

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

Институт: *Социально-гуманитарных технологий*

Направление подготовки: *Материаловедение и технологии материалов*

Кафедра: *Материаловедение в машиностроении*

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Влияние механической обработки на порошковую смесь $ZrO_2 - ZrW_2O_8$ и свойства керамики на ее основе

УДК *621.762:666.3.03*

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б30	Ли Чан		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Штейнле А. В.	к.м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Материаловедение в машиностроении	Панин С.В.	Д.т.н. профессор		

Томск – 2017 г.

Планируемые результаты обучения по программе 22.03.01 (бакалавриат)

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

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

Институт Социально-гуманитарных технологий
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
 Кафедра Материаловедение в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Панин С. В.

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
154Б30	Ли Чан

Тема работы:

Влияние механической обработки на порошковую смесь $ZrO_2 - ZrW_2O_8$ и свойства керамики на ее основе	
Утверждена приказом директора ИФВТ	Приказ №2048/с от 23.03.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	09.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является керамика на основе ZrO_2 и ZrW_2O_8. Исследуются влияние механической обработки на структуру и фазовый состав исследуемой керамики, рассмотрены вопросы социальной ответственности, проведен экономический анализ производства изделий из исследованной керамики.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов,</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> – Аналитический обзор по теме исследования; – Изучение морфологии исходных порошковых систем; – Изучение влияния механической активации на структуру и свойства порошковых систем; – Исследование влияния механической обработки на структуру и фазовый состав

<i>подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	керамических композиционных материалов; – Заключение по работе
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	– Титульный лист – Актуальность, цель работы – Материалы и методы исследования – Результаты исследований – Заключение
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	<i>Конотопский В.Ю., доцент НИ ТПУ</i>
<i>Социальная ответственность</i>	<i>Кырмакова О.С., ассистент НИ ТПУ</i>
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1. Литературный обзор (русский язык)	
2. Экспериментальная часть (русский язык)	
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение (русский язык)	
4. Социальная ответственность (русский язык)	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22.09.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б30	Ли Чан		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа магистра содержит 71 страница, 19 рисунков, 16 таблиц, 27 источников.

Ключевые слова: оксидная керамика, диоксид циркония, вольфрамат циркония, механическая активация, структурно – фазовое состояние.

Объектом исследования является керамика на основе ZrO_2 и ZrW_2O_8 .
Цель работы – исследование влияния механической обработки на порошковую смесь $ZrO_2 - ZrW_2O_8$ и свойства керамики на ее основе.

В процессе исследования проводились исследование морфологии исходных порошковых систем, изучение полированных поверхностей керамических композиционных материалов, изучение фазового состава с помощью рентгеновского анализа.

В ходе выполнения работы был получен комплекс данных о влиянии механической обработки на порошковую смесь $ZrO_2 - ZrW_2O_8$ и свойства керамики на ее основе. Определено влияние механической обработки на изменение морфологии и свойства исходной порошковой системы. Определены оптимальные условия механической обработки порошковой смеси. Показано влияние механической обработки на структуру и фазовый состав спеченных керамических композиционных материалов.

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

Область применения: Исследуемые материалы могут широко применяться в машиностроительных отраслях производств, авиакосмическая промышленность, химическая промышленность, машиностроение, радиоэлектроника.

В будущем планируется использовать результаты для дальнейших исследований получения керамики с размерной нонвариантностью.

Экономическая эффективность/значимость работы - данный проект является только научной разработкой и началом исследования, то интегральный финансовый показатель разработки рассчитать не

представляется возможным. В целом, данный проект является перспективным с точки зрения ресурсопотребления, так как в отличие от аналогов в проекте предусмотрены меньшие затраты на себестоимость будущей продукции за счет использования местных недорогих сырьевых материалов и возможное достижение требуемых физико-механических характеристик.

ABSTRACT

The master's final qualification work contains 71 pages, 19 drawings, 16 tables, 27 sources.

Key words: oxide ceramics, zirconium dioxide, zirconium tungstate, mechanical activation, structural - phase state.

The object of the study is ceramics based on ZrO_2 and ZrW_2O_8 .

The purpose of this work is to study the effect of machining on the powder mixture $ZrO_2 - ZrW_2O_8$ and the properties of ceramics based on it.

In the course of the study, the morphology of the original powder systems was investigated, the polished surfaces of ceramic composite materials were studied, and the phase composition was studied using X-ray analysis.

In the course of the work, a set of data was obtained on the effect of machining on the powder mixture $ZrO_2-ZrW_2O_8$ and the properties of ceramics on its basis. The influence of mechanical treatment on the morphology change and the properties of the initial powder system is determined. The optimum conditions for the mechanical processing of the powder mixture are determined. The influence of mechanical treatment on the structure and phase composition of sintered ceramic composite materials is shown.

Degree of implementation - The results will be used to develop structural and instrumental ceramic materials.

Scope: The materials studied can be widely used in engineering industries, aerospace industry, chemical industry, machine building, radio electronics.

In the future, it is planned to use the results for further studies of obtaining ceramics with dimensional nonvariance.

Economic efficiency / significance of the work - this project is only a scientific development and the beginning of the study, it is impossible to calculate the integral financial indicator of the development. In general, this project is promising from the point of view of resource consumption, since unlike analogues, the project provides for lower costs for the cost of future products through the use

of local inexpensive raw materials and the possible achievement of the required physical and mechanical characteristics.

