

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование физико-механических свойств и структуры функциональной керамики на основе оксида и нитрида алюминия

УДК 666.6.016:546.62

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б71	Караваяев Даниил Алексеевич		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Маланина В.А.	К.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Ваулина О.Ю.	К.т.н.		

Планируемые результаты обучения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке (-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-2	Способен использовать в профессиональной деятельности знания о подходах и методах получения результатов в теоретических и экспериментальных исследованиях
ОПК(У)-3	Готов применять фундаментальные математические, естественнонаучные и общеинженерные знания в профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен сочетать теорию и практику для решения инженерных задач

ОПК(У)-5	Способен применять в практической деятельности принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов
ПК(У)-2	Способен осуществлять сбор данных, изучать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию по тематике исследования, разработке и использованию технической документации, основным нормативным документам по вопросам интеллектуальной собственности, подготовке документов к патентованию, оформлению ноу-хау
ПК(У)-3	Готов использовать методы моделирования при прогнозировании и оптимизации технологических процессов и свойств материалов, стандартизации и сертификации материалов и процессов
ПК(У)-4	Способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств веществ (материалов), физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации
ПК(У)-5	Готов выполнять комплексные исследования и испытания при изучении материалов и изделий, включая стандартные и сертификационные, процессов их производства, обработки и модификации
ПК(У)-6	Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро - и нано- структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями
ПК(У)-7	Способен выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов
ПК(У)-8	Готов исполнять основные требования делопроизводства применительно к записям и протоколам; оформлять проектную и рабочую техническую документацию в соответствии с нормативными документами
ПК(У)-9	Готов участвовать в разработке технологических процессов производства и обработки покрытий, материалов и изделий из них, систем управления технологическими процессами

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки (специальность) Материаловедение и технологии материалов
 Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ О.Ю.Ваулина
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б71	Караваев Даниил Алексеевич

Тема работы:

Исследование физико- механических свойств и структуры функциональной керамики на основе оксида и нитрида алюминия

Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ №57-51/с от 26.02.2021
-------------------------------------	-------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	18.06.2021
--	------------

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><i>Объектом исследования является керамика на основе оксида и нитрида алюминия. Исследуется методами активирования спекания (механическая активация порошков в планетарной мельнице, добавление в шихту субмикронных оксидных порошков), структура и физико-механические свойства керамики. Рассмотрены вопросы социальной ответственности, проведен экономический анализ эффективности производства изделий из исследованной керамики.</i></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, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Аналитический обзор по теме исследования. - Изучение структуры, свойств и применение керамики на основе Al_2O_3 и $AlON$. - Изучение процессов порошковой технологии. - Активирование процессов спекания керамики на основе оксида алюминия. - Заключение по работе.
--	--

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Титульный лист - Актуальность, цель работы - Материалы и методы исследования - Результаты исследований - Заключение
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент...	Маланина В.А., доцент ОСГН ШБИП ТПУ
Социальная ответственность	Черемискина М.С., Ассистент

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

1. Обзор литературы (русский язык)
2. Объект и методы исследования (русский язык)
3. Результаты проведенного исследования (русский язык)
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение (русский язык)
5. Социальная ответственность (русский язык)

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б71	Караваев Д.А.		

Обозначения и сокращения

НП – нанопорошок

ПХС – плазмохимический синтез

ГП – горячее прессование

ИПС – Искровое плазменное спекание

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 85 с., 24 рис., 26 табл., 18 источников.

Ключевые слова: оксид алюминия, нитрид алюминия, нанопорошок, активированное спекание, горячее прессование, наноиндентирование.

Объектом исследования являются порошки на основе оксида алюминия с различными добавками и порошки на основе оксида и нитрида алюминия.

Цель работы – исследование структуры и физико-механических свойств керамики на основе оксида и нитрида алюминия.

В процессе исследования проводились получение измельчённой порошковой смеси, затем прессование ее и спекание после этого изучение полученных образцов.

В результате исследования определены плотность прессовок, плотность спечённых образцов, измерения модуля упругости, микротвердости и прочности на наноинденторе, исследована структура и трещиностойкость.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: полученные в ходе исследования результаты, могут быть использованы для производства изделий из оксидной и нитридной керамики конструкционного и функционального назначения.

Степень внедрения: результаты будут использованы для разработки высокопрочных жаропрочных керамических материалов.

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

Экономическая эффективность/значимость работы представляет из себя пока только научную разработку и началом исследования, поэтому финансовый показатель разработки рассчитать не представляется возможным. Полученные результаты исследования дополняют имеющийся багаж знаний о керамике для дальнейших разработок.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1. Обзор литературы	11
1.1 Свойства и структура керамики на основе оксида алюминия	11
1.2 Структура и свойство керамики на основе оксинитрида алюминия.	15
1.3 Получение оксида и нитрида алюминия	16
1.4 Получение исходных порошков	18
1.5 Способы формования оксидных порошков	21
1.6 Спекание оксидных керамик	23
1.7 Горячее прессование.....	25
2. Экспериментальная часть	28
2.1 Объект и методы исследования.....	28
2.2 Результаты проведенного исследования	35
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	44
4. Социальная ответственность	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	82
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	84

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом все сложнее назвать такую область современной науки и техники, где бы не использовались керамические материалы. Свою востребованность они приобретают из-за ряда свойств и особенностей, благодаря которым их можно использовать вместо традиционных материалов. Обобщение всей имеющейся информации по этому вопросу в силу ее огромного объема и разнообразия вряд ли возможно и целесообразно. Поэтому для написания литературных обзоров в этой области обычно выбираются и подробно рассматриваются один или два соответствующих сегмента в глобальном вопросе. В данном обзоре в качестве таких сегментов выбраны керамика на основе оксида и нитрида алюминия и высокопрочные материалы. Оксид и нитрид алюминия являются одними из перспективных керамических материалов, за счет сочетания в себе удачных для производства механических характеристик с одной стороны и широким распространением сырьевых материалов с другой.

Работа содержит в себе способы создания высокопрочных материалов с разными составами порошковых смесей. Зависимости физико-механических характеристик от составов испытываемых керамик. Полученные знания дадут толчок для развития и усовершенствования новых композиционных материалов на их основе.

Керамика хоть и появилась давно в жизни человека, потенциал ее применения ещё очень большой. С появлением большей информации о ней она начнет присутствовать в еще больших отраслях.

В дальнейшем, на базе полученных результатов изучения керамику можно развивать в микроэлектронике в роли подложки для микросхем. Присутствие керамики в этой отрасли получится благодаря еще и диэлектрическим свойствам.

Создании эффективных технологий получения, высокопрочных керамик сделает ее более доступным материалом, в отраслях, требующих высокий модуль упругости, плотность, твердость, трещиностойкость в объединение с малой теплопроводностью или прозрачностью. Например, в качестве специальных средств защиты, деталей двигателей в авиакосмической промышленности и в качестве ударопрочной керамики.

Целью работы является исследование физико-механических свойств и структуры керамики на основе оксида и нитрида алюминия и добавок.

1. Обзор литературы

1.1 Свойства и структура керамики на основе оксида алюминия

Керамика на основе Al_2O_3 получила наибольшее распространение среди тугоплавких оксидов. На это повлияло объединение в себя ряд подходящих для производства свойств.

Главной причиной является доступность сырья. Оксид алюминия производят из природных минералов таких как: нефелин, боксит и каолин.

Корунд (α -модификации оксид алюминия) имеет высокую твердость – 9 по шкале Мооса. В отличие от других керамик, например, MgO и CaO с твердостью 5-6 по шкале Мооса.

Оксид алюминия имеет достаточную химическую стабильность в отличие от некоторых тугоплавких оксидов. Например, при комнатной температуре оксид кальция уже начинает реагировать с водой. Так же Al_2O_3 характеризуется температурой плавления 2050 °С, плотностью 3,97 г/см³, теплостойкостью, износостойкостью, диэлектрическими свойствами.

В таблице 1 представлено большое количество различных кристаллических решеток соединения алюминия с кислородом [1].

Таблица 1 – Полиморфные модификации Al_2O_3 [2]

Фаза	Сингония / Тип решетки	Пространств. группа	a , Å	b , Å	c , Å	V , Å
α - Al_2O_3	Тригональная корунда	$R3c$	4,75	–	12,99	254,8
β - Al_2O_3	Гексагональная –	–	5,56	–	13,44	359,4
γ - Al_2O_3	Кубическая шпинели	$Fd3m$	7,95	–	–	502,5
η - Al_2O_3	Кубическая шпинели	$Fd3m$	5,58	3,24	4,57	82,6
δ - Al_2O_3	Тетрагональная деформ (шпинели)	–	7,94	–	23,50	1482,6
θ - Al_2O_3	Моноклинная деформ (шпинели)	$C2/ m$	11,24	5,72	11,74	734,4
κ - Al_2O_3	Гексагональная	–	9,71	–	17,80	1451,7

Наиболее распространенными фазами являются: α (тригональная сингония), β (гексагональная сингония) и γ (кубическая сингония). Фаза γ включает в себя несколько переходных модификаций: η , ε -, δ -, θ -, ρ -, κ - Al_2O_3 .

Из всех фаз α -модификация наиболее исследована (Рисунок 1). Оксид алюминия в форме α - Al_2O_3 так же известен как корунд, является наиболее стабильной фазой, поэтому модифицированных превращений не имеет [1, 3]. Для α - Al_2O_3 происходит формирование полностью упорядоченной структуры с тригональной сингонией, в которой $2/3$ октаэдрических пустот заняты ионами Al^{3+} , с упаковкой ионов O^{2-} . В ней оксид устойчив при нагревании вплоть до температуры плавления 2044°C и относится к тугоплавким. Плотность $3,99\text{ г/см}^3$. Показатели преломления N_c и N_0 соответственно равны $1,758$ и $1,767$.

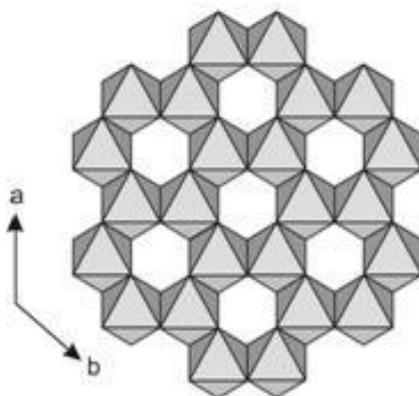


Рисунок 1 – Структура корунда

Диэлектрические свойства корунда зависят от количества природных примесей и специально вводимых добавок. У корундовых материалов удельное электросопротивление, как и у других керамических материалов понижается с увеличением температуры. При нормальных условиях составляет $1 \cdot 10^{18}$ Ом/см. В пределах 45-60 кВ/мм находится пробивная напряженность [3].

Фаза β – модификация также известна как глинозем. Имеет плотность 2,31 г/см³. Оптические свойства N_o от 1,66 до 1,68 и N_e от 1,63 до 1,65. Одним из способов получения глинозема является получение из высокоглиноземных расплавов и методом катионного обмена. Метод катионного обмена — это обработка в расплавленных солях некоторых металлов глинозема при высокой температуре [2, 4, 5]. Так получается целый класс соединений оксида алюминия, с малым содержанием оснований ($MeO \cdot 6Al_2O_3$, $MeO \cdot 11Al_2O_3$, где MeO – K_2O , Na_2O_3 , BaO , CaO) [5].

Для γ -оксида алюминия имеет плотность 3,65 г/см³. Для хорошо выкристаллизовавшегося γ - Al_2O_3 обычно составляет 3,47-3,5 г/см³. Оптические свойства N_o равны 1,73. У γ -оксида известны 4 модификации: γ - Al_2O_3 – мелкодисперсный, γ' - Al_2O_3 – явнокристаллический (плотный), γ - Al_2O_3 ; кубический (η -алюминий); γ_n - Al_2O_3 (некубический). При температуре,

превышающей 1500 °С, γ -глинозем переходит в α - Al_2O_3 . По оптическим свойствам глинозем дает четкую дифракционную картину с резкими линиями.

1.2 Структура и свойство керамики на основе оксинитрида алюминия

Керамика на основе оксинитрида алюминия (AlON), основной фазой имеет модификацию γ -AlON кубической сингонии. Она демонстрирует ряд свойств превосходящие у других материалов благодаря специфическим особенностям ковалентных связей. Температура плавления без разложения 2165 °С. У керамики на основе оксинитрида алюминия, общей формулой является $Al_{(64+x)/3}O_{(32-x)}N_x$, где $0 < x < 8$. Из них самым устойчивым твердым раствором, является формула с значениями $x=5$ с общим видом $Al_{23}O_{27}N_5$ [9].

В таблице 2 представлены некоторые физико-механические свойства AlON.

Таблица 2 – Значения физико-механических свойств AlON [19]

Материал	Свойство				
	Модуль Юнга, ГПа	Плотность, г/см ³	Коэффициент Пуассона	Предел прочности при изгибе, МПа	Микротвердость по Кнупу, ГПа
Оксинитрид алюминия (Al ₂₃ O ₂₇ N ₅)	317	3,70	0,24	379	18,0

Керамика на основе AlON имеет высокие показатели по значениям механических свойств и хорошие показатели по плотности. Показатель преломления составляет 1,789. Сочетание механических и оптических свойств вызвало особое внимание у специалистов работающих в сфере прозрачных керамических материалов.

