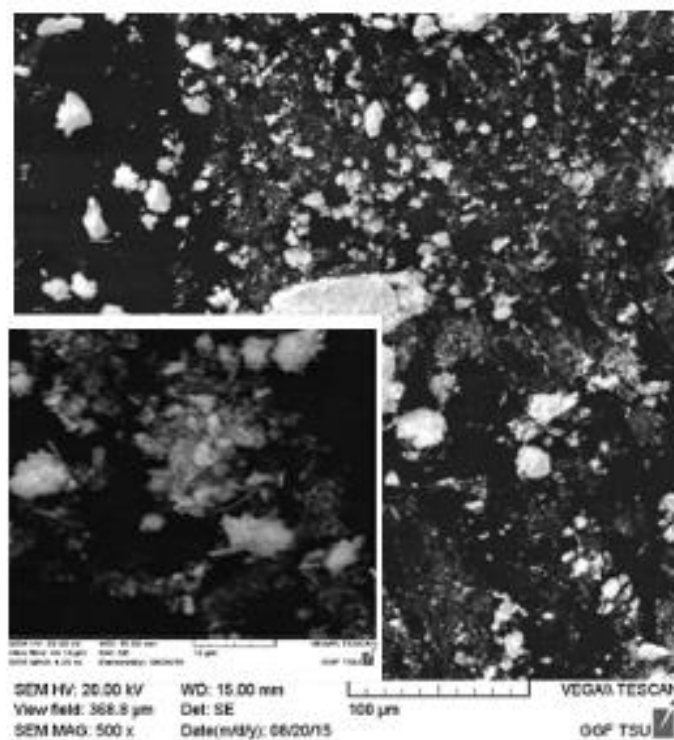


Рисунок 5 – Смесь исходных порошков после перемешивания в течение 1 минуты

После перемешивания в исходной смеси наблюдалось разбиение гранул и образование агломератов не регулярной формы ($d = 31$ мкм) состоящих из частиц высокодисперсного порошка и вытянутых частиц вольфрамата циркония.

Перемешанная смесь порошков подвергалась горячему прессованию в графитовой пресс-форме при температуре 1200 °C с выдержкой 10 минут в защитной среде аргона, скорость нагрева 120 °C/мин. Закалка до комнатной температуры в течении 10 минут. Технологическая схема получения керамических композиционных материалов путем горячего прессования представлена на рисунке 6.

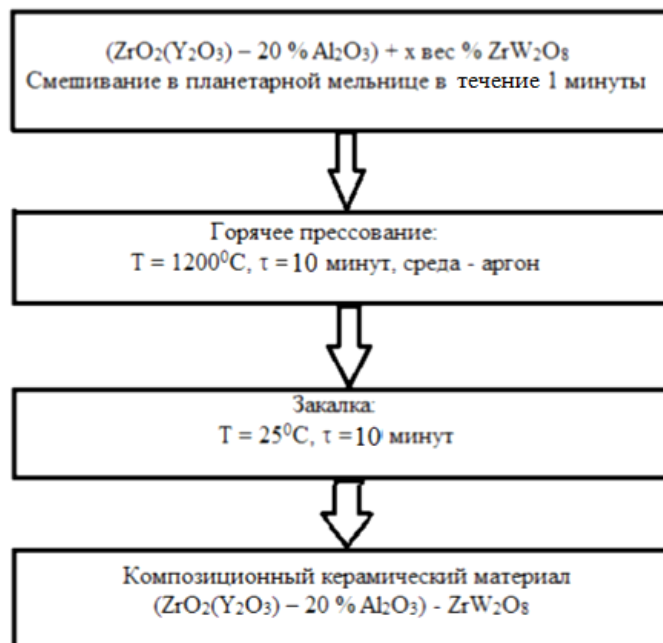


Рисунок 6 – Технологическая схема получения керамических композиционных материалов методом горячего прессования

Вторым методом получения керамических композиционных материалов было – свободное спекание. Исходная смесь подвергалась одноосному холодному прессованию в стальных пресс-формах ($d = 7 \text{ мм}$) при давлении 10 МПа, с последующим спеканием в высокотемпературной муфельной печи при температуре 1200 °C в течение 1 часа. Скорость нагрева 300 °C/час. Охлаждение проводилось вместе с печью. Технологическая схема получения керамических композитов $(\text{ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3) - \text{ZrW}_2\text{O}_8$ спеканием на воздухе представлена на рисунке 7.



Рисунок 7 - Технологическая схема получения керамических композиционных материалов методом свободного спекания

Морфология исходных порошков изучалась на растровом электронном микроскопе Vega Tescan и электронном микроскопе JEM JOEL – 2010 в режиме просвечивающей микроскопии. Значение ускоряющего напряжения, тока первичного пучка и контраст изображений определялись качеством полученных снимков.

Рентгеновские исследования проводились дифрактометре типа ДРОН с $\text{CuK}\alpha$ излучением, съёмка велась с шагом 0.05° , экспозиция 5с. в диапазоне углов от 17° до 80° . Идентификация фаз проводилась путем сопоставления дифракционных максимумов с картами базы данных ASTM.

Дилатометрические исследования проводились на дилатометре DIL 402 C в среде аргона в температурном интервале от -150°C до 500°C и кварцевом механическом дилатометре в диапазоне температур от 25°C до 800°C на воздухе.

Значение коэффициента термической расширения определялся графическим способом из зависимости относительного удлинения образцов от температуры. Полученные зависимости « $\Delta L/L_0 - T$ » аппроксимировались линейными функциями с коэффициентом корреляции близким к 1. Тангенс

угла наклона аппроксимирующей линии к оси абсцисс соответствовал коэффициенту A в уравнении прямой $y = Ax + B$, определяющий величину коэффициента термического расширения.

Расчёт значений коэффициента термического расширения полученных керамических композитов проводился по правилу смеси с использованием литературных значений КТР исходных компонентов:

$$\alpha_c = \sum \alpha_i V_i \quad (2)$$

где α_i – величина коэффициента термического расширения каждого компонента, V_i – объемная доля компонента.

3 Результаты исследования

Рентгенограммы керамики $\text{ZrO}_2 - 20 \% \text{Al}_2\text{O}_3$ и керамических композитов с добавлением вольфрамом циркония, полученных методом горячего прессования, представлены на рисунке 8.

Видно, что фазовый состав керамики $\text{ZrO}_2 - 20 \% \text{Al}_2\text{O}_3$ был представлен высокотемпературной тетрагональной модификацией диоксида циркония, а также орторомбической α -модификацией оксида алюминия.

Введение 10 вес % вольфрамата циркония привело к изменению фазовый состав композитов. На рентгенограмме, принадлежащей керамике ($\text{ZrO}_2 - 20 \% \text{Al}_2\text{O}_3$) – 10% ZrW_2O_8 , наблюдалось резкое понижение интенсивностей рефлексов, принадлежащих тетрагональной модификации диоксида циркония. При этом в составе композита формировалась моноклинной модификации диоксида циркония. Согласно данным количественного анализа, в составе композита ($\text{ZrO}_2 - 20 \% \text{Al}_2\text{O}_3$) – 10% ZrW_2O_8 содержание моноклинной модификации ZrO_2 составило 66%, тетрагонального диоксида циркония – 28%, оксида алюминия – 9 %.