Оглавление

Введение	10
1. Кристаллическая структура, фазовые переходы и основные свойства вольфрамат циркония	11
2. Способы получения керамических материалов	17
2.1 Холодное прессование	17
2.2 Горячее прессование	22
2.3 Механическая обработка керамических порошков	24
3. Материалы и методики	26
4. Механическая обработка порошка и свойства керамики $ZrO_2 - ZrW_2O_8$	27
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	35
6. Социальная ответственность	50
Заключение	66
Список литературы	68

Введение

Существует класс материалов, сжимающихся при нагревании, то есть обладающих отрицательным коэффициентом термического расширения. Среди представителей данного класса материалов выделяется сложная оксидная система – вольфрамат циркония, ZrW_2O_8 . В то время как такие материалы обладают анизотропным расширением, проявляющееся в достаточно узком диапазоне температур, вольфрамат циркония сохраняет уникальные свойства от очень низких до высоких температур (-273 до 770 °C).

Аномальное тепловое расширение вольфрамата циркония обусловило его применение в технологии получения композиционных материалов для создания композитов с заданным значением термического расширения. Полученные композиты могут найти применения в областях, предъявляющие строгие требования к линейным размерам изделий в процессе эксплуатации. Среди данных областей можно выделить оптико – волоконную промышленность, авиа – и ракетостроение и т.д.

На сегодняшний день недостаточно данных, касательно влияния механической активации на изменение морфологии порошков и, как следствие, их свойств. Целью работы являлось определить влияние механической активации порошков $ZrO_2 - Al_2O_3 - ZrW_2O_8$ на их морфологию, выявить оптимальное время перемешивания данных порошков в планетарной мельнице.

1. Кристаллическая структура, фазовые переходы и основные свойства вольфрамат циркония

Структура вольфрамата циркония представляет собой жестко связанный каркас, состоящий из октаэдров ZrO_6 и тетраэдров WO_4 , связанные в вершинах общими атомами O, рисунок 1. Каждый октаэдр соединен с шестью тетраэдрами, у WO_4 имеется по одному свободному атому кислорода, связаны только 3 из 4 вершин. Таким образом, на каждый WO_4 приходится по одному O, которые образуют $W - O$, не соединенные с ZrO_6 . Наличие свободной вершины у октаэдра WO_4 обеспечивает гибкость структуры.

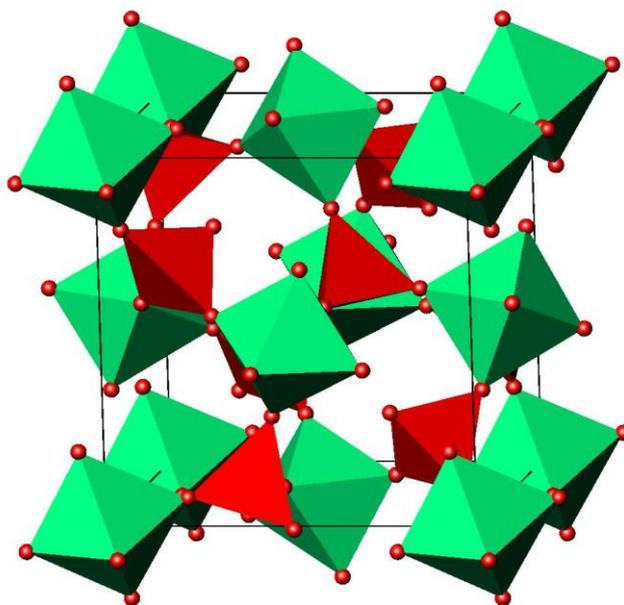


Рисунок 1 – Схематическое изображение структуры ZrW_2O_8 : сеть связанных октаэдров ZrO_6 и тетраэдров WO_4

Связанные структурные элементы формируют связь $W - O - Zr$. По мере повышения температуры наблюдаются поперечные колебания атома кислорода в обозначенной связи с сохранением межатомных расстояний $W - O - Zr$ и $O - Zr$ и уменьшением длины связи $W - Zr$. Это приводит к повороту структурных элементов относительно общего атома O на некий угол θ , рисунок 2. Данные структурные изменения приводят к сжатию кристаллической решетки и

обеспечивают сжатие материала. Такой механизм называется Режим жестких мод (Rigin Unit Mode), рисунок 3.