1.3 Получение оксида и нитрида алюминия

Нанопорошок алюминия кладут на керамику и поджигают. Под действием само распространяющегося синтеза порошок начинает гореть на воздухе. Когда он прогорает образуется корка (спек). Т.к. в атмосфере воздуха содержится 78% азота он под действием температур реагирует с алюминием в следствие чего образуется нитрид алюминия. В тоже время кислород воздуха реагирует с алюминием из-за чего образуется оксид алюминия. Таким образом в результате спека нанопорошка алюминия (простой алюминия бесполезно сжигать) нанопорошок сгорает и образуется смесь оксид и нитрид алюминия.

Для получения оксинитрида алюминия используют промышленные порошки AlN и α -Al₂O₃. Необходимое соотношение, соответствующее количеству составу γ -AlON берут из диаграммы состояния системы (Рисунок 2).

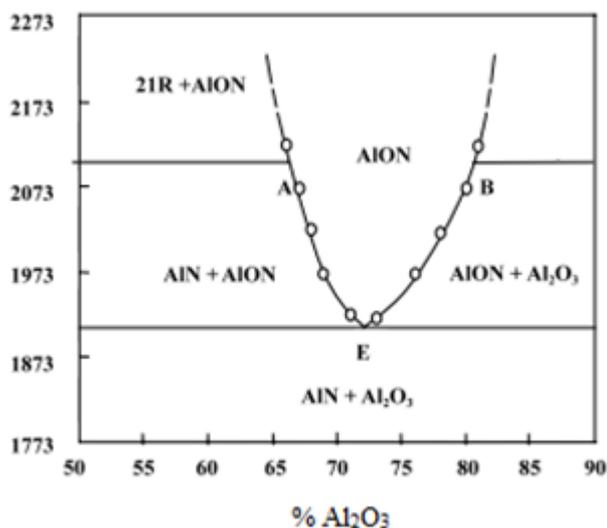


Рисунок 2 – диаграмме состояния системы AlN–Al₂O₃ [10]

После получение нужных составов смесей порошки подвергались либо спеканию, либо горячему прессованию. Традиционные технологии порошковой металлургии проходят при высоких температурах. Из-за высоких температур появляется внутрикристаллическая и межкристаллическая пористость с

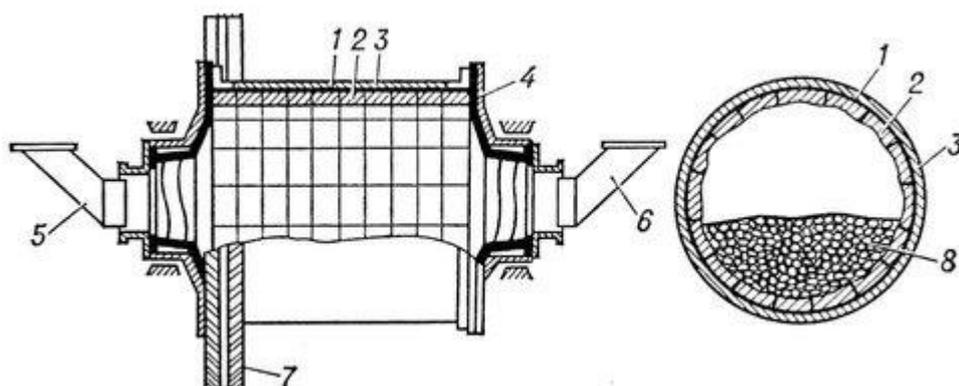
интенсивной рекристаллизации. Это приводит к уменьшению прочности. Для снижения температуры спекания одним из вариантов является добавления в оксидные порошки добавок Y_2O_3 с более высокими прочностными характеристиками. Создание такой композиционной структуры повышает подвижность границ зерен. Появляется жидкая фаза $Y_2O_3-Al_2O_3$ на границах зерен, которая повышает механизмы массопереноса в течении спекания. Вдобавок увеличение содержания добавок уменьшает размер зерен [8]. В этих процессах спекания керамики в атмосферу выделяется только азот. Это существенно улучшает экологическую обстановку при ее производстве по причине безвредности для окружающей среды и человека.

Спекание и горячее прессование является наиболее важными технологическими процессами, потому что в решающей степени от выбора их параметров определяются конечные свойства получаемых материалов и изделий.

1.4 Получение исходных порошков

В порошковой металлургии производство исходного сырья разделяется на следующие методы: механические и физико-химические. Подробно рассмотрим наиболее эффективный и распространённый – механический метод.

К механическим этапам относится дробление в мельницах. Самым простым аппаратом для измельчения является сферическая вращающаяся мельница (Рисунок 3). Принцип работы заключается в вращении барабана, в котором мелющие тела сферической формы и измельчающие материалы движутся по круглой траектории и доходя до верхней точки падают вниз. Материал разрушается под действием падения и истирания [6].

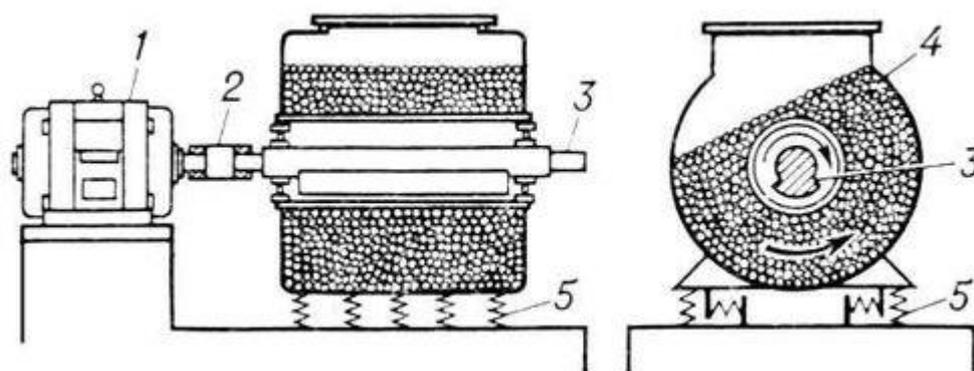


1 – барабан; 2 – броневые плиты; 3 – изоляция; 4 – торцовый фланец мельницы; 5 – входной патрубок; 6 – выходной патрубок; 7 – ведомая шестерня; 8 – шары

Рисунок 3 – Приборы шаровой мельницы схема перемещения шариков в барабан

Дробление в шаровых вибрационных мельницах. В вибрационных мельницах присутствует возможность вести как мокрое, так и сухое измельчение до высокой степени дисперсности материалов. Изображение такой мельнице представлено в двух видах на рисунке 4. Измельчение происходит за счет создания усталостного режима разрушения материала под действием высокой частоты колебания, в которой измельчающие тела многосторонне воздействуют

на материал. Они обеспечивают быстрое и точное шлифование различных материалов, например, карбидов титана, вольфрама, кремния, хрома, ванадия, бора и т. д. Материал для мелющих тел чаще всего стали или твердых сплавов. Дробление зависит от таких параметров как: амплитуда и частота колебаний; форма; размер и материал дробящих тел; степень заполнения корпуса мельницы измельчающими телами [6].



1 – электродвигатель; 2 – эластичная муфта; 3 – вал с дебалансом; 4 – барабан;
5 – пружины

Рисунок 4 – Схема работы вибрационной мельницы

Дробление планетарными центробежными мельницами. Планетарные центробежные мельницы (Рисунок 5) измельчают материалы быстрее, чем это делают обычные сферические и вибрационные мельницы.

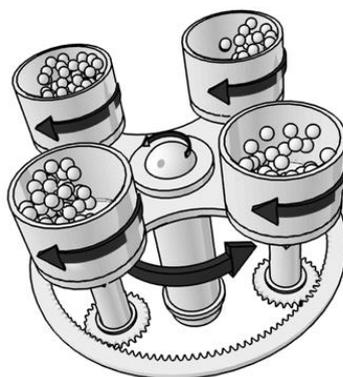


Рисунок 5 – Схема работы планетарной мельницы

Каждый из четырех барабанов с шлифовальным материалом вращается вокруг своей собственной оси, в противоположную сторону куда вращается общий диска, на котором эти барабаны закреплены. То есть направления вращения противоположны [6].

1.5 Способы формирования оксидных порошков

Прессование – формирование порошкообразных материалов, которые производятся с определённой силой, плотностью и формой для последующего изготовления изделия. Приготовленная смесь порошков уплотняется в стальных пресс-формах. В ней будущему изделию задается размер и форма.

Зависимость плотности порошка от давления прессования. Увеличение плотности прессовок за счет увеличения давления является неравномерным. На первой стадии прессования как показано на рисунке 6, увеличение давления сразу вызывает довольно большое увеличениями плотности прессовок. Это происходит за счет изменений свободно перемещающихся по объему пресс-формы частиц по свободным зазорам. На второй стадии видно незначительное влияние давления на плотность порошковой массы. Начинается плотное соприкосновение частиц между собой из-за почти полного отсутствия зазоров. Частицы испытывают упругую деформацию. Появляется сопротивление сжатия. На третьей стадии под действием высокого давления частицы начинают испытывать пластическую деформацию и плотность материала вновь начинает возрастать. И с последующим прессованием, наступает момент равновесие, а в некоторых составах понижение плотности [7].

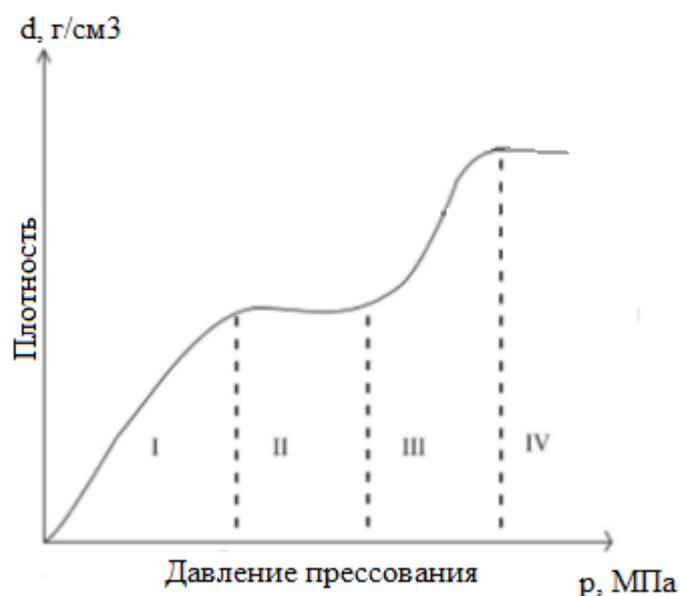
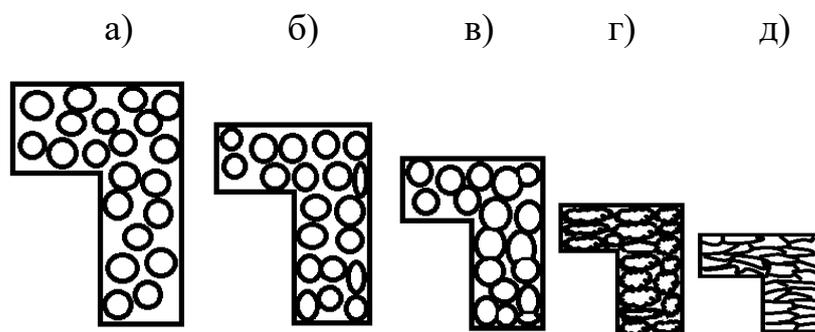


Рисунок 6 – Диаграмма зависимости плотности порошка от давления прессования

Эта диаграмма зависимости объясняется рядом последовательных стадий уплотнения, каждая из которых представлен на Рисунке 7.



а – свободно засыпанный порошок в пресс-форму; б- вытеснение воздуха при свободно засыпанных частицах; в - разрушение лингвистики; г - начало деформации частиц; д - конец прессования

Рисунок 7 – Этапы прессования закрытых форм

1.6 Спекание оксидных керамик

Спекание – это нагрев и выдержка порошковой формовки при повышенных температурах, но ниже температуры плавления металла с целью обеспечения заданных механических и физико-химических свойств [12]. При начале процесса спекания образец, состоит из отдельных частиц порошка, с нагревом частицы сцепляются между собой тем самым соединяясь превращаясь в единый материал. На рисунке 8 показано образование шеек между частицами, вызванное спеканием [18]. Металлы подвержены окислению при повышенных температурах, и именно по этой причине спекание осуществляется в контролируемой атмосфере и в вакуумных печах. Некоторыми факторами контроля во время спекания являются температура спекания, скорость нагрева, время спекания, атмосфера спекания и скорость охлаждения.



Рисунок 8 – Представление образования шеи, вызванное спеканием [18]

На свойства спеченной керамики влияет режим спекания. Он разделяется на два типа: линейный или ступенчатый.

Для линейного режима спекания характерно постепенное нагревание порошка до необходимой температуры. Недостатком этого метода является неоднородность полученного материала из-за проявления у образца различий в механизмах массопереноса крупных и ультрадисперсных частиц. При росте температур у керамики появляются разные стадии спекания. Решить эту проблему с помощью медленного нагрева не получится потому что происходит

интенсивная рекристаллизация зерен, что приводит к уменьшению механических характеристик. Быстрый нагрев тоже не поможет поскольку при нем появляется внутренняя пористость у зерен.

Эти недостатки может решить ступенчатый нагрев. Нагрев порошка тоже происходит до определенной температуры, но при этом на некотором участке рост ее останавливается и становится постоянной в течении необходимого времени. Время выдержки нужно для того чтобы при определенных температурах в большей части завершить процессы спекания. Это помогает получить более однородную мелкозернистую структуру, в результате завершения разных механизмов массопереноса. Вместе с тем, керамика из той же смеси при спекании со ступенчатым нагревом, имеет большие характеристики, чем с линейным [13, 14].

Кроме режимов спекания на механические характеристики образца влияют другие параметры спекания. Меньшие частицы порошка спекаются быстрее, но это увеличит эксплуатационные расходы, а также увеличится уровень примесей в конечном продукте. От времени спекания зависит стоимость разработки и рост зерен.