При увеличении концентрации вольфрамата циркония до 25%, интенсивность пиков тетрагональной модификации диоксида циркония снижалась. Кроме этого на рентгенограмме фиксировались рефлекс, принадлежащие алюмо-вольфрамовой шпинели AlWO_3 . Результаты количественного анализа показали, что содержание шпинели AlWO_3 составило 18%, оксида алюминия – 8 %, моноклинной и тетрагональной фаз диоксида циркония – 58 и 15%, соответственно.

Дальнейшее повышение содержания вольфрамата циркония до 55 вес % привело к исчезновению рефлексов оксида алюминия на дифрактограммах. При этом на рентгенограммах регистрировались пики, соответствующие шпинели AlWO_4 .

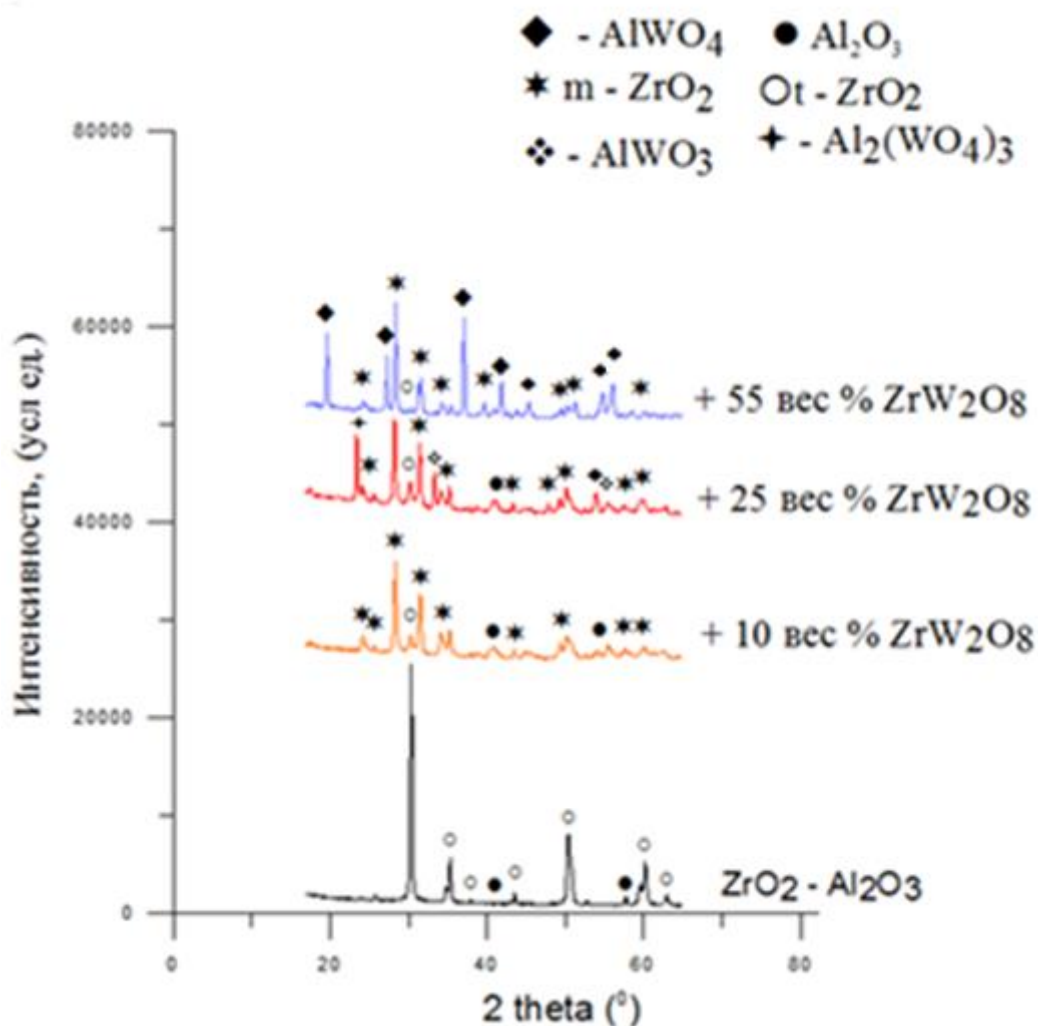


Рисунок 8 - Рентгенограмма керамики $(\text{ZrO}_2 - 20 \% \text{Al}_2\text{O}_3) - \text{ZrW}_2\text{O}_8$, полученной методом горячего прессования

Рентгенограммы керамики и керамических композиционных материалов $(\text{ZrO}_2 - 20 \% \text{Al}_2\text{O}_3) - \text{ZrW}_2\text{O}_8$, полученных методом свободного спекания, представлены на рисунке 9.

Фазовый состав спечённой керамики представлен тетрагональной модификацией диоксида циркония, орторомбической сингонией оксида алюминия. Кроме этого на рентгенограммах наблюдались пики (-111) и (111) моноклинной модификации диоксида циркония и оксида вольфрама (IV)

На рентгенограмме, соответствующей композиту $(\text{ZrO}_2 - 20 \% \text{Al}_2\text{O}_3) - 10 \text{ вес \% } \text{ZrW}_2\text{O}_8$, наблюдалось снижение интенсивности пиков, принадлежащих тетрагональной модификации диоксида циркония, и

повышение интенсивности рефлексов моноклинной фазы диоксида циркония. Кроме этого присутствовали максимумы, соответствующие орторомбической модификации оксида алюминия и оксиду вольфрама (VI). Количественный анализ показал, что количество моноклинной и тетрагональной модификаций диоксида циркония составило 70 и 16%, соответственно, оксида алюминия – 7 %, окиси вольфрама – 7%.

При увеличении концентрации вольфрамата циркония до 25 вес % в составе композиционного материала, интенсивность пиков, принадлежащих тетрагональной модификации диоксида циркония, продолжала уменьшаться. На рентгенограмме появляются дифракционные максимумы, соответствующие алюмо-вольфрамовый шпинели $\text{Al}_2(\text{WO}_4)_3$, и слабые рефлексы AlWO_4 . Согласно результатам количественного анализа, содержание моноклинной фазы диоксида циркония составило 59 %, тетрагонального ZrO_2 – 7%, WO_3 – 7 %, $\text{Al}_2(\text{WO}_4)_3$ – 20%.

Дальнейшее повышение содержания ZrW_2O_8 до 55 вес % привело к исчезновению рефлексов оксида алюминия на рентгенограммах. Аналогичный результат наблюдался для композитов, полученных горячим прессованием. Кроме этого наблюдалось монотонное уменьшение интенсивность пиков тетрагональной фазы диоксида циркония. При этом интенсивность рефлексов AlWO_4 и оксида вольфрама резко увеличилась, что свидетельствует о повышении их количества в составе композита (ZrO_2 – 20 % Al_2O_3) – 55 вес %. Содержание шпинели AlWO_4 увеличилось до 12 %, оксида вольфрама – до 29 %.