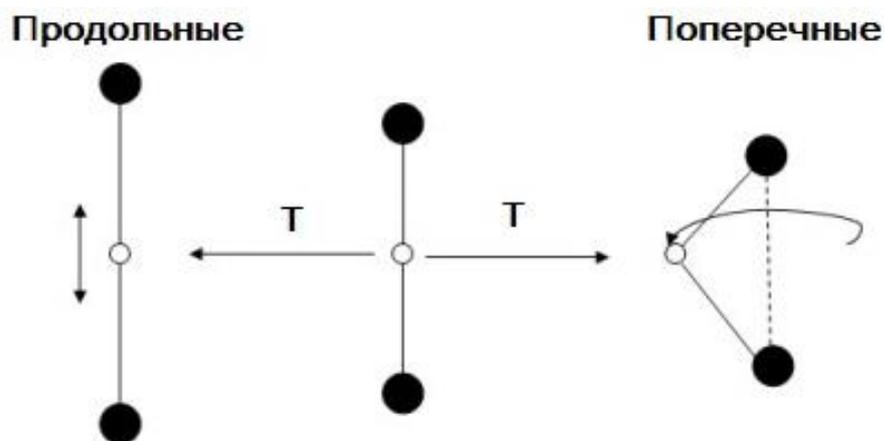


Рисунок 2 – Схематическое изображение продольных и поперечных колебаний атома

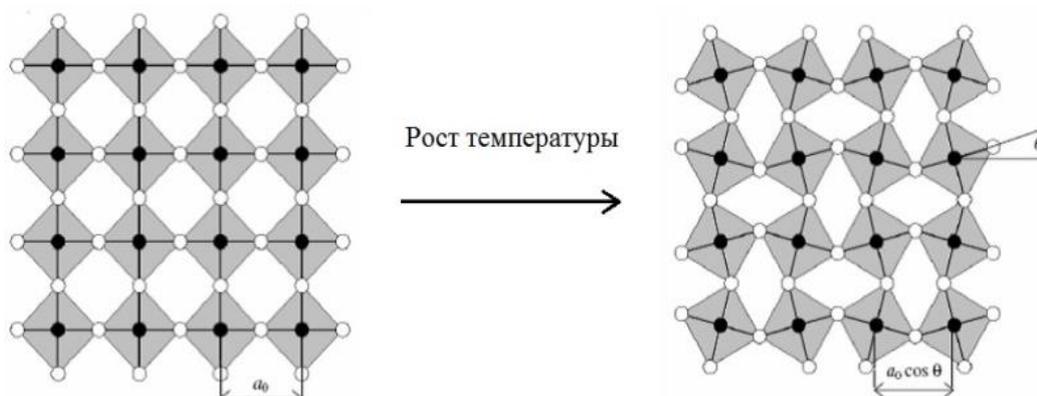


Рисунок 3 – Изменение кристаллической решетки с ростом температуры

Вольфрамат циркония представляет собой кристаллическую кубическую модификацию в метастабильном состоянии при комнатной температуре. На рисунке 4 показано тепловое поведение вольфрамата циркония от -273 до 1230 °С. Как видно, с ростом температуры до 770 °С параметр решетки вольфрамата циркония уменьшается, т.е. решетка сжимается. Повышение температуры выше 770 °С приводит к распаду соединения на составляющие оксиды вольфрама (VI) и циркония (IV). При 1105 °С осуществляется повторный синтез вольфрамата циркония, который, согласно диаграмме состояния [1],

является стабильным вплоть до 1257 °С с последующим плавлением с образованием жидкой фазы и оксида циркония, рисунок 5.

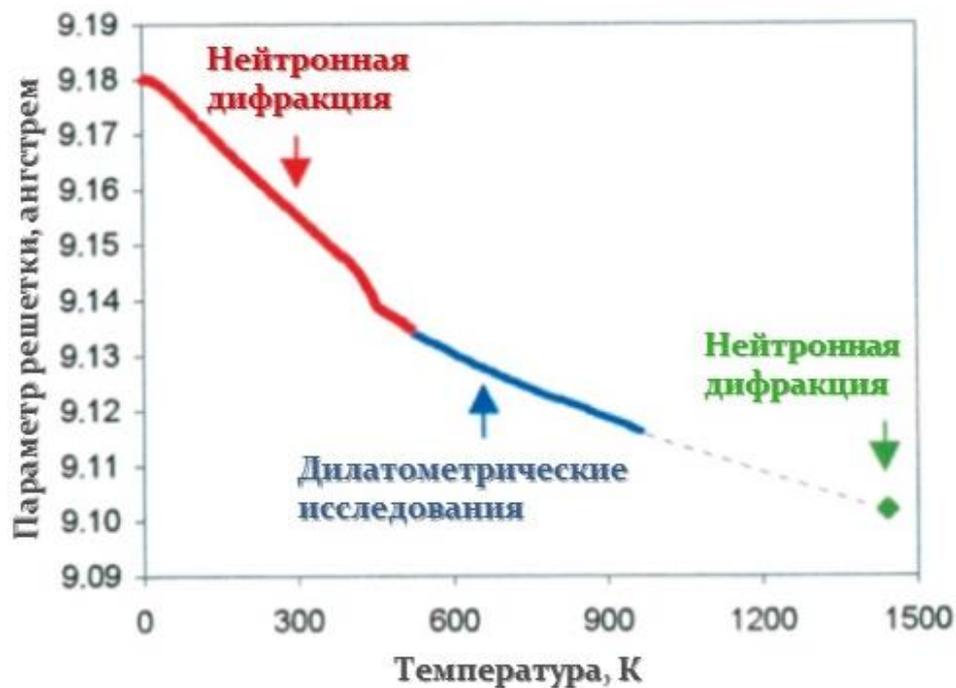


Рисунок 4 – Тепловое поведение ZrW_2O_8 в диапазоне от 0 до 1500 К [2]