1.7 Горячее прессование

Горячее прессование (ГП) – это процесс формирования материалов из порошков, сочетающий одновременно прессование и спекание порошков при температуре 0,5-0,8 от температуры плавления основного компонента шихты. Горячее прессование совмещает в себе одновременно два этапа: прессование и спеканием.

Недостатком этого метода считается невозможность изготавливать изделия сложнопрофильных конструкций и появление температурного градиента, из-за которого появлялась неоднородность в керамике. Неоднородности изделия объясняется тем, что заготовка от нагреваемой поверхности до центра прогревается неравномерно. Поэтому производство крупногабаритных изделий таким методом ограничено. Вдобавок ГП по длительности занимает относительно большое время. Эти недостатки ГП могут быть преодолены с помощью метода искрового плазменного спекания [11].

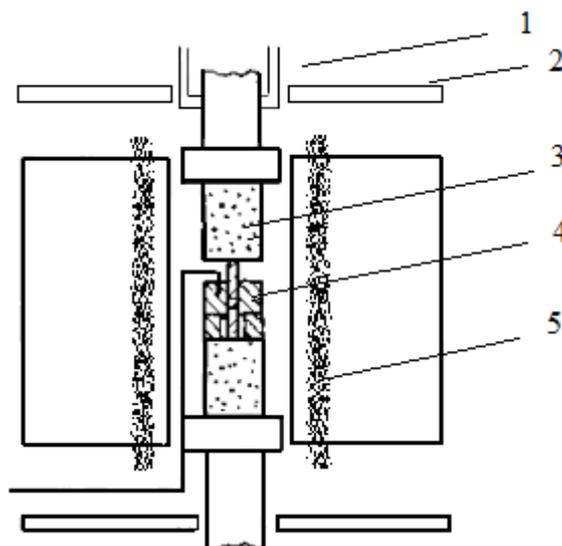
Искровое плазменное спекание (ИПС) – это технология спекания, основанная на пропускании через спекаемый материал мощных прямоугольных импульсов постоянного тока. Роль нагревателя в этом процессе играет электрический ток, который быстрее по скорости нагрева и как следствие менее затратный по времени спекания. Это уменьшает вероятность роста зерен и способствует достижению равновесного состояния. В добавлении, методом ИПС возможно изготавливать изделия сложных конструкций [15].

Несмотря на недостатки ГП этот метод применяется в работе т.к. получаемые образцы не требуют больших размеров. В начале получают порошок, которые затем измельчают и смешивают. Затем его помещают в пресс форму, после чего она нагревается. Нагрев пресс-форм осуществляется вольфрамовыми элементами. На механические свойства образцов влияют таких параметры как длительность выдержки на плотность и температура. Для того чтобы керамика имела светопропускание требуется наличие поглощающих и

рассеивающих центров, к которым прежде всего относится пористость. Полученные образцы имеют в большинстве своем цилиндрическую форму.

Горячепрессованные материалы имеют более высокие механические и физические характеристики по сравнению, с последовательным прессованием и спеканием порошка того же состава.

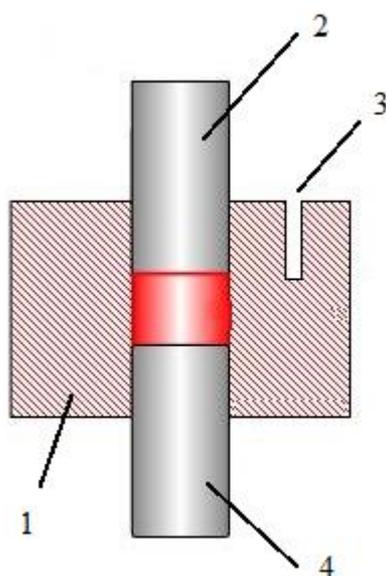
В избежание окисления прессуемого изделия используется вакуумированные камеры или создается защитная среда. В данном типе печи (Рисунок 9) возможно с большой точностью проводить нагрев и охлаждение по установленному режиму с помощью системы водного охлаждения, а также поддерживать требуемую температуру.



1 – система водного охлаждения; 2 – металлическая теплоотражающая плита; 3 – корундовый стержень для передачи давления; 4 – пресс-форма; 5 – нагревательный силитовый стержень

Рисунок 9 – Схема установки для горячего прессования

Заполнение формы горячего прессования (Рисунок 10) осуществляется путем поднятия верхнего пуансона 2 и погружения порошка или заготовки на нижний пуансон 3 после чего прессуется верхним пуансоном. Заготовка окружена корпусом формы, которая также является горячей формой



1 – корпус формы; 2 – верхний пуансон; 3 – щель для термопары; 4 – нижний пуансон

Рисунок 10 – Схема установки для горячего прессования

При горячем прессовании появляется возможность получения изделия с плотностью близкой к теоретической и возможность регулирования микроструктуры.

2. Экспериментальная часть

2.1 Объект и методы исследования

В качестве объектов исследования в работе выступали керамики, полученные из плазмохимических промышленных нанопорошков (НП) Al_2O_3 .

Для повышения эксплуатационных характеристик в порошок Al_2O_3 добавляли добавки с более высокими прочностными характеристиками (MgO , TiO_2 и т.д.). Так же это делалось для сохранения при спекании мелкозернистой структуры керамики и торможения рекристаллизации корунда. Для снижения температуры спекания применяли субмикронный промышленный порошок TiO_2 .

Для получения $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ нанопорошок Al_2O_3 отжигали в высокотемпературной печи. Процесс происходил при ступенчатом режиме в воздушной атмосфере с нагревом до 1500°C и выдержкой в течение одного часа.

Смеси были получены перемешиванием исходных порошков в планетарной шаровой мельнице «Активатор 2SL» (Рисунок 11), в стальных стаканах. Режим активации отожженных порошков и добавок был выбран: по времени 20 минут; скорость вращения размольных стаканов составляла 20 с^{-1} (20 Гц). Мелющими телами являлись диоксид циркониевые шары. Соотношение масс порошка и шаров составляло 1:3.



Рисунок 11 – Планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL»

В результате изготовили по 3 образца каждого состава порошковой смеси, содержание которые указаны в таблице 3.

Таблица 3 – Составы порошковых смесей

№	Содержание, мас. %
1	99,6% Al_2O_3 – 0,4% MgO
2	98,6% Al_2O_3 – 0,4% MgO – 1% TiO_2
3	97,6% Al_2O_3 – 0,4% MgO – 2% TiO_2
4	95,6% Al_2O_3 – 0,4% MgO – 4% TiO_2

Формовку образцов в виде цилиндров проводили путем одноосного прессования при давлении 300 МПа в течении 30с. Засыпали порошок в пресс-форму предварительно смазав маслом внутреннюю часть в избежание взаимодействия прессуемого порошка с материалом пресс-формы. Полученные

прессовки имели следующие параметры: диаметром $25 \pm 0,01$ мм и высотой $5 \pm 0,01$ мм.

Спекание полученных прессовок производили во высокотемпературной печи. При ступенчатом режиме с нагревом до 1700 °С и выдержкой в течении 1 минуты (Рисунок 12).

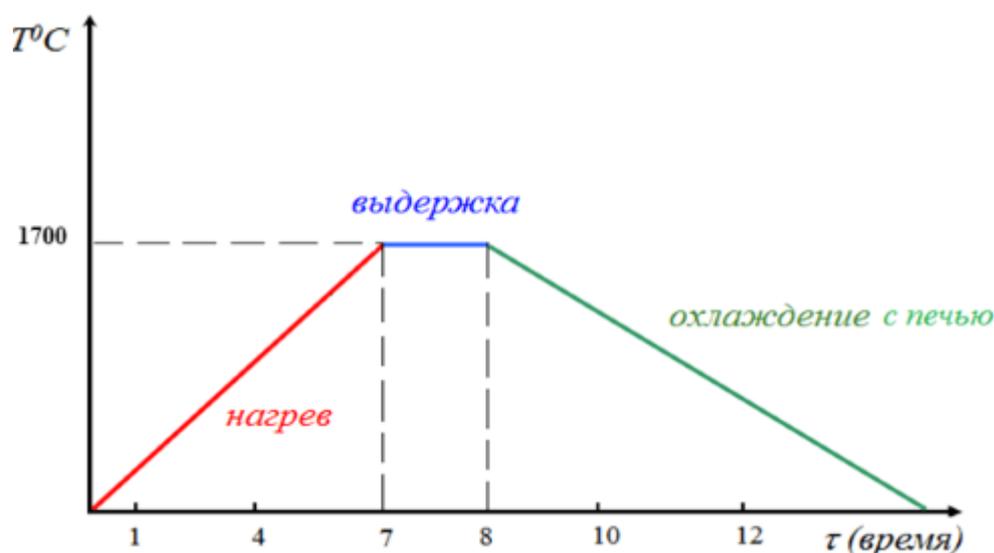


Рисунок 12 – Термический режим спекания керамических прессовок в высокотемпературной печи

Для получения керамики ALON, были сделаны следующий этап:

1. Сжигание НП Al в атмосфере воздуха, этим получая смесь, состоящую из Al_2O_3 , AlN, ALON.
2. Получение порошка с равномерным распределением компонентов смеси в планетарной шаровой мельнице в течении 20 минут при 20 ГЦ.
3. После помола в планетарной мельнице порошок оксинитрида прессовали методом ГП в графитовой пресс-форме в атмосфере Ar. ГП является эффективной технологией, объединяющей в себе два процесса: прессование и спекание. При этом нитриды в воздушной печи спекать нельзя, потому что они в ней окисляются от атмосферы воздуха. Режимы ГП указаны в таблице 4. ГП производили в ИФПМ СО РАН.

Таблица 4 – Режимы горячего прессования

Состав порошка	Давление прессования, МПа	Время изотермической выдержки, мин	Температура спекания, °С
AlN и Al ₂ O ₃	40	20	1600

Измерение плотности спеченных образцов ρ проводилась методом гидростатического взвешивания в этиловом спирте 96% с помощью весов. Точность измерения плотности составляла $\pm 0,001$ г. Также рассчитывали относительную плотность образцов Θ в соответствии с выражением:

$$\Theta = \frac{\rho}{\rho_T} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где ρ_T – теоретическая плотность керамики.

Для точного исследования механических характеристик композитной керамики образцы, подвергались механической шлифовке и полировке. За счет того, что изготовленные образцы были в виде цилиндров механическая шлифовка, легко осуществлялась с помощью абразивной бумаги. Абразивная бумага по зернистости шла в порядке: P600; P800; P1200 и P2000. После механической шлифовки требовалась полировка с помощью алмазной пасты на шлифовальном круге. Подготовленные таким образом образцы подвергались наноиндентированию.

Вдавливание и проведение скретч теста (испытаний царапанием) проводится со помощью прибора Nano Indenter G 200 (рисунок 13). Вдавливание производится индентором в роли трехгранной пирамиды Берковича, нагрузкой 500 мН (50 г). Прибор сам автоматически рассчитывал модуль упругости E_{IT} и микротвердость H_{IT} и прочность σ_s в соответствии со стандартом ISO 14577 [7].

а)



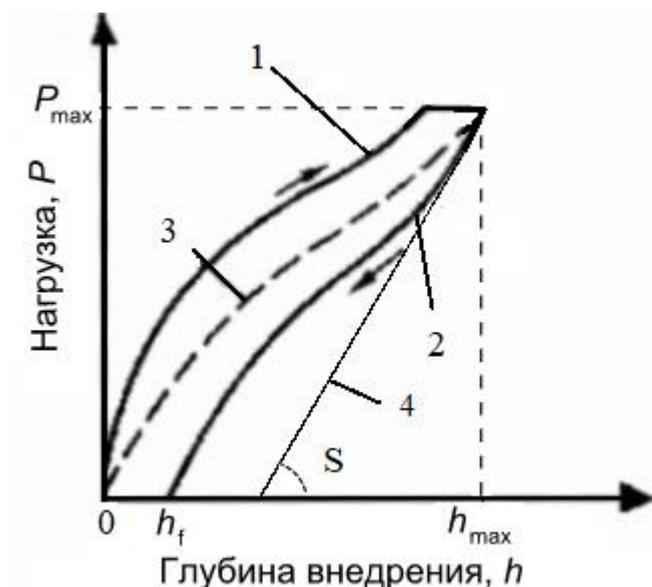
б)



а) вид снаружи; б) вид внутри

Рисунок 13 – Nano Indenter G200

Результаты измерения прибора появлялись сразу же на мониторе компьютера в виде диаграммы. Пример диаграммы показан на рисунке 14 в виде петли гистерезиса, на которой по вертикальной оси отмечено нагрузка, а на горизонтальной глубина проникновения.



1 – нагружение, 2 – разгрузке, 3 – равновесная; 4 – касательная к кривой разгрузке в точке максимальной нагрузки P_{\max}

Рисунок 14 – Общий вид диаграммы нагрузка-внедрение

Так же на рисунке 14 отмечены h_{\max} – глубина внедрения при максимальной нагрузке, остаточную глубину после разгрузки h_f , S – тангенс наклона угла касательной к кривой разгрузки.

Для того, чтобы найти модуль упругости E_{IT} исследуемого образца, нужно сначала определить модуля E_r . Приведенный модуль E_r вычисляется из диаграммы нагрузка-внедрение по формуле:

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

где S - тангенс угла наклона касательной к кривой разгрузки;

$A_p(h_c)$ – контактная площадь, определяемая из функции формы индентора.