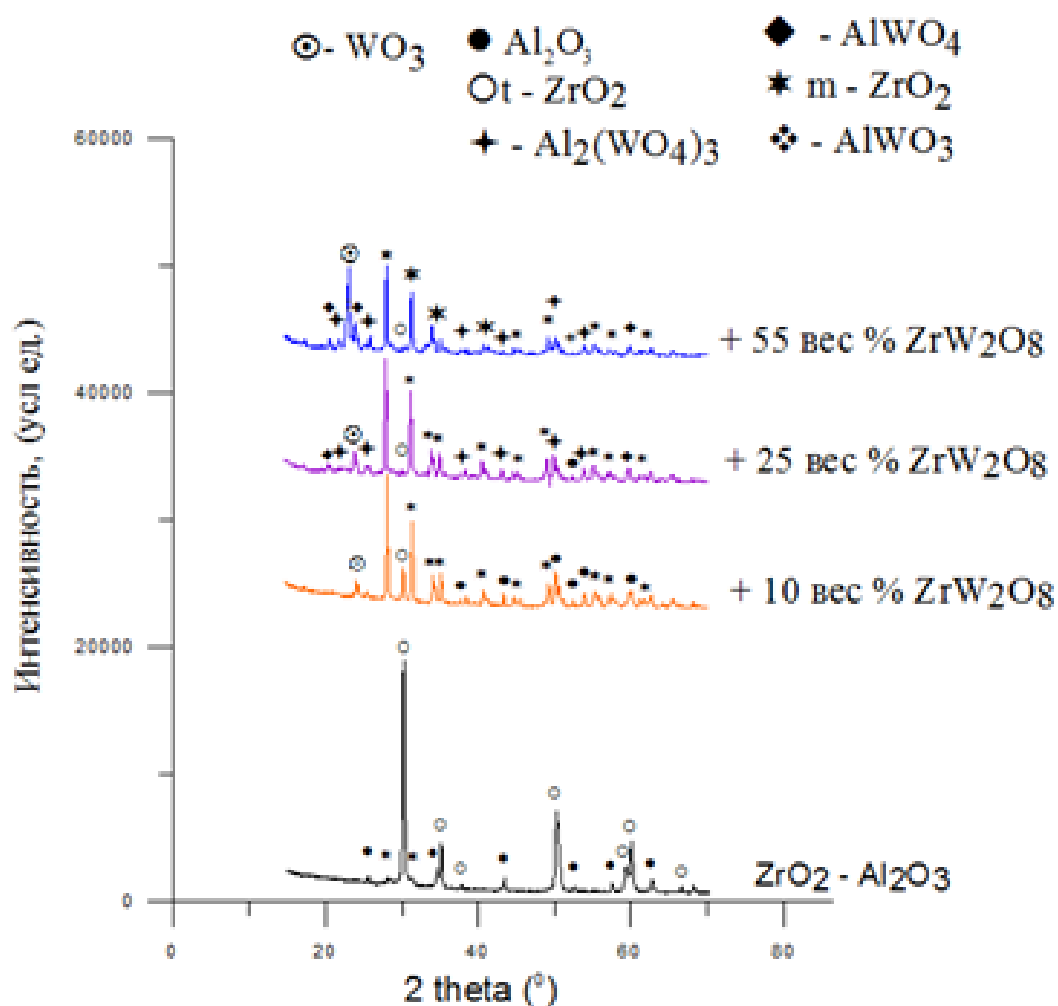


Рисунок 9 - Рентгенограмма керамики ($\text{ZrO}_2 - 20\% \text{Al}_2\text{O}_3$) - ZrW_2O_8 , полученной методом свободного спекания

Сопоставление данных рентгенофазового анализа композитов ($\text{ZrO}_2 - 20\% \text{Al}_2\text{O}_3$) - ZrW_2O_8 , полученных горячим прессованием и спеканием на воздухе, позволяет выявить некоторые закономерности формирования структурно – фазового состояния в зависимости от метода получения.

Состав керамики $\text{ZrO}_2 - 20\% \text{Al}_2\text{O}_3$ отличался в зависимости от способа спекания. Фазовый состав керамик был практически идентичен за исключением присутствия моноклинной модификации ZrO_2 в керамике, полученной прессованием с последующим спеканием на воздухе.

Введение вольфрамата циркония привело к изменению фазового состава керамики, в частности, изменилось соотношение содержания

тетрагональной и моноклинной модификации диоксида циркония в пользу моноклинной. По мере повышения концентрации вольфрамата циркония в составе композита количество тетрагональной фазы уменьшалось. При содержании 55 вес % ZrW_2O_8 на рентгенограммах композитов регистрировался пик (111) тетрагональной модификации ZrO_2 вне зависимости от метода получения.

При содержании вольфрамата циркония выше 25 вес % в составе композиционных материалов формировались алюмо – вольфрамовые шпинели типа $Al_x(WO_y)_z$. В зависимости от метода получения образовывались следующие составы: $AlWO_4$, $AlWO_3$, $Al_2(WO_4)_3$.

В композитах, полученных горячим прессованием, формировалась шпинель $AlWO_3$ при содержании 25 вес % ZrW_2O_8 , $AlWO_4$ при концентрации 55 вес % ZrW_2O_8 .

В керамических композиционных материалах (ZrO_2 – 20 % Al_2O_3) - ZrW_2O_8 , полученных спеканием на воздухе, образовывались $AlWO_4$ и $Al_2(WO_4)_3$.

Вероятно, тип образующихся шпинелей зависит от способа получения керамических композитов. Данные методы получения отличаются скоростью нагрева / охлаждения. Так, при методе горячего прессования нагрев происходит со скоростью 120 °C/мин, в то время как при спекании на воздухе скорость составляет 300 °C/час. Очевидно, низкая скорость нагрева позволяет получать фазу $Al_2(WO_4)_3$.

Согласно [17], вольфрамат алюминия, полученный твердофазной реакцией между Al_2O_3 и WO_3 , обладает отрицательным значением КТР ($\alpha = -1.5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) в интервале температур 25-850 °C. Соединение имеет ограниченную область стабильности: под действием давления и температуры происходит разложение $Al_2(WO_4)_3$ на $AlWO_4$ и WO_{3-x} с частичной потерей кислорода [17].

По мере повышения вольфрамата циркония в смеси наблюдалось постепенное уменьшение интенсивности пиков оксида алюминия вплоть до

их полного исчезновения и формирование шпинелей типа $Al_x(WO_y)_z$. Вероятно, этот факт может свидетельствовать о превращении Al_2O_3 в алюмо-вольфрамовые шпинели.

Стоит отметить, что вольфрамат циркония не был обнаружен в композитах при всех рассматриваемых способах получения, что может говорить об его полном разложении на составляющие соединения: оксид вольфрама и диоксид циркония.