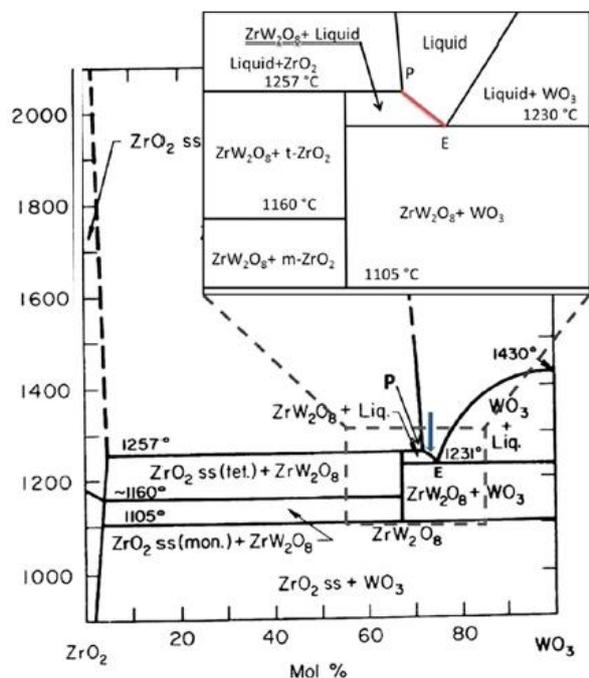


Рисунок 5 – Диаграмма состояния $ZrO_2 - WO_3$ [3]

Под действием внешних воздействий (изменение температуры, давления) вольфрамат циркония претерпевает фазовые превращения.

$\alpha \rightarrow \beta$ *переход*: С ростом температуры наблюдается миграция атома кислорода у несвязанной вершины WO_4 и большинство пар WO_4 начинают менять свое положение и в температурном интервале от 180 – 200 °С тетраэдры произвольно выстраиваются в направлении, противоположное направлению исходного положению. При этом вольфрамат циркония переходит из неориентированной (α – фаза, $P2_13$) в ориентированную структуру (β – фаза, $Pa\bar{3}$) [4], рисунок 6. Фазовый переход из низкотемпературной (α - ZrW_2O_8) в высокотемпературную β - ZrW_2O_8 модификацию носит название «порядок - беспорядок».

Согласно рентгеновским исследованиям [5], причина $\alpha \rightarrow \beta$ фазового перехода заключается в повышении симметрии пространственной группы, вызванном раз упорядочиванием тетраэдров WO_4 .

Согласно дилатометрическим исследованиям, на зависимости относительного удлинения материала от температуры наблюдается отклонение от монотонной зависимости при температуре фазового перехода, рисунок 1.8. Коэффициенты теплового расширения для низкотемпературной и высокотемпературной модификации имеют различные значения: - 8.9 и - 4.7 $\cdot 10^{-6}$ $^{\circ}C^{-1}$, соответственно [6].

$\alpha \rightarrow \gamma$ *переход*: При приложении давления выше 0.21 ГПа наблюдается фазовый переход из кубической в орторомбическую фазу вольфрамата циркония, сопровождаемый уменьшением давления на 5 %. При протекании $\alpha \rightarrow \gamma$ перехода каждый несвязанный атом О входит в координационную сферу W соседнего тетраэдра, что приводит к повороту структурных элементов, рисунок 7. Обратное превращение $\gamma \rightarrow \alpha$ наблюдается после снятия давления и нагрева выше 120 °С.

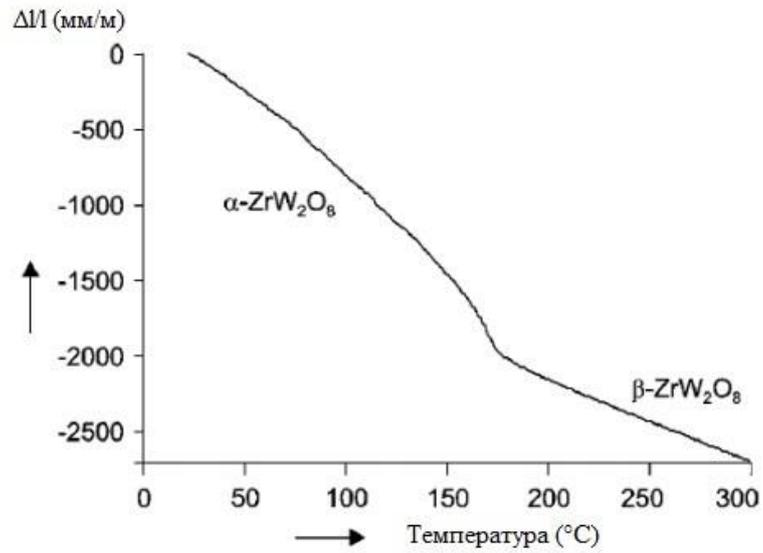


Рисунок 6 – Зависимость относительного удлинения материала с ростом температуры [7]

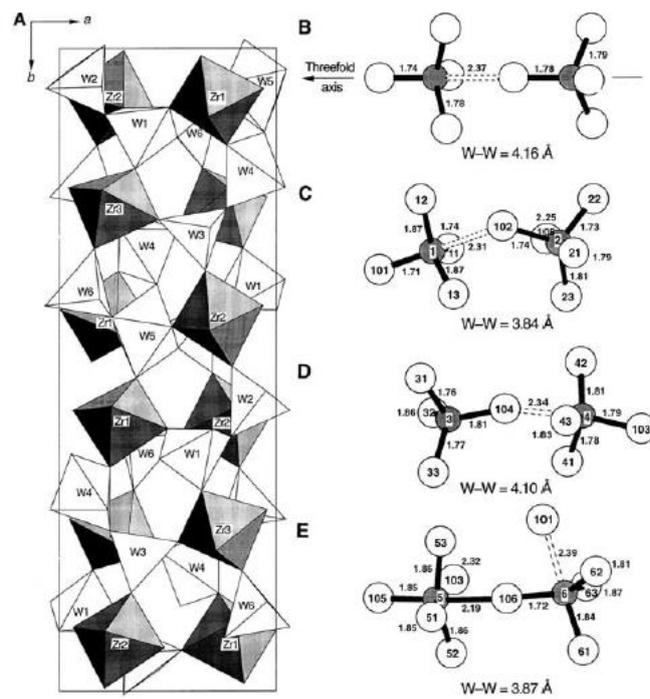


Рисунок 7 – Структура γ – ZrW_2O_8 (a) и сравнение парных групп WO_4 в α – ZrW_2O_8 (b) и три различные конфигурации для γ – ZrW_2O_8 (c – e)