$A_p(h)$ на глубине h_c , вычисляемой из соотношений:

$$h_c = h_{\max} - \varepsilon \left(\frac{P_{\max}}{S} \right), \quad (3)$$

$$h_c = h_{\max} - \varepsilon(h_{\max} - h_i), \quad (4)$$

где h_{\max} – максимальная глубина внедрения;

h_i – точка пересечения касательной к кривой разгрузки с осью h ;

P_{\max} – максимальная нагрузка;

ε – коэффициент формы индентора.

Модуль упругости материала E_{IT} вычисляется из соотношения:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{(1-\nu^2)}{E} + \frac{(1-\nu_i^2)}{E_i}, \quad (5)$$

где E_{it} – модуль Юнга ;

ν_i – коэффициент Пуассона индентора;

ν - коэффициент Пуассона материала испытуемого образца, которые полагаются известными [16].

Твердость исследуемой поверхности H получали с помощью укола в поверхность образца индентора после чего определяли по формуле:

$$H = P/A = 0.00387 \times P/h_{max}^2, \quad (6)$$

где P – нагрузка, прилагаемая к испытуемой поверхности, Н;

A – площадь отпечатка под нагрузкой, мм²;

h_{max} – глубина внедрения индентора, мм.

Прочность керамики определяли с помощью функции «Scratch Testing» на приборе Nano Indenter G 200. Задаются условия с линейное увеличившиеся нагрузкой, с которой он царапает поверхность с дистанцией 200 мкм. Образующуюся борозду санирует на глубину по длине и на ширину. По измеренным значениям определялась прочность образцов по формуле:

$$\sigma = \frac{F_n}{A_s \sin \alpha} \text{ и } A_s = \frac{a^2}{2\sqrt{3} \sin \alpha} + \frac{ah}{\cos \alpha}, \quad (7)$$

где F_n – нормальная нагрузка;

A_s – проекционная площадь отпечатка от пирамиды Берковича;

a и h – ширина и глубина профиля царапины;

α - угол, для пирамиды Берковича равный 65°.

2.2 Результаты проведенного исследования

В таблице 5 приведены значения плотности образцов, после прессования.

Таблица 5 – Плотность прессовок

№	Состав, мас. %	$\rho_{\text{пр}}$, г/см ³	$\rho_{\text{т}}$, г/см ³	$\Theta_{\text{пр}}$, %
1	99,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO	2,13	3,97	53,65
2	98,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 1% TiO ₂	2,18	3,972	54,88
3	97,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 2% TiO ₂	2,19	3,975	55,09
4	95,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 4% TiO ₂	2,24	3,98	56,28

Из таблицы можем увидеть, что при добавлении оксида титана в оксид алюминия происходит повышение плотности образцов. Увеличение плотности происходит поскольку титан имеет большую плотность, чем алюминий.

В таблице 6 показаны значения плотности спеченных образцов.

Таблица 6 – Плотность спеченных образцов

№	Состав, мас. %	ρ , г/см ³	$\rho_{\text{т}}$, г/см ³	Θ , %
1	99,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO	3,60	3,97	90,68
2	98,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 1% TiO ₂	3,66	3,972	92,15
3	97,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 2% TiO ₂	3,57	3,975	89,81
4	95,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 4% TiO ₂	3,67	3,98	92,21

Самой высокой плотностью спекания обладает образец №4 с составом 95,6% Al₂O₃ – 0,4% MgO – 4% TiO₂. Это объясняется образованием твёрдого раствора вычитания TiO₂ в α -Al₂O₃, решётка которого имеет повышенную диффузионную способность и активизирует процесс спекания.

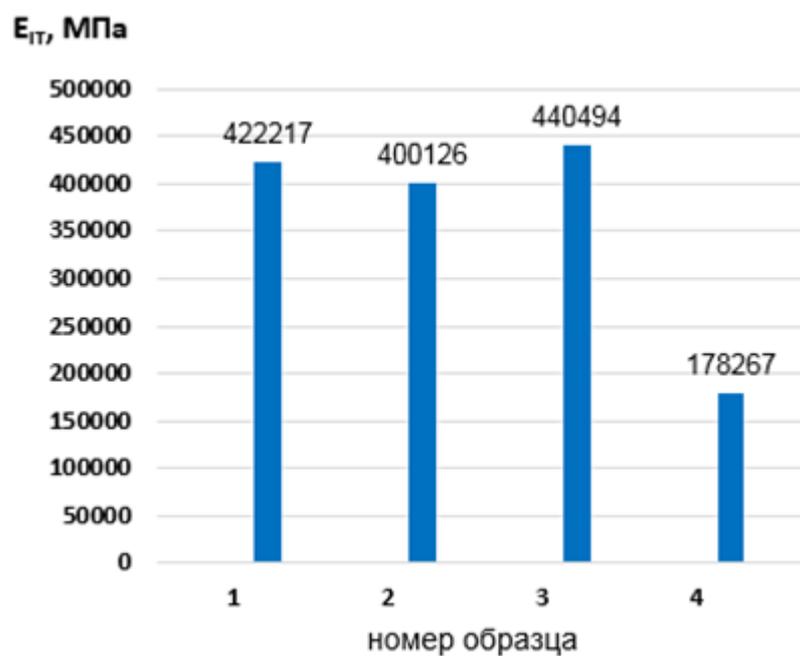
В таблице 7 представлены физико-механические характеристики оксидной керамики, рассчитанные прибором Nano Indenter G 200.

Таблица 7 – Физико-механические свойства оксидной керамики

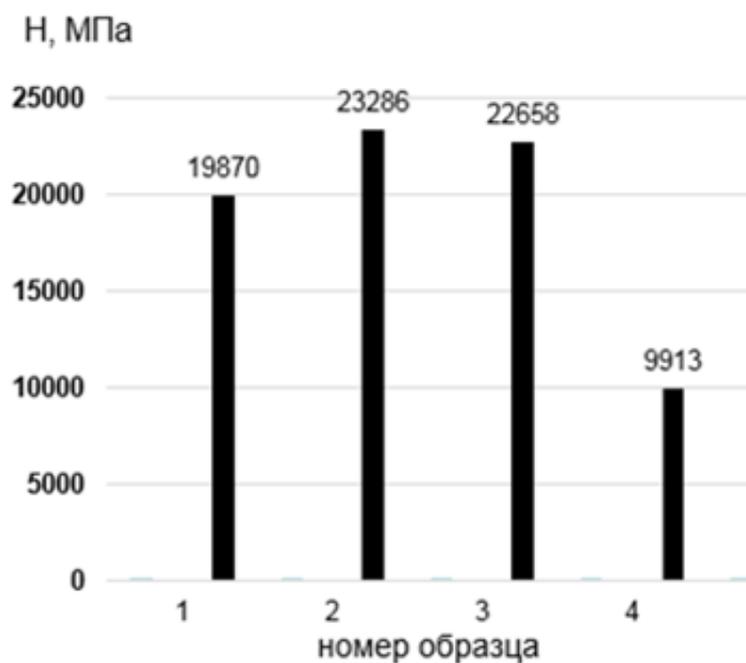
№	Содержание, мас. %	E_{IT} , ГПа	H_{IT} , ГПа	H_{MS} , ГПа
1	99,6% Al_2O_3 – 0,4% MgO	422,217	19,870	12,204
2	98,6% Al_2O_3 – 0,4% MgO – 1% TiO_2	400,126	23,286	12,916
3	97,6% Al_2O_3 – 0,4% MgO – 2% TiO_2	440,494	22,658	14,021
4	95,6% Al_2O_3 – 0,4% MgO – 4% TiO_2	178,267	9,913	6,437

Для наглядности на рисунке 15 приведены диаграммы результатов физико-механических характеристик, полученных по методике наноиндентирования.

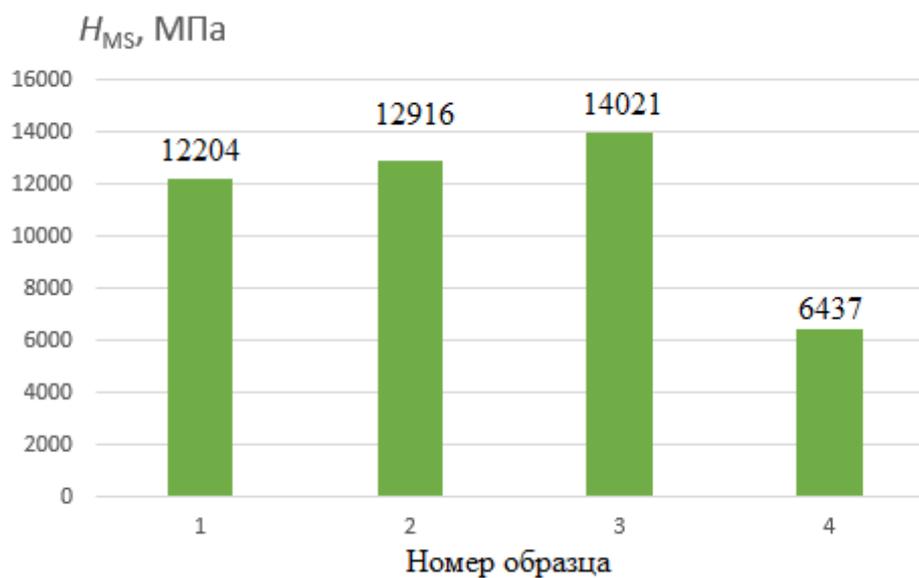
а)



б)



в)



а) – модуль упругости; б) – микротвердость; в) – твердость по Мартенсу

Рисунок 15 – Наглядные характеристики оксида алюминия

Полученные значения выше табличных по модулю упругости для оксида алюминия Al_2O_3 , которые составляют 370-380 ГПа. Табличная твердость оксида алюминия 15-17 ГПа.

На рисунке 16 показана диаграмма зависимости нагрузки от глубины погружения индентора в AlON.

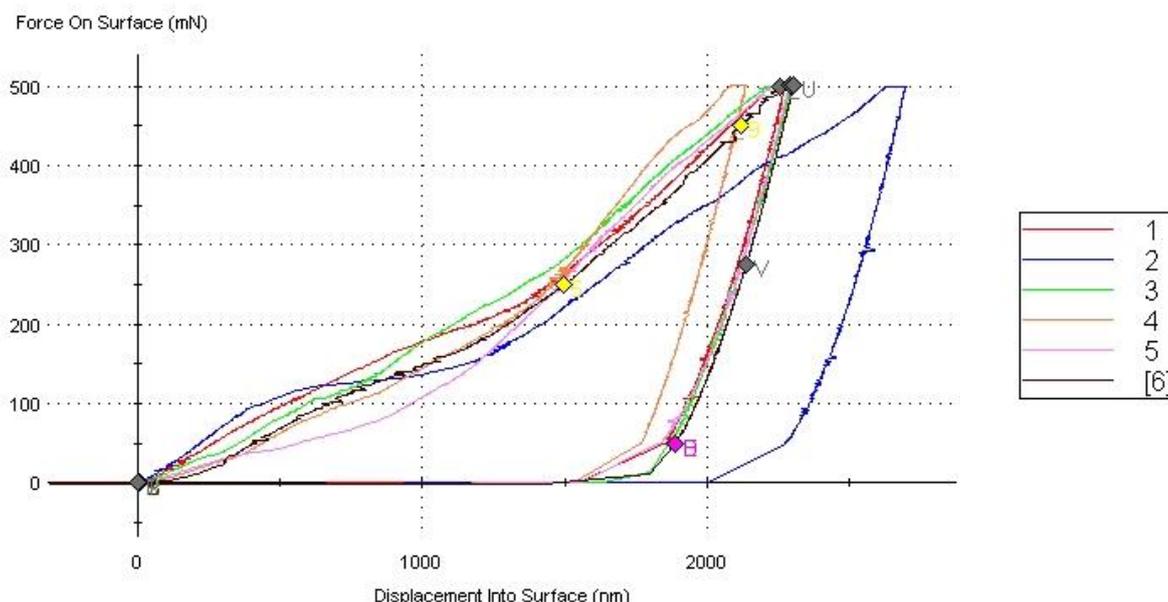


Рисунок 16 – Диаграмма зависимости нагрузки от глубины погружения индентора в AlON

Так же в таблице 8 собраны результаты, которые выдал Nano Indenter G200. Всего производилось 6 замеров, по каждому из которых выражены среднее значения.

Таблица 8 – Свойство керамики оксинитрида алюминия

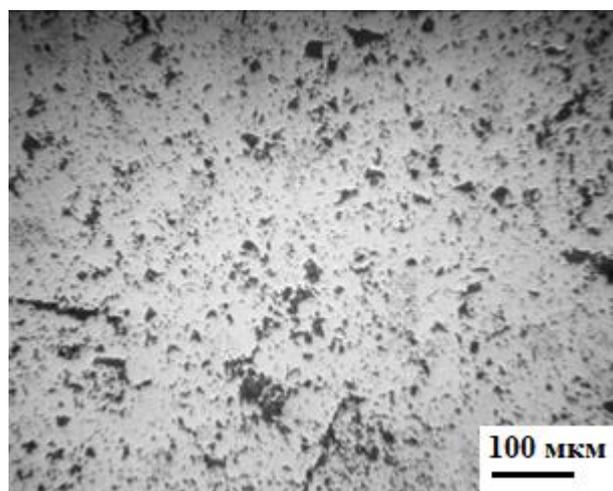
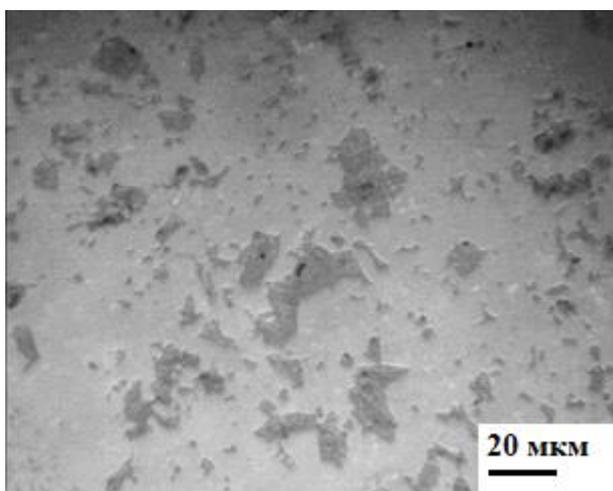
Свойство	E_{IT} , МПа	H_{IT} , МПа	σ_s , МПа
Al_2O_3-AlN	286537	13160	602

Как показано в таблице, разработана технология получения прочной оксинитридной керамики, включающей синтез порошка Al_2O_3-AlN путем сжигания НП Al и последующее горячее прессование в инертной атмосфере.