Как известно вольфрамат циркония стабилен в пределах температур от $-273\text{ }^{\circ}C$ до $777\text{ }^{\circ}C$ [18]. При дальнейшем повышении температуры происходит разложение ZrW_2O_8 на оксиды циркония ZrO_2 и вольфрама WO_3 . Согласно диаграмме состояния $ZrO_2 - WO_3$ [19], вольфрамат циркония вновь синтезируется при температуре $1150\text{ }^{\circ}C$ при соблюдении стехиометрии $Zr:W = 1:2$, но этого не наблюдалось. Это могло произойти по причине нарушения необходимой для синтеза вольфрамата циркония стехиометрии между диоксидом циркония и окисью вольфрама. Стехиометрия могла нарушиться по нескольким причинам, среди которых: испарения оксида вольфрама при $1000\text{ }^{\circ}C$ [2], возможной реакцией при $900\text{ }^{\circ}C$ между Al_2O_3 и WO_3 , образованного вследствие распада вольфрамата циркония [17].

Поведение вольфрамата циркония и возможные фазовые превращения в процессе спекания керамических композиционных материалов ($ZrO_2 - 20\text{ }\% Al_2O_3$) - ZrW_2O_8 схематически изображены на рисунке 10.

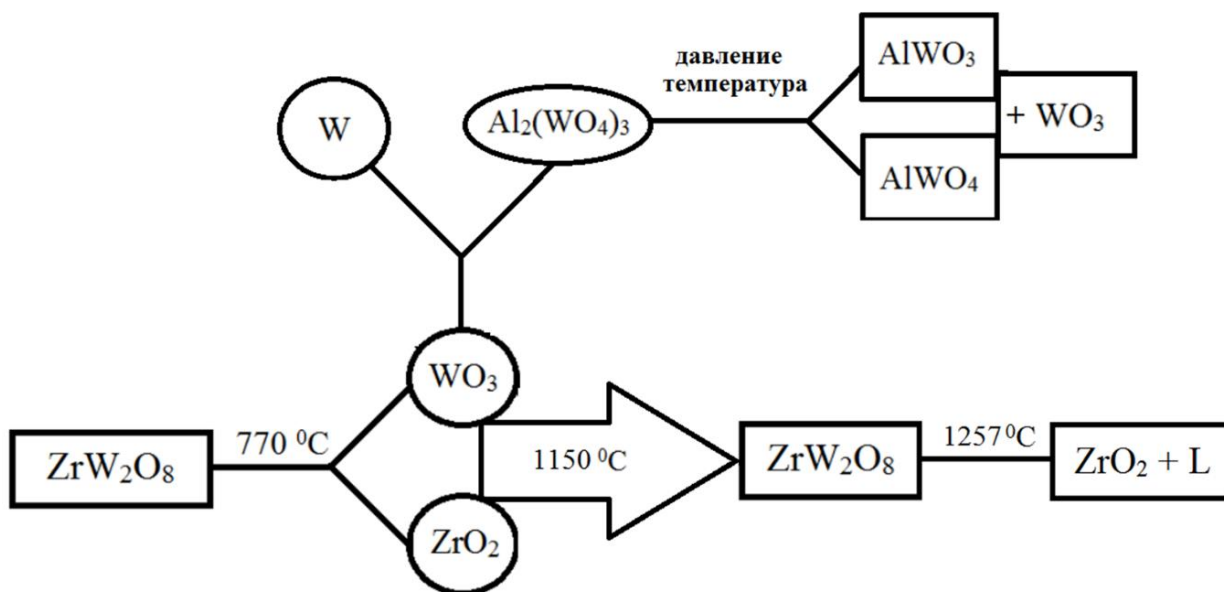


Рисунок 10 – Схема поведения вольфрамата циркония при высоких температурах

Дилатометрические исследования позволяют определить один из важных параметров материала – коэффициент теплового расширения. Суть исследований заключается в определении зависимости между увеличением линейных размеров тела от температуры. Графики зависимости относительного удлинения от температуры образцов, полученных методом горячего прессования, представлены на рисунке 11. Для каждого состава изменения линейного размера наблюдалось выше 50°C .

Согласно рисунку 11, на полученных зависимостях можно выделить несколько участков с разным углом наклона к оси абсцисс, характеризующие различные значения коэффициентов термического расширения.

Видно, что значение относительного удлинения керамики $\text{ZrO}_2 - 20\% \text{ Al}_2\text{O}_3$ с ростом температуры монотонно увеличивалось от 50 до 800°C , однако в диапазоне температур от $(250 \text{ до } 350) \pm 25^\circ\text{C}$ наблюдалось смена характера поведения материала.

На зависимости, характеризующей поведение композита $(\text{ZrO}_2 - 20\% \text{ Al}_2\text{O}_3) - 10 \text{ вес } \% \text{ ZrW}_2\text{O}_8$, также можно выделить несколько участков. Точки пересечения аппроксимирующих кривых соответствовали 265 и 620°C . Угол

наклона участка 1 (50 – 265 °C) характеризуется большим значением угла наклона к оси абсцисс по сравнению со участком 2 (265 – 620 °C). При этом в диапазоне температуры от 620 до 700 °C значение $\Delta L/L_0$ оставалось неизменным. Выше 700 °C фиксировалось резкое понижение относительного удлинения. Значение КТР для каждого участка составило: 1.47, 8.6, 0.1. Среднее значение КТР композита в температурном диапазоне от 10 до 700 °C составило $3,4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Зависимость относительного удлинения $\text{ZrO}_2 - 20 \% \text{ Al}_2\text{O}_3) - 25 \text{ вес } \% \text{ ZrW}_2\text{O}_8$ от температуры можно представить в виде четырёх участков с разным углом наклона к оси температур. На первом участке (50 до 350 °C) наблюдалось увеличение $\Delta L/L_0$, от 350 до 570 °C зависимость имела более плавный характер. Выше 570 °C фиксировался резкое повышение $\Delta L/L_0$ вплоть до 740 °C. Дальнейшее повышение температуры до 800 °C привело к изменению размеров, что привело к появлению площадки на графике. Значение КТР для каждого участка составило: 1.58, 1.1, 5.3, 2.4. Среднее значение теплового расширения составило $2.6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Зависимость « $\Delta L/L_0 - T$ » для композита с содержанием 55 вес % вольфрамата циркония состоит из трёх участков. При температурах от 50 до 480 °C величина относительно удлинения монотонно увеличивалась, затем наблюдался резкий рост $\Delta L/L_0$ до 580 °C. Дальнейшее повышение температуры до 800 °C привело к изменению размеров, что привело к появлению площадки на графике. Значение КТР для каждого участка составило: 1.3, 11.3, 0.24. Среднее значение КТР по данному графику составило $6.4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