2. Способы получения керамических материалов

2.1 Холодное прессование

Применяется при изготовлении конструкционных деталей. Легко поддается автоматизации и обеспечивает получение заготовок по форме и размерам соответствующих готовым изделиям. В большинстве случаев изделия, спрессованные в закрытых пресс-формах, никакой дальнейшей механической обработке не подвергаются, а после спекания поступают в эксплуатацию или проходят дополнительную обработку в целях улучшения состояния поверхности, повышения точности по размерам, придания специальных свойств [8].

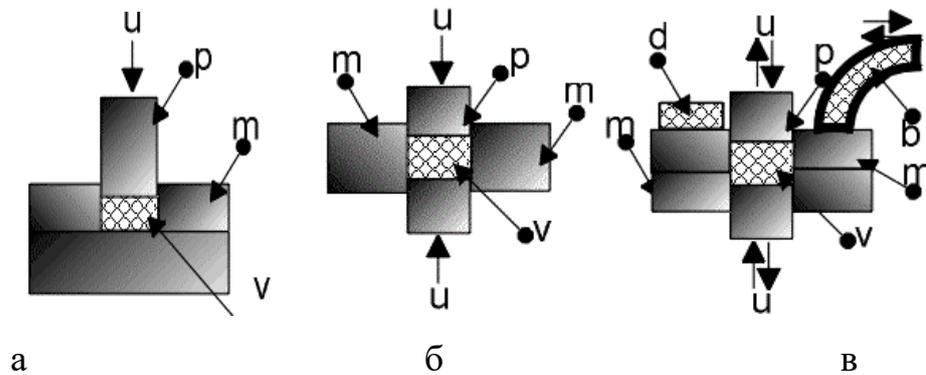


Рисунок 8 – Различные варианты прессования: а – прессование с одним пуансоном; б – прессование с двумя пуансонами; в – прессование с автоматически заполнением пресс-формы и выталкиванием готовой прессовки (u – направление усилия, m – матрица пресс формы, p – пуансон, v – прессуемое вещество (порошок), b - бункер-питатель, d – спрессованная деталь) [8]

Схема получения изделия

- 1) Получение исходного сырья
- 2) Формование изделий
- 3) Сушка
- 4) Обжиг (спекание)

В технологии традиционной керамики используется природное сырье (глины, полевой шпат, пески), подвергнутое соответствующей обработке. Обработка включает в себя измельчение и смешивание компонентов. Глинистые материалы обрабатывают в глинорезательных машинах, подсушивают и затем измельчают в дезинтеграторах.

Отощители, плавни измельчают в дробилках, шаровых, вибрационных мельницы. После измельчения порошки просеивают для получения нужных фракций. Компоненты шихты должны быть тщательно перемешаны и иметь необходимую степень влажности.

При формовании керамических материалов используют метод полусухого прессования и методы формования пластичных масс.

Прессование осуществляется на прессах различных конструкций в металлических пресс-формах либо на установках для гидростатического прессования. В первом случае достигается высокая производительность процесса, во втором – возможность получения равноплотных изделий сложной конфигурации.

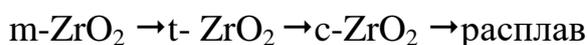
Полусухое прессование используется в технологии огнеупоров, стеновой керамики, электрофарфора. Пластическое формование наиболее распространено в технологии традиционной керамики.

Во время обжига протекают следующие процессы:

- спекание спрессованных частиц
- усадка или рост изделия
- полиморфные превращения
- химические реакции
- стеклообразование
- кристаллизация

Керамика на основе диоксида циркония

Особенностью диоксида циркония является его полиморфизм. Чистый ZrO_2 при комнатной температуре находится в моноклинной фазе и при нагреве испытывает фазовые превращения.



Переход при 1197°C $t-ZrO_2 \leftrightarrow c-ZrO_2$ имеет диффузионную природу и играет очень важную роль при производстве так называемого частично стабилизированного диоксида циркония. Превращение при 2300°C $m-ZrO_2 \leftrightarrow t-ZrO_2$ протекает по мартенситному механизму и сопровождается объемными изменениями 5–9%. Поэтому получать компактные изделия из чистого ZrO_2 невозможно.

Технология циркониевой керамики включает в себя несколько стадий:

- 1 Предварительный помол УДП с целью раздробления микросфер.
- 2 Формование порошков ZrO_2 методом одноосного статического прессования и прессованием в гидростатах при давлении 400–600 МПа.
- 3 Спекание при температуре 1500–2000 $^\circ\text{C}$ в зависимости от вида и количества оксида стабилизатора.
- 4 Термическая обработка - отжиг при 1400–1500 $^\circ\text{C}$ с целью выделения упрочняющих дисперсных включений t-фазы. При изготовлении изделий из тетрагонального ZrO_2 применяется закалка с температуры спекания 1600 $^\circ\text{C}$.