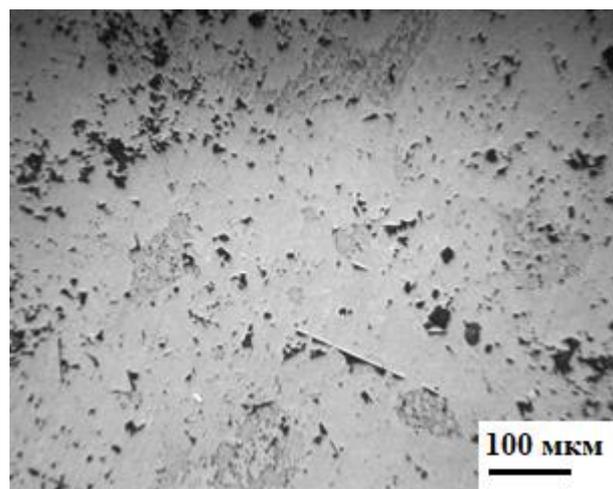
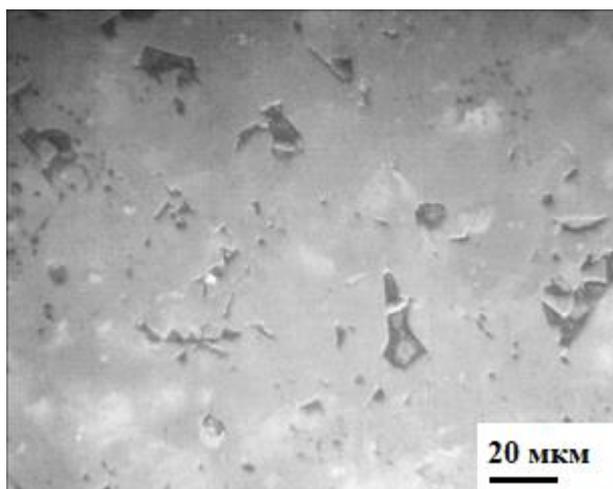
Структуры образцов оксидной керамики (Рисунок 17) получены с помощью оптического микроскопа с установленной на прибор цифровой камерой для производства фотографий. На каждом изображении выставлены

масштабные линейки по 20 мкм и 100 мкм, для лучшего оценивания размеров объекта.

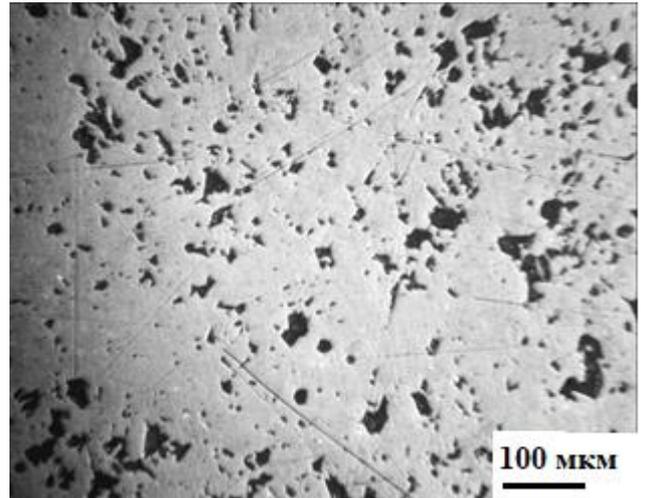
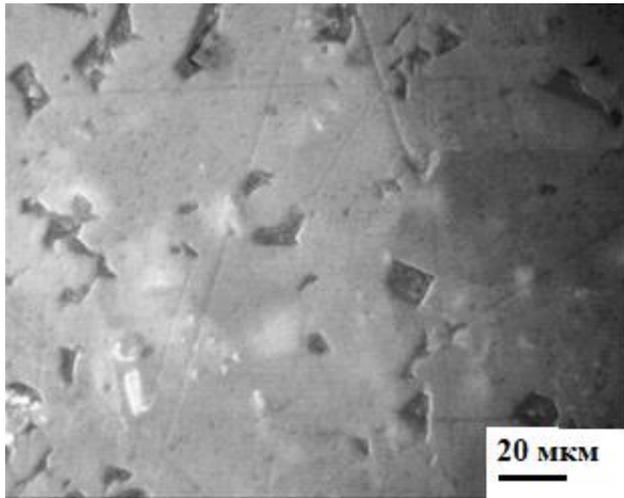
а)



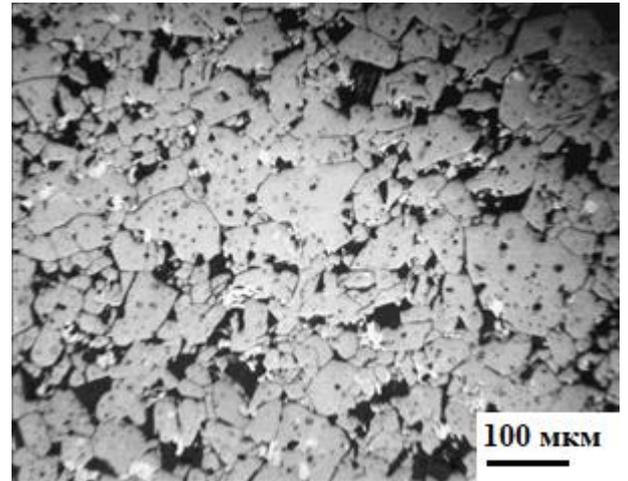
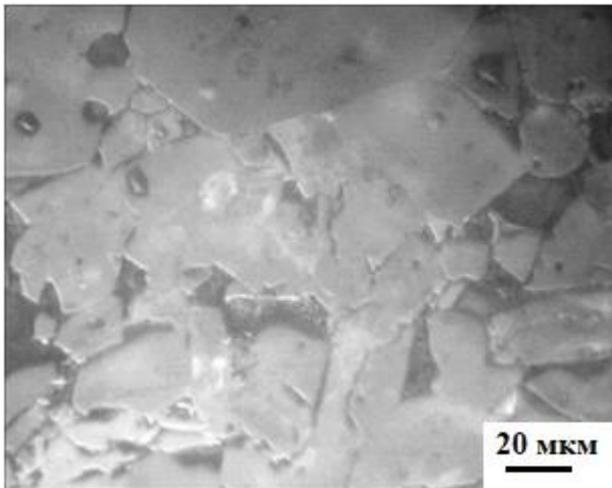
б)



в)



г)



а) образец №1; б) образец №2; в) образец №3; г) образец №4

Рисунок 17 – Структуры образцов

На рисунке 17, видно, что различное содержание добавки влияют на структуру полученных образцов, и так же влияют на физическое и механическое свойство.

Метод определения трещиностойкости. На рисунке 18 показана схема определения трещиностойкости спеченных керамических образцов. Измерение проходило на микротвердомере ПМТ-3М, в испытуемый материал вдавливали алмазный наконечник Виккерса с четырехгранной пирамиды (Рисунок 18).

Нагрузка была взята 500 г. По длинам трещин определяли Коэффициент интенсивности напряжений. Длина трещин (хвостов) замеряется и вносится в формулу, по которой оценивается трещиностойкость. Чем длина больше, тем соответственно трещиностойкость меньше.

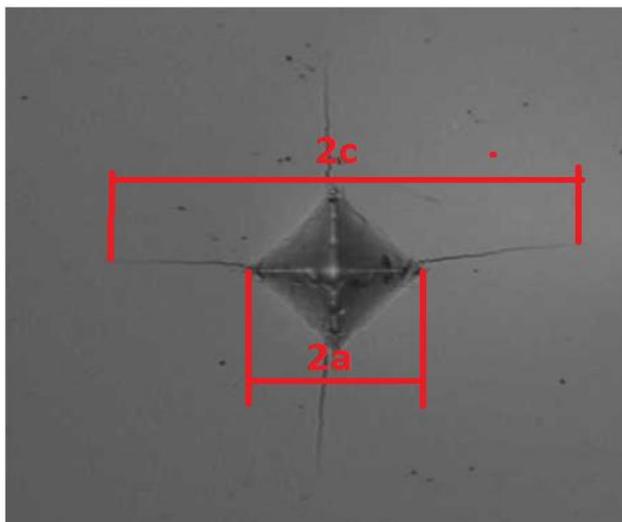


Рисунок 18 – Схема определения трещиностойкости

При определении трещиностойкости материала методом индентирования алмазной пирамидой Виккерса существует стандарт JIS R 1607(1990) [17]. Трещиностойкость рассчитывали по следующей формуле:

$$K_{Ic} = 0,16HV a^{1/2} (c/a)^{-3/2}, \quad (8)$$

$$HV = 1,8544 \cdot (p/d^2), \quad (9)$$

где: p – нагрузка;

d – длина стороны отпечатки.

В таблице 9 приведены исходные параметры при испытании трещиностойкости и полученные результаты данных образцов.

Таблица 9 – Полученные параметры при испытании трещиностойкости

№ образца	a, мкм	c, мкм	K_{Ic} , МПа·м ^{1/2}
1	11.4	26.8	6.1
2	11.9	35.8	3.4
4	11.9	48.6	3.7

На рисунке 19 приведены фотографии отпечатков на поверхности исследованных образцов.

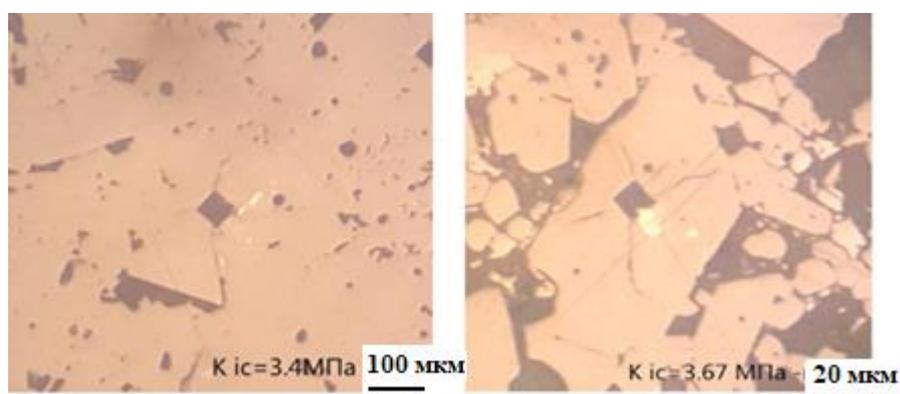


Рисунок 19 – Отпечатки данных образцов (№2, №4)

На рисунках изображены образцы после измерения трещиностойкости, на которых видно, что трещина раскалывает все зерно до его границ, где и останавливается.

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б71	Караваеву Даниилу Алексеевичу

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость сырья и материалов: 12398,5 руб. Размер окладов и выплат исполнителям проекта: 141145,9 руб. Амортизация: 4685,5 руб.</i>
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления на социальные нужды: 47741,2</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Планирование работ; построение иерархической структуры ВКР</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Таблица проведения ВКР</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Оценка значений интегральных показателей эффективности.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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 ОСГН ШБИП ТПУ	Маланина Вероника Анатольевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б71	Караваев Даниил Алексеевич		

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований

Потенциальные потребители результатов исследования

Работа представляет собой научное исследование, в котором рассказывается о создании нового материала. А именно керамика на основе оксида и нитрида алюминия, которая объединяет в себя ряд важных для производителя свойств. Т. к. идет разработка нового материала то выделить конкретного потребителя сложно. Но можно сказать, что это будут отрасли, которые занимаются авиакосмическим и машиностроительным строением. Кроме этого могут быть конструкторские приспособления: элементы двигателя, лопасти, подшипники скольжения, мелящие тела, кольца торцовых уплотнения. Причиной, по которой конструктора может заинтересовать этот материал в данных отраслях, это содержание механических характеристик в материале с высокими к тому же показателями. Но для лучшего выявления критериев лучше построить карту сегментирования рынка (Таблица 10) с двумя наиболее значимыми критериями.

Таблица 10 – Карта сегментирования рынка

Конструкторская сложность	Отрасль заказчиков			
	Авиакосмическая промышленность	Детали двигателей	Плиты	Другое
Мелкие детали (<0,5 метров)	**	**	***	***
Средние (от 0,5 метров до 2 метров)	**	**	**	**
Крупно габаритные (> 2 метров)	***	*	*	*

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

В дальнейшем, на базе полученных результатов изучения керамику можно развивать в микроэлектронике в роли подложки для микросхем. Присутствие керамики в этой отрасли получится благодаря еще и диэлектрическим свойствам.

Анализ конкурентных решений

Проводить сравнительный анализ при разработке чего-либо является важной частью в борьбе за конкуренцию. При выдвижении какого-либо продукта нужно знать его сильные и слабые стороны, чтобы понимать конкурирующие возможности и точнее нацеливаться на подходящую аудиторию.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и был проведен с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 11.