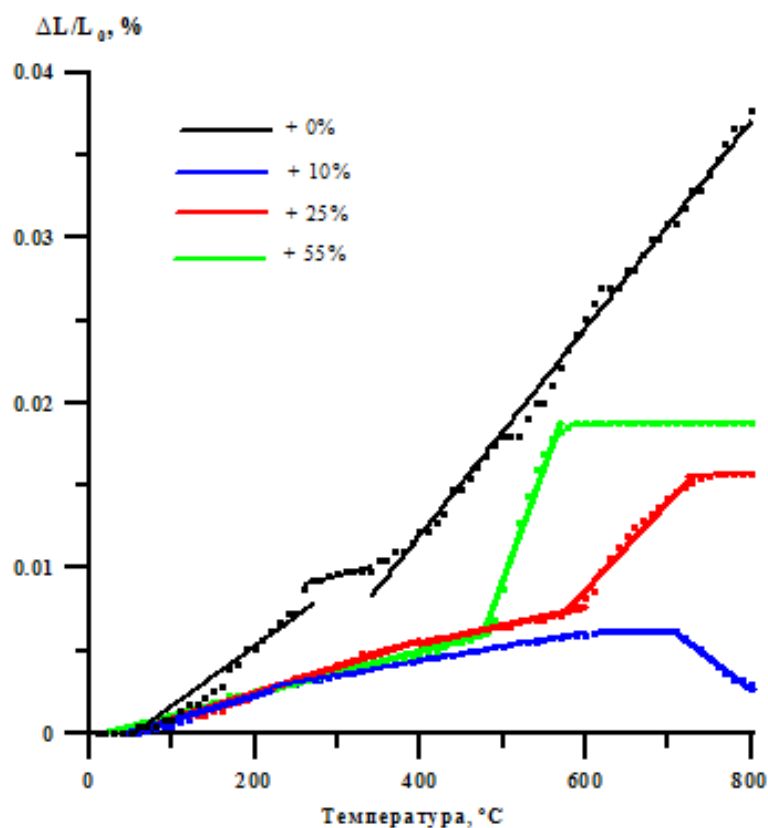


Рисунок 11 – Зависимость относительного удлинения керамики ($\text{ZrO}_2 - 20\% \text{ Al}_2\text{O}_3$) - ZrW_2O_8 полученной методом горячего прессования

Согласно рисунку 12, на графики зависимости относительного удлинения от температуры можно разделить на несколько участков находящихся под разным углом наклона к оси абсцисс, характеризующие различные значения коэффициентов термического расширения.

Видно, что значение относительного удлинения керамики $\text{ZrO}_2 - 20\% \text{ Al}_2\text{O}_3$ с увеличивается от -177 до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, при дальнейшем повышении температуры, характер теплового расширения образца не изменялся.

На зависимости, характеризующей поведение композита $(\text{ZrO}_2 - 20\% \text{ Al}_2\text{O}_3) - 10\text{ вес } \%\text{ ZrW}_2\text{O}_8$ можно выделить несколько участков. Участок 1 от -177 до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, характеризуется меньшим углом наклона к оси абсцисс, чем участок 2 находящийся в диапазоне температур от 0 до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Значение КТР для каждого участка составило: 3.3, 7.5. Среднее значение КТР композита в температурном диапазоне от -177 до $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ составило $5.4 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$.

Зависимость относительного удлинения керамики $\text{ZrO}_2 - 20\% \text{ Al}_2\text{O}_3) - 25\% \text{ ZrW}_2\text{O}_8$ от температуры состоит из двух участков с разным углом наклона к оси температур. На участке 1 (от -177 до 0°C) наблюдалось увеличение $\Delta L/L_0$, от 0 до 500°C рост значений относительного удлинения проходил более интенсивно. Значение КТР для каждого участка составило: 3.5, 8.3. Среднее значение теплового расширения составило $5.9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Зависимость « $\Delta L/L_0 - T$ » для керамического композита с содержанием 55 вес % вольфрамата циркония содержит два участка. При температурах от -177 до 0°C величина относительно удлинения монотонно возрастает, затем наблюдался изменение характера роста значений относительного удлинения до 500°C . Значение КТР для каждого участка составило: 4.3, 8.9. Среднее значение КТР по данному графику составило $6.6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

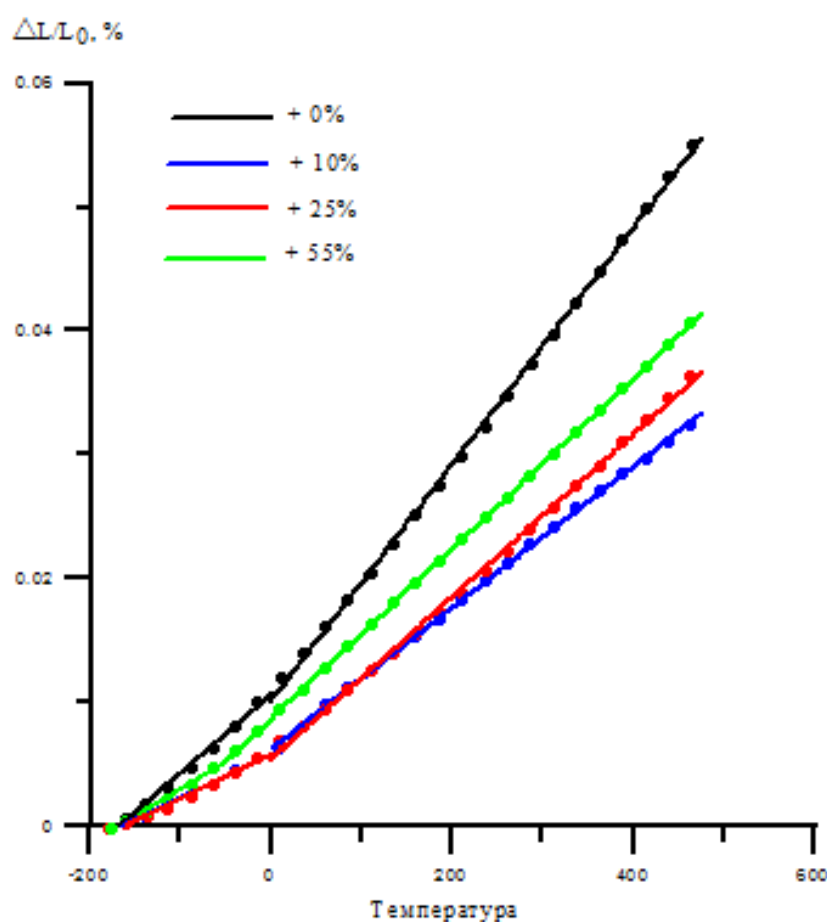


Рисунок 12 – Зависимость относительного удлинения керамики ($\text{ZrO}_2 - 20\% \text{ Al}_2\text{O}_3) - \text{ZrW}_2\text{O}_8$ полученной методом свободного спекания

Как видно из полученных зависимостей, наибольшее удлинение имеет керамика ($\text{ZrO}_2 - 20 \% \text{Al}_2\text{O}_3$), наименьшее – композиционный материал ($\text{ZrO}_2 - 20 \% \text{Al}_2\text{O}_3$)– 10 вес % ZrW_2O_8 .

Аналитический расчёт коэффициента теплового расширения полученных композиционных материалов проводился по формуле (2). Полученные значения представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Значения КТР керамических композиционных материалов, полученных методом горячего прессования и свободного спекания.