Максимально высокие прочностные характеристики имеют изделия из ZrO_2 , получаемые методами ГП и ГИП.

Традиционно керамика на основе ZrO_2 применяется в металлургической промышленности для изготовления тиглей для плавки металлов. Сегодня циркониевая керамика является одним из наиболее перспективных керамических материалов конструкционного и инструментального назначения и используется в технологии получения деталей газотурбинных и дизельных

двигателей, узлов трения, уплотнительных колец насосов, элементов запорной арматуры, форсунок распылительных камер, фильтр для протяжки проволоки, режущего инструмента. Также керамика на основе ZrO_2 находит применение в медицине для изготовления имплантантов в костные ткани.

2.2 Горячее прессование

Горячее прессование — это процесс, связанный с обработкой металла, который происходит в закрытых пресс-формах, при высоких температурах и давлении, возрастающем до заданной величины. Величина давления, которое необходимо для уплотнения порошка, обратно пропорциональна уровню температуры, т.е. с ее увеличением оно уменьшается [9].

Повышение контакта между частицами в процессе горячего прессования происходит за счет деформации под действием внешних нагрузок и собственной температурной подвижностью атомов.

Методом горячего прессования можно получить материалы с плотностью близкой к теоретической. Повышение давления приводит к достижению плотности материалов близкой к стопроцентной. Дальнейший рост давления не приводит к изменению механических свойств.

Горячее прессование совмещает процессы спекания и формования деталей в пресс-формах, которые нагреваются до необходимой температуры, при которой становится возможна реализация пластических свойств металлов. Процессы, происходящие при горячем прессовании, могут быть разделены на три основных стадии. На первой стадии, когда уровень плотности достигает до 90% от максимально возможного, происходит сдвиг и скольжение частиц относительно друг друга. Вторая стадия включает в себе процессы граничного скольжения частиц и начинающийся процесс объемной деформации. На третьей стадии происходит только объемная деформация [9].

Горячее прессование осуществляется либо в пресс-формах, которые производят из жаропрочных сплавов, либо из графита. Графитовые пресс-формы обычно используются при высокотемпературном прессовании, а из жаропрочных сплавов — при температурах ниже 1000 °С.

К основным достоинствам горячего прессования можно отнести:

- 1) высокие механические характеристики изделий;
- 2) минимальные допуски по размерам заготовок;

- 3) невысокие рабочие давления;
- 4) сокращение времени спекания.

Среди недостатков следует выделить:

- 1) применение дорогостоящих жаропрочных пресс-форм, которые быстро изнашиваются;
- 2) низкая производительность;
- 3) ограничение по геометрической форме получаемых изделий.

2.3 Механическая обработка керамических порошков

Механическая активация - эффективный метод повышения реакционной способности материалов, используемых в катализе, электронной технике, в качестве вяжущих, конструкционных материалов, в том числе, нанокристаллических и целого ряда других.

Механическая активация оксидных керамических систем позволяет уменьшить температуру спекания и проводить его в отсутствие добавок и без предварительного прессования шихты. При этом наибольший (почти 100%) выход материала достигается путем спекания активированной смеси, т.е. в условиях мягкого механохимического синтеза [10]. Механическая активация оксидных смесей в активаторе с гидростатическими обоймами и линейном индукционном вращателе имеет эффективный метод.

Механическая активация позволяет направленно воздействовать «структуру» керамической шихты в процессе её механообработки, при этом наблюдается ~100% выход продукта уже в течение 5 минут и обеспечивается понижение температуры спекания материалов на 200°C.

Большое влияние на конечный продукт оказывают условия механообработки шихты (длительность, материал барабанов и шаров, тип аппарата, размер и количество мелющих тел и др.), наряду с условиями термообработки и природой оксидов. Указанные факторы в большей степени ответственны за характер протекающих механохимических реакций и формирование гранулометрического состава порошковой смеси, морфологии частиц, существование в порошках агрегатов и агломератов, плотность и прочность последних.

Стоит отметить, что кратковременная механохимической смеси оксидов в заданном режиме и последующий отжиг при 1200°C является экономически выгоднее по сравнению, например, с технологией золь-гель метода или горячего прессования предварительно измельчённых оксидов.

При этом на конечный комплекс механических свойств керамических материалов влияют условия механической обработки. Далее будет рассмотрено влияние условий механохимической шихты (типа аппарата, режимов механического воздействия и т.п.), природы исходных соединений, режимов консолидации (прессования и спекания) на фазовый состав, структуру и физико-химические характеристики керамик (плотность, пористость) на основе перовскита, цирконолита, пирохлора и браннерита. Установлено, что реакции в активированных шихтах протекают с большей скоростью и завершаются при температуре на 100-300 °С ниже по сравнению с неактивированными порошковыми системами. Найдены оптимальные режимы механохимической шихты и её консолидации, обеспечивающие получение керамических матричных форм необходимого качества. В таблице 1 приведены физико-механические свойства полученной керамики в зависимости от способа обработки.