Первым конкурентным материалом будет обычная сталь Ст.3 – Б_{к1}. Вторым конкурентным материалом, будет набирающий обороты конструкционный полимерный композит (армирующий наполнитель в полимерных композитах - углеродные или стеклянные волокна, а матрица - полимерный материал, как правило синтетическая смола), который применяется в авиации – Б_{к2}. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 11. Они подбирались, исходя из требующих механических свойств в отраслях, где будет задействован наш основной материал.

Основными критериями оценки материалов будут являться: показатели прочности, затраты на производство, доступность сырья, а также простота и скорость изготовления.

Таблица 11 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Прочность по Моосу	0,2	4	3	1	0,8	0,6	0,2
2. Теплопроводность	0,18	5	1	3	0,9	0,18	0,54
3. Доступность сырья	0,066	5	4	1	0,33	0,264	0,066
4. Тяжесть и время изготовления	0,05	3	4	2	0,15	0,2	0,1
5. Плотность	0,11	2	1	5	0,22	0,11	0,55
6. Экологичность	0,09	4	2	1	0,36	0,18	0,09
7. Безопасность	0,004	3	3	3	0,012	0,012	0,012
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	4	2	3	0,28	0,14	0,21
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	2	4	3	0,06	0,12	0,09
3. Цена разработки	0,1	3	4	1	0,3	0,4	0,1
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3
Итого	1	38	31	24	3,712	2,506	2,258

Позиция разработки и конкурентов оценивалась по каждому показателю экспертным путем и по субъективному мнению. Оценка давалась по пятибалльной шкале, где 1 –наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее приоритетная позиция по своим характеристикам. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны были составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определялся по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (10)$$

где K–конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i –вес показателя (в долях единицы);

B_i –балл i -го показателя.

Таким образом, конкурентоспособность рассматриваемых продуктов составляет:

$$K_{\text{ф}} = 0,8 + 0,9 + 0,33 + 0,15 + 0,22 + 0,36 + 0,012 + 0,28 + 0,06 + 0,3 + 0,3 = 3,712;$$

$$K_{K1} = 0,6 + 0,18 + 0,264 + 0,2 + 0,11 + 0,18 + 0,012 + 0,14 + 0,12 + 0,4 + 0,3 = 2,506;$$

$$K_{K2} = 0,2 + 0,54 + 0,066 + 0,1 + 0,55 + 0,09 + 0,012 + 0,21 + 0,09 + 0,1 + 0,3 = 2,258.$$

Основываясь на знаниях о конкурентах можно сказать, что композитный материал B_{Φ} и B_{K2} дает уникальное свойство, которое никогда не проявляется у природного материала – B_{K1} . Природные материалы имеют изначально заданные характеристики, которые никак не изменяются и иногда некоторые из особенностей не нужны в какой-нибудь разработке. В композиционных материалах разработчик может улучшить материал в нужном ему направлении.

За счет этого разработанный материал B_{Φ} обгоняет в конкуренции по механическим свойствам все природные материалы и становится востребован в областях техники, где отдельные свойства в приоритете. Разработка композиционных материалов стоит дороже, но их использование может быть выгоднее за счет их меньшего использования при выполнении тех же показателей нагрузки. Например, композиционный материал может быть легче и использоваться на космические техники, где каждая мелочь может нести за собой большие убытки в денежных средствах. Если говорить о композиционном материале - B_{K2} , то у изначальных материалов не было больших показателей механических характеристик в отдельности. Поэтому от изначального сырья, которое мы объединяем между собой тоже зависят свойства будущего материала, и они не всегда могут быть лучше, чем природные.

По результатам данного анализа можно сделать вывод, что высокопрочная керамика на основе оксида и нитрида алюминия удовлетворяет всем требованиям контроля и является более выгодной и конкурентоспособной, чем материал из стали Ст.3 и композиционных полимеров.

SWOT – анализ

SWOT–Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны),

Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно–исследовательского проекта. SWOT–анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

Целью SWOT–анализа является определение всех сильных и слабых сторон научной разработки, которые рассматриваются как внутренние факторы, а также изучение внешних факторов, каковыми являются рыночные возможности и угрозы, для получения четкого представления основных направлений развития предприятия. На основе такого исследования организация должна максимально использовать свои сильные стороны, попытаться преодолеть слабости, воспользоваться благоприятными возможностями и защититься от потенциальных угроз.

Сильные стороны проекта.

Керамика на основе оксида и нитрида алюминия объединяет в себе два отлично сочетаемых друг с другом свойства. Это высокая прочность и малая теплопроводность. За счет этих двух свойств использование этого материала становится приоритетней металлов в отраслях машиностроение. Так же у керамических материалов доступное сырье.

Слабые стороны проекта.

Научно исследовательская работа проходит в учебном корпусе №8 ТПУ. В лабораториях этого корпуса встречается устаревшая техника или ее недостаток (микроскопы, высокотемпературные печи, прибор для измерения твердости). Из-за этого качество исследования может быть не совсем точным и теряется время на очередях.

Возможности.

На базе полученных знаний о керамике ее можно развивать и в микроэлектронике в роли подложки для микросхем. Это будет возможно за счет еще и диэлектрических свойств керамики. Так же керамика может стать применима в военной тематике за место бронестекла. Керамика имеет достаточные показатели прочности, но при меньшей толщине и весе, чем бронестекло.

Угрозы.

Самой главной угрозой исследования будет не получение ожидаемых характеристик по прочности. Без полученных результатов керамика будет проигрывать в конкуренции другим материалам на рынке спроса.

Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз происходило на основе результатов анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы.

Для повышения эффективности проведения SWOT-анализа в каждой области приведено от 3 до 5 пунктов, которые представляются наиболее значимыми для научного исследования (Таблица 12).

Второй 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.

В таблице 12 представлена итоговая матрица SWOT-анализа. В ней представлены результаты анализ интерактивной матрицы проекта с различными полями.

Таблица 12 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Совмещает в себе удачные механические свойства С2. Доступное сырье С3. Простота изготовления С4. Экологичность С5. Широкое применение в различных отраслях промышленности</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Недостаток литературы т.к. материал не до конца изучен Сл2. Устаревшие приборы исследования Сл3. Нехватка приборов исследования Сл4. Высокая степень ошибки Сл5. Не знание студентов в правильности выполнения работы т.к. нет опыта в подобных экспериментах</p>

Продолжение таблицы 12

<p>Возможности: В1. Внедрение керамики в разные области промышленности В2. Возможность получения нового материала используя керамику в роли композиционного материала В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт В4. Прогресс в промышленности за счет дополнительной конкуренции у материалов В5. Дополнительное финансирование за счет положительных результатов</p>	<p>В1С1С2С3С4С5 - Керамика включает в себя удачные механические свойства появление ее в новых отраслях промышленности будет увеличиваться. В2С1С2С3С5 – За счет удачной совместимости свойств в керамике ее развитие будет увеличиваться. В3С1С2С3С4С5 - За счет удачной совместимости свойств, лёгкой добыче и производстве. В4С1С4С5 – Развитие конкуренции лучший двигатель процесса. В5С1С5 - За счет удачной совместимости свойств и развитии в разных отраслях</p>	<p>В5Сл3 - Чтобы не было замедления в рабочем процессе из-за нехватки приборов, финансирование при возможности может восполнить этот недостаток.</p>
<p>Угрозы: У1. Не получение ожидаемых результатов У2. Отказ в получения исследованных материалов У3. Появление нового материала с лучшими показателями</p>	<p>У2С2С5 – Хотя к сильной стороне С2 относится, что сырье доступно, наша исследовательская группа сама его не добывает. Мы его получить от поставщиков, которые его как раз добывают. Для них сырье доступно и соответственно у нас оно тоже должно легко появиться, но шанс, что могут отказать есть, поэтому отмечена угроза У2 – не получение исследовательского материала. Одной из причин не получения материала может быть его сильная сторона С5, что уже широкое применение керамики на исследование в других промышленных областях.</p>	<p>У1Сл1Сл2Сл3Сл4Сл5 - Т.к. развитие керамики до сих пор в процессе и в работе участвуют неопытные студенты на старом оборудовании, которое отличается от современной своей точности. У2Сл2Сл4Сл5 – При ситуации если поставщикам придется выбирать, кому отдать материал на исследования, и они будут заинтересованы в успехе. Наверяд ли они отдадут материал в группу, у которой проблемы с техникой и неопытные рабочие. У3Сл2Сл3 – Это может произойти у конкурентов раньше благодаря лучшей техники.</p>

Результаты SWOT–анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно–исследовательского проекта.

Планирование научно-исследовательской работы

План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта (Таблица 13).

Таблица 13 – Календарный план проекта в рабочих днях

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Формирование научной группы. Постановка целей и задач научным руководителем.	1	1.12.2020	2.12.2020	Матренин С.В.
2	Изучение литературы	7	10.12.2020	17.12.2020	Караваев Д.А.
3	Проведение всех необходимых теоретических расчётов проекта	5	13.12.2020	18.12.2020	Матренин С.В. Караваев Д.А.
4	Составление технического задания	8	20.12.2020	28.12.2020	Матренин С.В. Караваев Д.А.
5	Получение и закупка всех необходимых материалов. Получение рабочего места.	3	20.01.2021	23.01.2021	Матренин С.В.
6	Подготовка оборудования и образцов	2	22.01.2021	24.01.2021	Матренин С.В. Караваев Д.А.

Продолжение таблицы 13

7	Смешение порошков. Спекание и получение образцов. Механическая обработка	17	2.02.2021	19.02.2021	Караваев Д.А.
8	Эксперименты в лаборатории с образцами, исследование образцов с различным структурно-фазовым составом для получения необходимых свойств.	14	19.02.2021	5.03.2021	Матренин С.В. Караваев Д.А.
9	Обработка полученных данных	8	25.03.2021	2.04.2021	Караваев Д.А.
10	Обсуждение результатов и выводов по работе	3	6.04.2021	9.04.2021	Матренин С.В. Караваев Д.А.
11	Подготовка литературного обзора, теоретической и практической части работы	25	17.04.2021	12.05.2019	Караваев Д.А.
Итого:	93	1.12.2020	12.05.2021		

Разработка графика проведения научного исследования

По размеру научная работа не имеет большого объема, поэтому для построения графика работы воспользуемся диаграммой Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переведем в календарные дни. Для этого воспользуемся следующей формулой:

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (11)$$

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

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

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 118}$$

$$k_{\text{кал}} = 1,478$$

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (12)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

$$T_{ki} = 63 \cdot 1,478 = 93,114$$

В таблице 14 представлен календарный план–график проведения исследовательской работы.

Таблица 14 – Календарный план–график проведения исследовательской работы

Код работы	Вид работ	Исполнители	$T_{k, \text{кал.}}$, дн.	Продолжительность выполнения работ																
				декабрь			январь			февраль			март			Апрель			Май	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Формирование научной группы. Постановка целей и задач научным руководителем.	Руководитель	1	█																
2	Изучение литературы	Инженер (дипломник)	7		█															
3	Проведение всех необходимых теоретических расчётов проекта	Руководитель, Инженер (дипломник)	5		█	▨														

Бюджет научного исследования

При планировании бюджета НИИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Расчет материальных затрат НИИ

В таблицу 15 включена стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Таблица 15 – Материальные затраты

№	Материал	Единица материала	Количество материала	Цена,руб/ед.	Затраты, руб.
1	Порошок Al, Al ₂ O ₃	руб./кг.	1 кг.	3500	3500
2	Порошок AlN	руб./кг.	0,5 кг.	1200	600
3	Другие добавки	руб./кг.	0,3 кг.	870	261
4	Абразивные материалы разной зернистость	руб./шт.	6	360	2160
5	Алмазные пасты для полировки образцов	руб./шт.	4	880	3520
6	Канцелярские принадлежности	руб./шт.	4	110	440
7	USB-флеш-накопитель	руб./шт.	1	300	300
Всего за материалы					10781
Транспортно–заготовительные расходы (15-25 %)					1617,15
Итого по статье					12398,5

Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

Затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимых для проведения исследовательских работ по конкретной теме не были произведены.

Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Стоимость оборудования, используемого при выполнении НИИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений (Таблица 16).

Таблица 16 – Амортизационные отчисления

Наименование оборудования	Цена ед., (руб.)	Срок службы, Т, дни	Время эксплуатации, t, дни	Амортизационные отчисления, руб
Планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL»	400000	4123	5	485
Камерная вакуумная печь типа СНВЭ	3697000	4123	3	2690
Наноиндентор G200	2978000	4123	2	1444,6
Микроскоп ЛабоМет - И	98000	5948	4	65,9
Итого:				4685,5

Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научного руководителя и инженера (дипломника). Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы

включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада.

Основная заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением НИТ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (14)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (15)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 17);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (16)$$

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 17).

Научный руководитель:

$$Z_{дн} = \frac{35120 \cdot 10,4}{199}$$

$$Z_{дн} = 1835,4$$

Инженер-исследователь:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{16140 \cdot 10,4}{199}$$

$$Z_{\text{дн}} = 843,5$$

В таблице 17 представлен баланс рабочего времени научного руководителя и инженера.

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	199

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (18)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате

труда);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

В таблице 18 представлен расчет основной заработной платы.

Таблица 18 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Зб, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	З _м ,руб	З _{дн} ,руб.	Тр, раб. дн.	З _{осн} ,руб.
Руководитель	27015	-	-	1,3	35120	1835,4	36	66074,4
Инженер	12415	-	-	1,3	16140	843,5	89	75071,5
Итого З _{осн}								141145,9

Заработная плата работника ТПУ состоит из оклада, установленного по соответствующей ПКГ (профессиональной квалификационной группе).

Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (19)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$Z_{доп} = 0,12 \cdot 141145,9 = 16937,5$$

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (20)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$З_{внеб} = 0,302 \cdot (141145,9 + 16\,937,5) = 47741,2$$

Накладные расходы

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

$$З_{нр} = (\text{сумма статей } 1 \div 6) \cdot k_{нр} \quad (21)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$З_{нр} = (12398,5 + 4685,5 + 141145,9 + 16937,5 + 47741,2) \cdot 0,16 = 35\,665,4$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научнотехнической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 19.

Таблица –19 Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	12398,5	11708,5	11899,3	Пункт 3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	4685,5	4255	4421	Пункт 3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	141145,9	133554,4	144571,9	Пункт 3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16937,5	16026,5	16532,6	Пункт 3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	47741,2	45173,4	46599,9	Пункт 3.5
8. Накладные расходы	35665,4	34995,3	36127,7	16 % от суммы ст. 1-6
9. Бюджет затрат НТИ	258574	245713,1	260152,4	Сумма ст. 1- 7

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования (таблица 19). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финтр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (22)$$

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

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

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

$$I_{\text{финтр}}^{\text{исп.1}} = \frac{258574}{260152,4} = 0,994$$

$$I_{\text{финтр}}^{\text{исп.2}} = \frac{245713,1}{260152,4} = 0,944$$

$$I_{\text{финтр}}^{\text{исп.1}} = \frac{260152,4}{260152,4} = 1$$

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (23)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 20).

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Физико-механические свойства	0,4	5	3	3
2. Простота создания	0,3	4	3	4
3. Энергосбережение	0,15	3	4	3
4. Материалоемкость	0,15	3	4	3
ИТОГО	1	4,1	3,3	3,2

$$I_{p-исп1} = 0,4 \cdot 5 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 = 4,1$$

$$I_{p-исп2} = 0,4 \cdot 3 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,3$$

$$I_{p-исп3} = 0,4 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 = 3,2$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{финр.исп.2}}, I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп.2}}{I_{финр.исп.2}} \text{ и т. д.}$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,1}{0,994} = 4,12$$

$$I_{исп.2} = \frac{3,3}{0,944} = 3,5$$

$$I_{исп.3} = \frac{3,2}{1} = 3,2$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 21) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}}; \mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.3}}} \quad (24)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{4,12}{3,5} = 1,18$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{4,12}{3,2} = 1,29$$

Таблица 21 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,994	0,944	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,1	3,3	3,2
3	Интегральный показатель эффективности	4,12	3,5	3,2
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,18	1,29

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4Б71	Караваеву Даниилу Алексеевичу

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Материаловедение
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Тема ВКР:

Исследование физико- механических свойств и структуры функциональной керамики на основе оксида и нитрида алюминия	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p style="text-align: center;"><i>Объект исследования:</i> керамика на основе оксида и нитрида алюминия.</p> <p style="text-align: center;"><i>Область применения:</i> авиакосмическая промышленность, химическая промышленность, машиностроение, радиоэлектроника.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) 2. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. 3. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. 4. ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ударные волны воздушной среды; - попадание химических веществ в организм человека через органы дыхания; -недостатки необходимого искусственного освещения. <p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> -опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током.

3. Экологическая безопасность:	<p>Атмосфера: выброс газа (в ходе научной работы лучше раскрою этот пункт).</p> <p>Гидросфера: загрязнение сточных вод отходами исследования</p> <p>Литосфера: загрязнение почвы отходами исследования</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Возможные ЧС: ураганы, лесные пожары и разрушение здания.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар на территории лаборатории.</p>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б71	Караваев Даниил Алексеевич		

4. Социальная ответственность

Научно-исследовательская работа представляет собой исследование физико-механических свойств керамики в лабораторных условиях. Разные составы керамики испытывают на прочность, упругость трещиностойкость, исследуют структуру и смотрят зависимость между разными показателями. В случае получения высоких показателей по характеристикам, полученный материал может использоваться в авиастроение, машиностроение и как высокоскоростные режущие инструменты.

Исследование выполнялось в лабораториях порошковой металлургии (НИ ТПУ корпус №8). Задействовались несколько аудиторий с различными приборами исследования. Работа представляет собой исследовательский характер и может служить как база для развития керамической промышленности.

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Работа проходила на территории ТПУ корпуса № 8 и библиотеке ТПУ. Режим рабочего времени представлял из себя гибкий рабочий график. То есть при устных договоренностях с рабочим руководителем назначалось время притупление к работе, объем и желательные сроки ее выполнения. Организуют, защищают и осуществляют обработку персональных данных работников и студентов ФГБОУ ВПО НИ ТПУ. Что касается уже оплаты и нормирования труда, виды компенсаций при работе во вредных условиях труда, особенности обязательного социального страхования и пенсионного обслуживания, то у студента нет прямых выплат или отношений к этим пунктам.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

В основном исследовательская работа проходит в стоячем и сидячем положении.

Эргономические требования при работе сидя за учебной литературой, ПК или в процессе расчетов приводятся по ГОСТ 12.032-78.

Рабочее место при работе сидя организуется при лёгкой работе. Конструкция рабочего места и расположение всех его элементов должно быть удобным для работающего. Должна соблюдаться зона досягаемости в пределах трудовых операций (Рисунок 20 и 21).

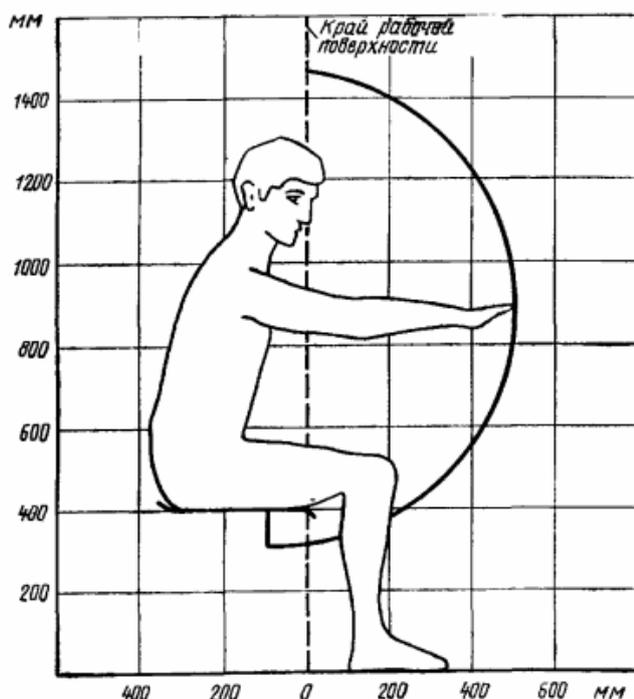


Рисунок 20 – Зона досягаемости моторного поля в вертикальной плоскости

В рабочем коллективе были только мужчины, поэтому антропометрические показатели при проектировании оборудования учитывались только для них. При моем росте 175 см высота рабочего сидения 450 мм, пространство для ног должно быть 650 мм. Высота рабочего стола при печатании на компьютере 680 мм.

При работе двумя руками органы управления размещают с таким расчетом, чтобы не было перекрещивания рук. Органы управления на рабочей поверхности в горизонтальной плоскости необходимо размещать с учетом следующих требований (Рисунок 21): очень часто используемые и наиболее важные органы управления должны быть расположены в зоне 1; часто используемые и менее важные органы управления не допускается располагать за пределами зоны 2; редко используемые органы управления не допускается располагать за пределами зоны 3.

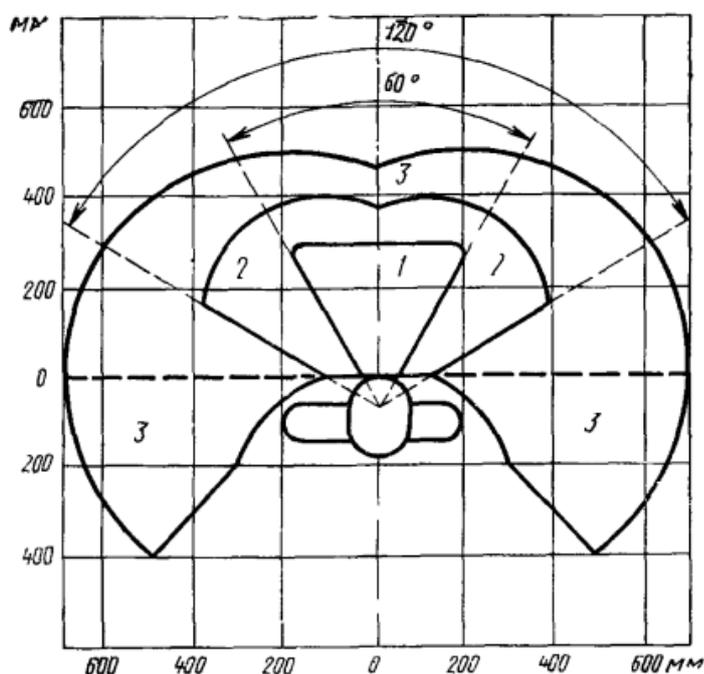


Рисунок 21 – Зоны для выполнения ручных операций и размещения органов управления

Работы в сидячем положении идет в основном за компьютером, что является очень часто используемым средством отображения информации. Это требует точного и быстрого считывания показаний и следует расположения источника информации в вертикальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от сагиттальной плоскости.

Работа стоя производилась при замере данных, настройке оборудования и другой средней физической работе. Эргономические требования рабочего место при выполнении работ стоя приводятся из ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ.

Рабочее место должно обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля. Зоны досягаемости моторного поля в горизонтальной и вертикальной плоскостях для средних размеров тела человека приведены на рисунке 22 и 23.

Организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение корпуса тела, работающего или наклон его вперед не более чем на 15° .

С ростом 175 см высота расположения средств отображения информации должна быть на высоте от 1000 мм до 1800 мм.

Органы управления на рабочей поверхности в горизонтальной и вертикальной плоскостях необходимо размещать с учетом следующих требований (Рисунок 22 и 23): очень часто используемые и наиболее важные органы управления должны быть расположены в зоне 1; часто используемые и менее важные органы управления не допускается располагать за пределами зоны 2; редко используемые органы управления не допускается располагать за пределами зоны 3.

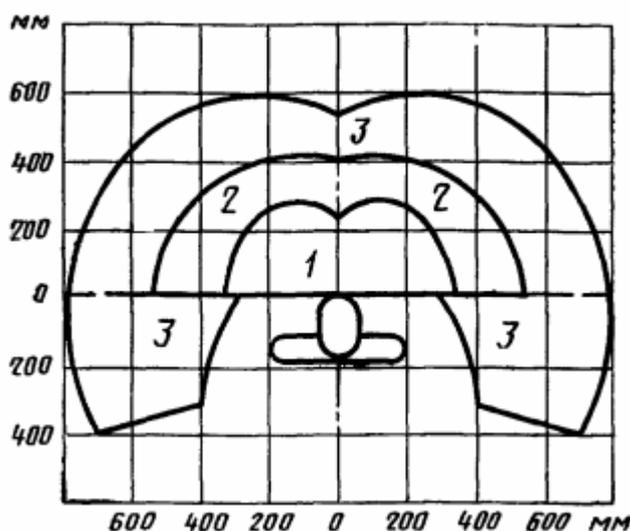


Рисунок 22 – Зоны для выполнения ручных операций и размещения органов управления в горизонтальной плоскости

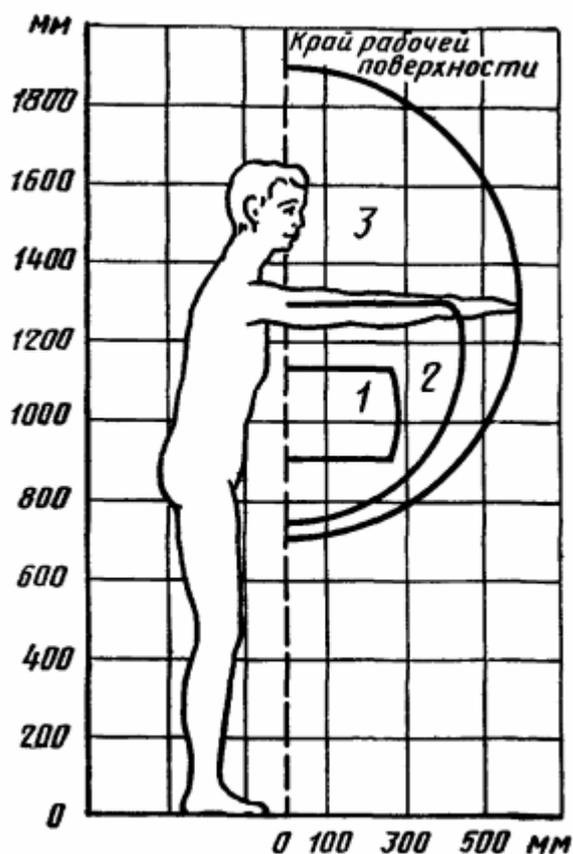


Рисунок 23 – Зоны для выполнения ручных операций и размещения органов управления в вертикальной плоскости

Работа с выключателями и переключателями велась при изготовлении материала и при лабораторных исследованиях на различных станках при проведении испытания на замер механических свойств. Эргономические требования рабочего места при работе с выключателями и переключателями клавишных и кнопочных приводилась из ГОСТ 22614-77 система «человек-машина».