Метод получения керамики	Горячее прессование				Свободное спекание			
Содержание ZrW_2O_8 вес %	0	10	25	55	0	10	25	55
КТР, 10^{-6}K^{-1} (эксперимент)	9.8	3.4	2.6	6.4	10.3	5.4	5.9	6.6
КТР, 10^{-6}K^{-1} (расчет)	10.1	8.3	5.3	-0.45	10.1	8.3	5.3	- 0.45

Согласно данным таблицы 6, композиты, полученные методом горячего прессования, имели более низкие значения КТР по сравнению с керамикой, полученной свободным спеканием.

Видно, что расчетные и экспериментальные значения КТР для керамики $\text{ZrO}_2 - 20 \% \text{Al}_2\text{O}_3$ хорошо согласовывались. В композитах с добавлением ZrW_2O_8 экспериментальные и расчётные значения КТР отличались. По мере повышения содержания вольфрамата циркония разница между аналитическими и экспериментальными значениями увеличивалась.

Согласно расчетным данным, керамика ($\text{ZrO}_2 - 20 \% \text{Al}_2\text{O}_3$) – 55 вес % ZrW_2O_8 должна обладать отрицательным значением КТР, однако на практике значение КТР составило $\approx 6.5 \cdot 10^{-6} \text{C}^{-1}$.

Такое различие между расчётными и экспериментальными значениями КТР может быть обусловлено тем что, правило смеси не учитывает: структурные особенности материала, возможную пористость, внутренние напряжения, также присутствие других фаз, таких как алюмо-вольфрамовых шпинелей и оксида вольфрама.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б21	Кондратенко Антон Игоревич

Институт	Институт физики высоких технологий	Кафедра	Материаловедение в машиностроении
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Материаловедение и технологии материалов

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

1. Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- Инициатор проекта ИФПМ СО РАН; - Примерный бюджет проекта 5,5 млн.руб.; - В исследовании задействованы 2 человека: руководитель проекта, инженер-исследователь;
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- Проект выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов». - Минимальный размер оплаты труда в 2016 году составляет 6675 руб.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- Отчисления по страховым взносам – 27.1% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	- Потенциальные потребители результатов исследования - SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета проектной работы	- Планирование работ по НИИ, - Расчет бюджета затрат на исследование
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Определение ресурсной и финансовой эффективности НИИ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Е.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Кондратенко Антон Игоревич		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Темой дипломного исследования является «исследование структуры и свойств алюмо-циркониевых композиционных материалов». Объектом исследования является композиционный материал $(\text{ZrO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3) - \text{ZrW}_2\text{O}_8$.

Цель работы – изучение фазового состава композиционного материала $(\text{ZrO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3) - \text{ZrW}_2\text{O}_8$.

В результате исследования были получены образцы керамики методом горячего прессования и свободного спекания, установлено влияние вольфрамата циркония на фазовый состав керамики $(\text{ZrO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3)$ и её тепловые свойства, зафиксировано появление алюмо-вольфрамовых шпинелей.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности исследования, оценка его эффективности, уровня возможных рисков. Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) оценка коммерческого потенциала НТИ,
- 2) оценка научно-технического уровня исследования;
- 2) планирование этапов исследования;
- 3) оценка материально-технической стоимости исследования;
- 4) оценка ресурсоэффективности.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Одна из перспективных групп материалов в сфере создания композитов, работающих при высоких температурах - керамика. Керамика обладает высокой термостойкостью, а также коррозионной стойкостью, это позволяет ей работать в агрессивных средах, что затруднительно для металлов.

Композиционные материалы при нагревании могут растрескиваться. Одной из причин этому может быть разный КТР компонентов композиции.

Вольфрамат циркония – керамика с отрицательным КТР, благодаря этой особенности, его возможно использовать в композиционном материале как компенсатор термического расширения.

На данный момент не представлено работ по фазовому равновесию керамики (ZrO_2 - 20 об% Al_2O_3).

Проводимое научное исследование не имеет коммерческого потенциала т.к. проводится в рамках научной исследовательской работы. Инновационность данного исследования весьма значительна. Исследование композиционного материала (ZrO_2 - 20 об% Al_2O_3) – ZrW_2O_8 проводится впервые. Потенциальными потребителями результатов этого исследования могут быть предприятия машиностроительного профиля, включающие в себя авиакосмические, военно-промышленные, автомобильные отрасли.

4.2 SWOT-анализ

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

SWOT – анализ проекта даёт возможность оценить факторы и явления, помогающие или препятствующие продвижению проекта на рынок. Анализ проекта возможен с помощью таблицы 7.

Сначала описываются сильные и слабые стороны проекта, для выявления возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 7 – SWOT–анализ проекта

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Исследование композиционного материала (ZrO_2 - 20 об% Al_2O_3) – ZrW_2O_8 проводится впервые; С2.Методика исследования является ресурсо-эффективной; С3.Используемая методика – перспективна; С4.Наличие квалифицированного руководителя.	В1.Возможность использования на мировом уровне; В2.Использование во многих отраслях; В3.Адаптация исследования под иностранные языки.
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1.Мало данных о некоторых фазах, возникающих в процессе изготовления образцов; Сл2.Мало информации по компенсатору теплового расширения и его модификациям; Сл3.Отсутствие квалифицированных работников для применения исследования в различных отраслях.	У1.Более качественное исследование в других научных центрах; У2.Отсутствие интереса к исследованию со стороны промышленности; У3.Заккрытие машиностроительных предприятий на территории РФ.

Следующий этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 8 – Сильные стороны исследования

		C1	C2	C3	C4
Возможности исследования	B1	+	+	+	+
	B2	-	+	+	-
	B3	+	+	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие сильных сторон и возможности: B1C1C2C3C4, B2C2C3, B3C1C2C3

Таблица 9 - Слабые стороны исследования

		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности исследования	В1	0	0	+
	В2	-	-	+
	В3	-	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие слабые стороны и возможности: В1Сл3, В2Сл3, В3Сл3.

Таблица 10 – Угрозы исследования

		С1	С2	С3	С4
Угрозы	У1	+	+	+	+
	У2	+	+	+	+
	У3	+	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие угрозы исследования: У1С1С2С3С4, У2С1С2С3С4, У3С1С2С3С4.

Таблица 11 – Слабые стороны исследования

		Сл1	Сл2	Сл3
Слабые стороны исследования	У1	+	+	+
	У2	+	+	+
	У3	-	-	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие слабые стороны исследования: У1Сл1Сл2Сл3, У2Сл1Сл2Сл3, У3Сл3.

По полученным данным можно сделать следующие выводы - возможности, совместно с сильными сторонами, благоприятствуют развитию спроса на проводимое исследование. Возможные угрозы: более качественные исследования композиционного керамического материала.

Данное исследование не является конечным и не имеет коммерческого потенциала, но отличается инновационностью. При окончании исследования, коммерческий потенциал довольно велик, так как результаты исследования позволят усовершенствовать практически любое оборудование, эксплуатируемое в агрессивных средах. Также стоит отметить, что исследование, проводимое в лаборатории, является ресурсоэффективным так как позволяет определить характеристики материала и его фазовый состав с минимальными затратами.