Таблица 1 – Физико-механические свойства керамики

Характеристика	Способ подготовки шихты	
	Без МА (растирание в ступке)	МА
Линейная усадка, %	0	16,6
Предел прочности при изгибе, МПа	0	100,0±10,7
Открытая пористость, %	48,8±1,3	0,3±0,1
Кажущаяся плотность, г·см ⁻³	2,10±0,05	4,07±0,04
Водопоглощение, %	23,2±3,2	0,1±0,1

3. Материалы и методики

В качестве исходных компонентов использовались:

- смесь порошков оксида циркония и оксида алюминия $ZrO_2 - Al_2O_3$
- вольфрамат циркония, полученный гидротермальным синтезом;

Порошки перемешивались в планетарной мельнице АГО 2. Порошки засыпались в стальные барабаны с керамическими вкладышами. В качестве мелющих тел использовались сферические корундовые шары с диаметром 8 мм с соотношением к порошку 5:1. Время перемешивания варьировалось и составило 1, 5, 10 минут.

Керамические композиты $ZrO_2 - Al_2O_3 - ZrW_2O_8$ были получены путем прессования порошковой смеси с последующим свободным спеканием при температурах 1200, 1300, 1400 и 1500 °С в течение 1 часа.

Исследование морфологии порошков осуществлялось на растровом электронном микроскопе Tescan Vega 3 (РЭМ) и просвечивающем электронном микроскопе JEM JEOL-2100 (ПЭМ).

Измерение удельной поверхности порошков проводилось на приборе «Сорби» методом низкотемпературной адсорбции газа.

Исследование фазового состава, структурных параметров материала осуществлялось на дифрактометре типа ДРОН с $CuK\alpha$ -излучением в диапазоне углов 2θ от 20 до 80° с шагом 0,05° и экспозицией 5 секунд. Идентификация фазового состава осуществлялась путем сопоставления с базой ASTM.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
154Б30	Ли Чан

Институт	ИСГТ	Кафедра	ММС
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Материаловедение и технологии материалов

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Образец спеченное изделие, Металлографический микроскоп, компьютер
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Для данной работы нормы и нормативы расходования ресурсов отсутствуют.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Данная работа не подлежит налогообложению.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Данная научно-исследовательская работа финансируется за счет средств государственного бюджета.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Согласно расчетам, себестоимость выполнения данной работы составляет 200 тыс. руб.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	В нашем случае бюджета затрат на научно-исследовательский проект только по варианту руководителя, по результатам НИР были выполнены поставленные задачи.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Альтернативы проведения НИ 4. График проведения и бюджет НИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б30	Ли Чан		

5.1 Экономические цели и актуальность работы исследования

Таблица 2 – Заинтересованные стороны проекта

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

Таблица 3 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Исследование закономерностей консолидирования керамики на основе диоксида циркония, активированного добавлением в шихту порошки ZrO_2 и ZrW_2O_8 в срок с сентября 2016 г по июнь 2017 г. Защитить бакалаврскую диссертацию в ТПУ 20.06.2017 г.
Ожидаемые результаты проекта:	бакалаврская диссертация
Критерии приемки результата проекта:	Публикации результатов работы в индексируемых отечественных и зарубежных журналах. Участие в конференциях.
Требования к результату проекта:	Требование: Успешная защита бакалаврской диссертации в ТПУ

5.2 Оценка потенциальных потребителей результата исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Из выявленных критериев целесообразно выбрать два наиболее значимых для рынка. На основании этих критериев строится карта сегментирования рынка.

В нашем случае целевой рынок является машиностроительной промышленностью. Проведем сегментирование и строим карту сегментирования рынка. Сегментировать рынок технологии керамика отрицательного теплового расширения можно по следующим критериям: уровень цены, конкретные применения (рисунок 19).

		Конкретные применения			
		Медицинские инструменты	Оптические приборы	Авиационные материалы	Дисковод компьютера
Уровень цены	Высокая	**	*	***	*
	Средняя	***	**	**	*
	Низкая	*	***	*	***

*** - очень высокая степень, ** - высокая степень, * - невысокая степень.

Рисунок 19 – Карта сегментирования рынка керамика отрицательного теплового расширения

В карте сегментирования показано, где наши на рынке технология керамика отрицательного теплового расширения уровень конкуренции низок. Как видно, для рынка медицинских инструментов и авиационные материалы, продукции с низкой ценой заняты низкой степенью конкуренции. Следовательно, продукции керамика отрицательного теплового расширения с низкой ценой, привлекают предприятия, занимающиеся медицинскими инструментами и авиационными материалами в будущем.

5.3 Календарный план выполнения научного исследования

5.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

С оставление этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка задания на ВКР	1	Составление и утверждение темы и задания ВКР	Дедова Е.С. Ли Ч.
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение литературы по теме НИР	Ли Ч.
	3	Составление плана работ	Дедова Е.С. Ли Ч.
	4	Постановка целей и задач	Дедова Е.С. Ли Ч.
Проведение ВКР			
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Получение порошков $ZrO_2 - ZrW_2O_8$	Ли Ч.
	6	Разработка составов смесей из порошков	Дедова Е.С.
	7	Горячее прессование при температурах 1000, 1100, 1200 °С в течение 5, 10, 20 минут при давлении 35 МПа в среде аргона.	Дедова Е.С. Ли Ч.
	8	Проведение рентгеновского анализа и изделия	Дедова Е.С.
	9	Проведение теоретических расчетов.	Ли Ч.
Выполнение отчета	10	Выполнение отчета	Ли Ч.
Обобщение и оценка результатов	11	Формование ВКР	Ли Ч.
	12	Проверка ВКР	Дедова Е.С. Ли Ч.