Однако исследование имеет и слабые стороны. Одна из основных слабых сторон присущее любое исследованию – проведение более качественного исследования за рубежом.

4.3 Планирование работ по НТИ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научно-исследовательского проекта;
- определение участников каждого этапа работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Структура работ. Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Разделим выполнение дипломной работы на этапы, представленные в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка ТЗ	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Проведение НИР			
Выбор способа решения поставленной задачи	2	Изучение керамических материалов	Студент-дипломник
	3	Выбор материала для эксперимента	Руководитель, студент-дипломник
	4	Составление схемы исследования	Студент-дипломник, руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента над композитом $ZrO_2 - 20 \text{ об\%} Al_2O_3$	Руководитель, студент-дипломник
	6	Поиск и изучение необходимого оборудования	Студент-дипломник
	7	Получение керамического композита и его исследование	Руководитель, студент-дипломник
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов НИР	Студент-дипломник
	9	Оценка эффективности результатов	Руководитель
Оформление отчета, НИР	10	Составление отчёта	Студент-дипломник

4.4 Определение трудоемкости работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле

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

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i} \quad (4)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} * k \quad (5)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное. Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} \quad (6)$$

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

$T_{вд}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пд}$ – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{\text{кг}}}{T_{\text{кг}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45 \quad (7)$$

тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ T_k нужно округлить до целых чисел.

Таблица 13 – Временные показатели проведения ВКР

№ работы	Исполнители	Продолжительность работы						
		$t_{\min}$, чел-дн	$t_{\max}$, чел-дн	$T_{\text{ож}}$, чел-дн.	T_p , раб. дн	T_k , кал.дн	Y_i , %	Γ_i , %
1	Руководитель	1	7	3	3	4	3,37	3,37
2	Студент-дипломник	14	30	20	20	29	22,48	25,85
3	Руководитель, студент-дипломник	4	15	8	4	5	4,49	30,34
4	Руководитель, студент-дипломник	1	7	3	1,5	2	1,7	32,04
5	Руководитель, студент-дипломник	2	14	7	3,5	5	3,87	35,91
6	Студент-дипломник	15	45	27	27	29	22,6	66,21
7	Руководитель, студент-дипломник	5	18	14	5	12	9,3	67,91
8	Студент-дипломник	7	21	13	13	20	15,5	83,41
9	Руководитель	1	2	1	1	1,45	1,12	84,5
10	Студент-дипломник	7	21	13	13	20	15,5	100
Итого						128		

Разработка графика выполнения научно-исследовательского проекта. В качестве графика можно использовать диаграмму Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются

протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в рамках таблицы 13 с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) за период времени всех работ. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за тот или иной этап работы.

Таблица 14 Календарный план-график проведения НИР (Диаграмма Ганта)

Этап	Вид работы	Исполнитель	t_k	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	■				
2	Изучение тех. документации	Студент-дипломник	29	■				
3	Выбор материалов, для эксперимента	Руководитель, студент-дипломник	5		■			
4	Составление схемы исследования	Руководитель, студент-дипломник	2		■			
5	Планирование эксперимента	Руководитель, студент-дипломник	5		■			
6	Поиск и изучение необходимого оборудования	Студент-дипломник	29			■		

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам.техн}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}} \cdot \quad (8)$$

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции.

В данной работе использовалось 8 образцов алюмо-циркониевой керамики с разной процентной добавкой вольфрамата циркония. Стоимость 1 кг материала 2000 руб. Вес одного образца 0,03 кг.

Стоимость 1 м² наждачной бумаги 120 руб. Затраты, при условии, что на исследовании требуется 0,5 м² бумаги, составили 60 руб.

Таблица 15 – Затраты на получение образцов

Стоимость 1 кг материала, руб.	2000
Вес образца, кг	0,03
Стоимость материала образцов, руб.	60
Стоимость алмазной пасты, руб.	60
Затраты на электроэнергию на создание образца, руб	200
Стоимость изготовления образца, руб.	300
Общие затраты на получение образца, руб.	1040

Для проведения научно-исследовательской работы требуются следующие виды оборудования: горячий пресс, холодный пресс, дифрактометр типа ДРОН, дилатометр, микроскоп, компьютер, высокотемпературная муфельная печь, пресс-форма графитовая, притёр, алмазная паста, бумага.

Результаты расчета материальных затрат сведем в таблицу 16.

Таблица 16 – Материальные затраты

Материалы и оборудование	Ед. изм.	Срок службы, год	Кол-во материала, ед.	Цена за ед, руб.	Затраты, руб.
Компьютер	шт	5	2	35500	71000
Принтер лазерный цветной	шт	5	1	5500	5500
Бумага формата А4	лист	-	1000	0,2	200
Картридж ч/б	шт	-	1	2500	2500
Оптический микроскоп	шт	10	1	150000	150000
Горячий пресс	шт	10	1	900000	900000
X-Ray Дрон	шт	10	1	800000	800000
Высокотемпературная печь	шт	5	1	1015000	1015000
Алмазная паста	шт	-	5	500	2500
Дилатометр	шт	7	1	100000	100000
Холодный пресс	шт	10	1	800000	800000
Итого:					3846700

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году.

Рассчитаем амортизацию оборудования техники $I_{\text{ам.обор}}$, по следующей формуле:

$$I_{\text{ам.обор}} = \left(\frac{T_{\text{исп.обор}}}{365} \right) \times K_{\text{обор}} \times N_a \quad (9)$$

где $T_{\text{исп.обор}}$ – время использования оборудования;

365 дней – количество дней в году;

$K_{\text{обор}}$ – стоимость оборудования;

N_a – норма амортизации.

$$N_a = \frac{1}{T_{\text{с.с.обор}}} \quad (10)$$

где $T_{с.с\text{ обор.}}$ – срок службы оборудования

$$I_{\text{ам.гп.}} = \left(\frac{T_{\text{ам.гп.}}}{365} \right) \times K_{\text{обор.}} \times H_a = \left(\frac{1}{365} \right) \times 900000 \times \left(\frac{1}{10} \right) = 246,6 \text{ руб.} \quad (11)$$

$$I_{\text{ам.хп.}} = \left(\frac{T_{\text{ам.хп.}}}{365} \right) \times K_{\text{обор.}} \times H_a = \left(\frac{1}{365} \right) \times 800000 \times \left(\frac{1}{10} \right) = 219,2 \text{ руб.} \quad (12)$$

$$I_{\text{ам.рентген.}} = \left(\frac{T_{\text{рентг.}}}{365} \right) \times K_{\text{рентген.}} \times H_a = \left(\frac{1}{365} \right) \times 800000 \times \left(\frac{1}{10} \right) = 219,2 \text{ руб.} \quad (13)$$

$$I_{\text{ам.печь}} = \left(\frac{T_{\text{ам.печь}}}{365} \right) \times K_{\text{осц.}} \times H_a = \left(\frac{1}{365} \right) \times 1015000 \times \left(\frac{1}{10} \right) = 278 \text{ руб.} \quad (14)$$

$$I_{\text{ам.дил}} = \left(\frac{T_{\text{дил.}}}{365} \right) \times K_{\text{опт.сист.}} \times H_a = \left(\frac{1}{365} \right) \times 100000 \times \left(\frac{1}{10} \right) = 27,3 \text{ руб.} \quad (15)$$

$$I_{\text{ам.комп.}} = \left(\frac{T_{\text{ам.комп.}}}{365} \right) \times K_{\text{комп.}} \times H_a = \left(\frac{110}{365} \right) \times 71000 \times \left(\frac{1}{10} \right) = 2139,7 \text{ руб.} \quad (16)$$

$$I_{\text{ам.опт.}} = \left(\frac{T_{\text{ам.опт.}}}{365} \right) \times K_{\text{комп.}} \times H_a = \left(\frac{1}{365} \right) \times 150000 \times \left(\frac{1}{10} \right) = 41 \text{ руб.} \quad (17)$$

$$\sum I_{\text{ам.обор.}} = 246,6 + 219,2 + 219,2 + 278 + 27,3 + 2139,7 + 41 = 3170,4 \text{ руб.} \quad (18)$$

Расчет заработной платы – заработная плата рассчитывается в соответствии с занятостью исполнителей, с учетом районного и тарифного коэффициентов исполнителей.

В состав затрат на оплату труда включаются:

- выплаты заработной платы за фактически выполненную работу;
- выплаты стимулирующего характера по системным положениям;
- выплаты по районным коэффициентам;
- компенсации за неиспользованный отпуск;
- другие виды выплат.

Примем, что полный фонд заработной платы ($\Phi_{\text{зп}}$):

$$\Phi_{зп} = 30000 \text{ руб} \quad (19)$$

Отчисления на социальные нужды выражаются в виде единого социального налога, который включает в себя: обязательные отчисления по установленным законодательством нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования.

Единый социальный налог – 30%.

Рассчитываем отчисления на социальные нужды ($I_{\text{соц.отч.}}$):

$$I_{\text{соц.отч.}} = ЕСН = 0,3 \times \Phi_{зп} = 0,3 \times 30000 = 9000 \text{ руб.} \quad (20)$$

Накладные расходы используют на следующее:

- затраты на текущий ремонт;
- амортизацию основных производственных фондов;
- затраты на охрану труда и пожарную безопасность.

Для проектных отделов накладные затраты составляют 200% от полного фонда заработной платы, тогда:

$$I_{\text{накл.расх.}} = 2 \times \Phi_{зп} = 2 \times 30000 = 60000 \text{ руб} \quad (21)$$

Прочие затраты – затраты, к которым относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретение и рационализаторские предложения, за подготовку кадров, оплата услуг связи и т.д. Эти затраты составляют 2% от всех издержек и вычисляются по формуле:

$$\begin{aligned} I_{\text{прочие}} &= 0,02 \times (I_{\text{мат.}} + \Phi_{зп.} + I_{\text{ам.обор.}} + ЕСН) \\ &= 0,02 \times (3846700 + 30000 + 3170,4 + 9000) \\ &= 77777,4 \text{ руб.} \end{aligned} \quad (22)$$

Рассчитываем себестоимость проекта ($K_{\text{проекта}}$):

$$\begin{aligned} K_{\text{проекта}} &= I_{\text{мат}} + \Phi_{зп} + I_{\text{ам.обор}} + I_{\text{соц.отч}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}} \\ &= 3846700 + 30000 + 3170,4 + 9000 + 60000 + 77777,4 \\ &= 4026647,81 \text{ руб} \end{aligned} \quad (23)$$

Рассчитываем плановые накопления (ПР). Стоимость проекта включает в себя 30% прибыли, таким образом:

$$ПР = 0,3 \times K_{\text{проекта}} = 0,3 \times 4026647,81 = 1207994,34 \text{ руб.} \quad (24)$$

Рассчитываем стоимость проекта (Ц):

$$Ц = K_{\text{проекта}} + ПР = 4026647,81 + 1207994,34 = 5234642,15 \text{ руб.} \quad (25)$$

В таблице 25 представлена смета затрат на НИИ.

Таблица 17 - Смета затрат на научно-исследовательскую работу

Виды затрат	Обозначение	Сумма затрат, руб.
Материальные затраты	И _{мат}	3846700
Амортизация оборудования	И _{ам,обор}	3170,4
Затраты на оплату труда	ЗП	30000
Отчисления на социальные нужды	И _{соц.отч}	9000
Накладные расходы	И _{накл.расх}	60000
Прочие затраты	И _{прочие}	77777,4
Себестоимость проекта	K _{проекта}	4026647,81
Плановые накопления (прибыль)	ПР	1207994,34
Стоимость проекта (цена)	Ц	5234642,15

4.6 Определение научно-технического уровня проекта

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности проекта необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot П_i, \quad (26)$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

$П_i$ – количественная оценка i – го признака.

Таблица 18 - Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0,5
Теоретический уровень	0.4
Возможность реализации	0.2

Таблица 19 - Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 20 - Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 21 - Возможность реализации по времени

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4

Свыше 10 лет	2
--------------	---

$$k_1 = 0.5, P_1 = 6, k_2 = 0.4, P_2 = 7, k_3 = 4, P_3 = 0.2$$

$$НТУ = 0.5 * 6 + 0.4 * 7 + 0.2 * 10 = 7,8 \quad (27)$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели новизны, значимости теоретического уровня. Также при продолжении данного исследования и его завершения работа может получить огромный потенциал, так как будет способствовать:

- 1) развитию новых материалов с регулируемыми тепловыми свойствами;
- 2) замене большинства дорогостоящих металлических и полимерных материалов на керамические композиты;
- 3) развитию машин с более высоким КПД;
- 4) увеличению срока службы особо ответственных деталей.

Результаты научной работы

1. В.С. Шадрин. Получение вольфрамата циркония и композитов на его основе / В.С. Шадрин, Е.С. Дедова, *А.И. Кондратенко* // Сборник научных трудов XII международной конференции студентов и молодых учёных – г. Томск, 2015. – 1137 – 1138 с.
2. В.Р. Ше. Исследование структуры и свойств керамических композиционных материалов ($ZrO_2 - 2OAl_2O_3$) - ZrW_2O_8 / В.Р. Ше, Е.С. Дедова, *А.И. Кондратенко* // VI Всероссийской конференции молодых ученых "Материаловедение, технологии и экология в третьем тысячелетии" - г. Томск, 2016. – 141 – 144 с.
3. А.И. Кондратенко. Влияние метода получения на фазовый состав алюмо-циркониевых композиционных материалов / А.И. Кондратенко, Е.С. Дедова, В.Р. Ше, Н.О. Ханзина, С.Н. Кульков // Международная конференция «Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении» – г. Томск, 9 – 11 июня 2016 г.
4. ФЦП Соглашение №14.575.21.0040 "Разработка технологии получения и высокоточной обработки наноструктурных керамических композиционных материалов с инварным эффектом для нового класса запорных элементов оборудования нефтегазового комплекса» (исполнитель), 2014 - 2016