5.3.2. Разработка графика проведения научного исследования

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3 t_{mimi} + 2t_{maxi}}{5}$$

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

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

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

Определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

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

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

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

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

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

В 2017-ом году $k_{\text{кал}} = 366 / (366 - 105 - 14) = 1,48$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения свести в таблицу 5. На основе таблице 5 строится календарный план таблице 6.

Таблица 5 – Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}		Длительность работ в календарных днях, T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{\text{ож}}$, чел-дни					
	Дедова Е.С.	Ли Ч.	Дедова Е.С.	Ли Ч.	Дедова Е.С.	Ли Ч.	Дедова Е.С.	Ли Ч.	Дедова Е.С.	Ли Ч.
1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
2	-	4	-	5	-	4	-	4	-	6
3	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
4	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
5	-	3	-	5	-	5	-	5	-	7
6	1	-	2	-	1	-	1	-	2	-
7	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
8	1	-	2	-	1	-	1	-	2	-
9	-	4	-	6	-	6	-	6	-	8
10	-	6	-	7	-	8	-	8	-	12
11	-	6	-	7	-	8	-	8	-	12
12	3	3	7	7	5	5	5	5	7	7

5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

5.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы (5% от стоимости материалов).

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 7.

Таблица 7 – Материальные затраты

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

4.2 Амортизация основных фондов

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

$$I_{ам.обор} = \left(\frac{T_{исп.обор}}{365} \right) \times K_{обор} \times H_a,$$

где $T_{исп.обор}$ – время использования оборудование;

300 дней – количество дней в году;

$K_{обор}$ – стоимость оборудования;

H_a – норма амортизации.

$$H_a = \frac{1}{T_{с.с.обор}},$$

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

Расчёт затрат на амортизацию оборудования в таблице 8.

Таблица 8 – Затраты на амортизацию оборудования

№ п/ п	Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Время использования оборудование, Дн.	Срок службы, F _{сс} , год	Затраты, З _{об} , руб.
1	Гидравлический пресс «Р-20»	20000	1	10	8
2	Камерная вакуумная печь типа СНВЭ	3697000	1	10	1497
3	Планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL»	400000	2	10	324
4	Рентгеновский аппарат	3800000	1	15	1026
5	Компьютер с программой	73000	8	10	236
6	Фотокамера для микроскопа	23000	1	10	9
Итого:					3100

5.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Зарботную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (15 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

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

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 9).

Таблица 9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Значение, чел.-дн.
Календарное число дней	365
Количество нерабочих дней	118
Потери рабочего времени	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	247

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{tc});

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2.

k_p – районный коэффициент, равный 1,3

k_t – тарифный коэффициент, учитывается по единой.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 10.

Таблица 10 – Расчёт основной заработной платы руководителя.

Исполнители	Разряд	k_t	Z_{tc} , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	1	1	26400	0	0	1,3	34320	1445	19	27455

Расчет основной заработной платы руководителя сводится в таблице 11.

Таблице 11 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.- дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1	Составление темы	2	1445	2890
2	Выбор направления исследований	2	1445	2890
3	Календарное планирование работ	2	1445	2890
4	Разработка составов смесей из порошков	2	1445	2890
5	Горячее прессование	2	1445	2890
6	Проведение рентгеновского	2	1445	2890
6	Проверка ВКР	7	1445	10115
Итого:				27455

5.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, равен 30,2%.

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 27455 = 8291 \text{ руб.}$$

5.4.5 Расчет затрат на научные и производственные командировки

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$\text{Знакл} = (\text{сумма статей } 1 - 4) \cdot \text{кнр}$$

где кнр – коэффициент, учитывающий накладные расходы. можно взять в размере 16%.

$$\text{Знакл} = (1530+3100+24565+8219) \cdot 0,16 = 5986 \text{ руб.}$$

5.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по варианту руководителя приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	1530	Пункт 5.4.1
2. Амортизация основных фондов	3100	Пункт 5.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	24565	Пункт 5.4.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	8219	Пункт 5.4.4
5. Накладные расходы	5986	Пункт 5.4.5
Бюджет затрат НТИ		43400 руб.

Выводы: в экономическом разделе выпускной квалификационной работе подробно приведен «портрет» потребителя. Было проведено планирование и составлены графики научно технического исследования. Всего требуется 66 рабочих дней на реализацию научно технического исследования. Составлена смета затрат на научно техническое исследование. Величина затрат на реализацию НТИ составила 43400 рублей.

Список публикаций студента

1) Ше В. Исследование влияния температуры на структуру и фазовый состав инварной керамики / В. Ше, Ч. Ли, М. Ю. Петрушина, Е.С. Дедова // Материалы XI Всероссийской конференции молодых ученых "Проблемы механики: теория, эксперимент и новые технологии", 20–23 марта 2017 г, г. Шерегеш, Россия

2) Ше В. Исследование фазовых превращений $ZrO_2 - Al_2O_3 - ZrW_2O_8$ под действием температуры/ Ше В.Р., Ли Чан// Сборник тезисов // IV Всероссийский конкурс научных докладов студентов «Функциональные материалы: разработка, исследование, применение», 23-24 мая 2017, Томск, Тамбов