Для надежного фиксирования пальца рабочая поверхность кнопок и клавишей должна иметь небольшую вогнутость. У кнопок прямоугольной формы и кнопок малого диаметра (3-5 мм) рабочую поверхность допускается выполнять плоской, без вогнутости. При необходимости на рабочей поверхности допускается выполнять сферу или небольшой бортик, выступающий над рабочей поверхностью кнопок и клавиш. Кнопочные и клавишные выключатели и переключатели должны иметь индикацию положений "включено" или "выключено".

Производственная безопасность

Анализ выявленных вредных и опасных факторов

В данном разделе анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке нового материала. Для идентификации потенциальных факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблице 22.

Таблица 22 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Ударные волны воздушной среды		+		Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96 "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений" [1]
2. Попадание химических веществ в организм человека через органы дыхания		+		Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в воздухе рабочей зоны. [2]
3. Отсутствие или недостаток естественного света	+	+	+	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[59]. [3]

Продолжение таблицы 22

4. опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, включая действие молнии и высоковольтного разряда в виде дуги, а также электрического разряда живых организмов	+	+	+	ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [4]
--	---	---	---	---

Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Классификация опасных и вредных производственных факторов взята из ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ.

Ударные волны воздушной среды. Ударные волны воздушной среды опасный и вредный производственный фактор, связанный с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды и связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего (температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью подвижностью воздуха относительно тела работающего, а также с тепловым излучением окружающих поверхностей). Источником возникновения этого вредного фактора является высокотемпературная печь, которая используется при спекании керамики. Резкий поток горячего воздуха выходит наружу при открывании дверце печи. Последствием могут быть ожоги тканей организма человека. Нормы безопасности, связанные с этим фактором, будут: открывать заслонку печи и доставать, и ставить экспериментальный образец специальными щипцами; быть на рабочей дистанции; не стоять перед дверцей перед ее открыванием.

Попадание химических веществ в организм человека через органы дыхания. Работа ведется с летучим нанопорошком, который при недостаточной

осторожности может оказаться в воздухе. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны взяты из СанПиНа 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и безвредности для человека факторов среды обитания для химерических веществ», с которыми проходила работа (таблица 23). Для того чтобы нанопорошок не попал в легкие работа ведется в специальной зоне с вытяжкой, где все разлетевшиеся частицы засасываются насосом. Так же следует использовать необходимо защитную одежду (резиновые перчатки, фартук, очки).

Таблица 23 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Алюминия нитрид	-/6	4
Алюминий и его сплавы	6/2	3

Отсутствие или недостаток естественного света. Лаборатории в корпусе №8 ТПУ находятся в подвальном помещении. Работа всегда ведется при искусственном освещении, потому что естественного света там ощутимо недостаточно в светлое время суток. Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность.

Основной задачей светотехнических расчётов для искусственного освещения является определение требуемой мощности электрической осветительной установки для создания заданной освещённости. В производственном помещении применяется равномерная система освещения. Источником света являются газоразрядные лампы, энергетически более экономичные и обладающие большим сроком службы. По спектральному составу видимого света люминесцентные лампы применяются ЛБ (Таблица 24).

Таблица 24 – Основные характеристики люминесцентных ламп

Мощность, Вт	Напряжения сети, В	Световой поток, лм
		ЛБ
15	127	835

При выборе типа светильников следует учитывать светотехнические требования, экономические показатели, условия среды. Для нормального помещения с хорошим отражением потолка и стен, при умеренной влажности и запылённости были выбраны лампы с открытым двухламповым светильником: ОД, ОДОР, ШОД, ОДО, ООД (Таблица 25).

Таблица 25 – Основные характеристики некоторых светильников с люминесцентными лампами

Тип светильника	Количество и мощность лампы	Область применения	Размеры, мм			КПД, %
			Длина	Ширина	Высота	
ОД – 2-30	2 x30	Освещение производственных помещений с нормальными условиями среды	933	204	156	75
ОД – 2-40	2 x40		1230	266	158	75
ОД – 2-80	2 x80		1531	266	198	75
ОД – 2-125	2 x125		1528	266	190	75
ОДО – 2-40	2 x40		1230	266	158	75
ОДОР - 2-30	2 x30		925	265	125	75
ОДОР - 2-40	2 x40		1227	265	155	75
ШОД - 2-40	2 x40		1228	284	-	85
ШОД - 2-80	2 x80		1530	284	-	83

Для создания благоприятных зрительных условий на рабочем месте, для борьбы со слепящим действием источников света введены требования ограничения наименьшей высоты светильников над полом (таблица 26).

Таблица 26 – Наименьшая допустимая высота подвеса свет

Тип светильника	Наименьшая допустимая высота подвеса над полом, м
Двухламповые светильники ОД, ОДР, ОДО, ОДОР при одиночной установке или при непрерывных рядах из одиночных светильников	3,5
Двухламповые светильники ОД, ОДР, ОДО, ОДОР при непрерывных рядах из сдвоенных светильников	4,0
Двухламповые уплотнённые светильники ПВЛ	3,0

В данном случае подходят все типы светильников т.к. потолки в подвальных помещениях корпуса №8 ТПУ меньше 3 метров.

Основные требования и значения нормируемой освещённости рабочих поверхностей изложены в СП 52.13330.2016. Выбор освещённости осуществляется в зависимости от размера объёма различения (толщина линии, риски, высота буквы), контраста объекта с фоном, характеристики фона. Характеристика зрительной работа имеет средний класс точности с наименьшим размером объекта различения от 0,5 мм до 1 мм. Разряд зрительной работы - IV, подразряд зрительной работы – г. Освещённость 200 лк.

Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током. Мероприятия по снижению воздействия взяты из ГОСТ 12.1.019-2017 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.» Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и заболеваний, включая профессиональные и производственно-обусловленные заболевания.

Электробезопасность должна обеспечиваться:

- конструкцией электроустановок и архитектурно-планировочными решениями;
- организацией технологических процессов;
- техническими способами и средствами защиты;

- организационными и техническими мероприятиями при производстве работ;
- электроразщитными средствами, средствами защиты от электрических и магнитных полей и другими средствами индивидуальной защиты, применяемыми при эксплуатации электроустановок;
- организацией технического обслуживания электроустановок.

Электроустановки и их части должны соответствовать требованиям электробезопасности таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока, электрической дуги и электрических и магнитных полей.

Экологическая безопасность

Объектом исследования является керамика на основе оксида и нитрида алюминия. Сам материал состоит из природных веществ, но производство керамических изделий будет оказывать экологическое воздействие на окружающую среду.

Атмосфера воздуха. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности СанПиН 1.2.3685-21 действуют на территории Российской Федерации и устанавливают предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Для керамики он будет по величине ПДК, $\text{мг/м}^3 = 5/2$. Преимущественное агрегатное состояние в воздухе в условиях производства – а (аэрозоль). Класс опасности – 3 класс (умеренно опасный). Особенности действия на организм – Ф (аэрозоли преимущественно фиброгенного действия).

Защита гидросферы. В качестве источника загрязнения гидросферы могут быть выброс отходов или их смыв в сточные воды. Но в нашем случае сточные воды, подлежащие сбросу в канализационную сеть населенного пункта, не содержат вредные вещества в концентрациях, превышающих установленные нормы, то их не следует подвергать предварительной очистке. В избежание

засорения канализации, не следует остатки порошков смывать в канализацию.

Защита литосферы. Отходы после работы представляют собой порошки или твердые небольшого размера тела после механических испытаний. Сбор отходов лучше всего осуществлять в специальных контейнерах, с последующей переработкой или захоронением.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации из природного характера могут быть: ураганы, лесные пожары. Так же к чрезвычайным ситуациям на данном рабочем месте можно выделить внезапное обрушение здания и пожар на территории лаборатории.

С учетом специфики работы и наличием высокотемпературных печей в помещении наиболее вероятно возникновение пожара, под которым понимается вышедший из-под контроля процесс горения, обусловленный возгоранием из-за перегрева печи или вышедшей из строя проводки. Возникновение пожара угрожает здоровью и жизням работников.

Предусмотренные средства пожаротушения: огнетушитель порошковый ОП-4(з)-АБСЕ-01, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

Для обеспечивающими успешную эвакуацию людей и имущества из горящего здания составлен планов эвакуации (Рисунок 24).



Рисунок 24 – План эвакуации при пожаре

Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов при работе сидя и стоя должны выполнять эргономические требования по ГОСТ 12.032-78 и ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ соответственно. При работе сидя высота рабочего сиденья должна быть 450 мм, пространство для ног должно быть 650 мм. Высота рабочего места при печатании на компьютере 680 мм. При работе стоя высота расположения средств отображения информации должна быть на высоте от 1000 мм до 1800 мм с наклоном туловища вперед не более чем на 15°.

Эргономические требования также должны выполняться при работе с различными приборами по ГОСТ 22614-77. Кнопочные и клавишные выключатели и переключатели у приборов должны иметь индикацию положений "включено" или "выключено" при этом имея небольшую вогнутость.

Работа ведется с опасными и вредными факторами ГОСТ 12.0.003-2015. При работе с высокотемпературной печью необходимо соблюдать правила безопасности: открывать заслонку печи и доставать, и ставить

экспериментальный образец специальными щипцами; быть на рабочей дистанции; не стоять перед дверцей перед ее открыванием.

При работе с предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны взяты из СанПиНа 1.2.3685-21. Работа должна проходить в отведенном для этого месте и в соответствующей экипировке.

На качество и работоспособность большое влияние оказывает освещенность помещения. Необходимые требования и значения нормируемой освещенности рабочих поверхностей находятся в СП 52.13330.2016. При работе в среднем классе точности с разрядом зрительной работы - IV и подразрядом зрительной работы – г освещенность в лабораторных должна быть 200 лк.

Электрический ток является одним из опасного фактора воздействующим на человека. мероприятия по снижению его воздействия следует взять из гост 12.1.019-2017. электроустановки и их части должны соответствовать требованиям электробезопасности таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока и электрических полей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены исследования по зависимости физико-механических свойств и структуры керамики от ее состава на основе оксида и нитрида алюминия.

В работе приготовили порошки на основе оксида алюминия с различными добавками и порошки на основе оксида и нитрида алюминия. Образцы для исследования получали традиционным методом. Сначала прессованием и затем спекания, а также методом горячего прессования, где эти два способа проходят одновременно. Измерили их плотность. Полученные спеченные образцы подвергали наноиндентированию предварительно сделав шлифование и полирование на поверхности для точного измерения. Определили модуль нормальной упругости, нанотвердость и предел прочности методом скрещ тестинга. Рассмотрели структуру и измерили трещиностойкость методом отпечатка.

При добавлении оксида титана TiO_2 в оксид алюминия Al_2O_3 происходит активация процессов спекания и повышение плотности спеченных образцов. Увеличение плотности происходит поскольку титан имеет большую плотность, чем алюминий.

При измерении модуля упругости E_{IT} , микротвердость H_{IT} , твердость по Мартенсу H_{MS} у образцов оксида алюминия с 4% оксида титана эти значения снижаются. Это происходит из-за появления твердого раствора замещения с образованием стеклофазы.

На фотографиях структуры оксида алюминия видны темные пятна, которые представляют собой поры. Светлая составляющая соответственно спеченный материал. С добавлением 1% диоксида титана пористость уменьшается, но с последующим его увеличением увеличивается размер зерен и увеличивается пористость материала. Вдобавок при увеличении диоксида титана трещиностойкость падает почти вдвое. Предположительно это связано с увеличением размера зерна, то есть зерно становится крупным, и трещина раскалывает все зерно до его границ.

Из этого следует, что, если требуется получить достаточно плотную керамику и понизить температуру спекания приемлем вариант добавить в оксид алюминия оксид титана. Но если стоит задача получить керамику с высокой трещиностойкостью, то влияние оксида титана будет негативным.

В результате проведенных исследований получены образцы высокоплотной прочной оксинитридной керамики, включающей синтез порошка Al_2O_3-AlN путем сжигания НП Al и последующее горячее прессование в инертной атмосфере. Полученная керамика имела следующие физико-механические свойства: $E_{IT}=286537$ МПа, $H_{IT}=13160$ Мпа, $\sigma_B=602$ МПа.

Так же при выполнении работы были рассмотрены разделы «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и «социальная ответственность».

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ: проект № 19-03-00160

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wriedt, H. A. The Al-O (Aluminum-Oxygen) system / H. A. Wriedt // Bulletin of Alloy Phase Diagrams. – 1985. 6(6). – P. 548-553.
2. Бережной, А. С. Многокомпонентные системы окислов / А.С. Бережной. – Киев: Наукова думка, 1970. – 542 с.
3. Баринов, С. М. Прочность технической керамики / С. М. Баринов, В. Я. Шевченко. – М.: Наука, 1996. – 159 с.
4. Минералы. Справочник / Под ред. Ф.В. Чухрова, Э.М. БонштедтКуплетской. – М.: Наука, 1965. Т.2. Вып. 2. – С.62-80.
5. Шабанова, Н. А. Химия и технология нано- дисперсных оксидов / Н. А. Шабанова, В. В. Попов, П. Д. Саркисов. – М.: Академкнига, 2006. – 309 с.
6. Mellor I.W. A Comprehensive treatise on inorganic and theretical chemistry, 1928. – P.111
7. Матренин С.В., Слосман А.И. Техническая керамика: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. 75 с. С.В.Матренин, А.И.Слосман УДК 666.64 (075.08) ББК 35.41.
8. Wang J., Lin J., Zhang Z., Chen S. Effect of Y₂O₃ and La₂O₃ on the sinterability of γ -AlON transparent ceramics // Journal of the European Ceramic Society. 2015. Vol. 35. No. 1. P. 23–28.
9. McCauley J.W., Patel P., Chen M. AlON: a brief history of its emergence and evolution // Journal of the European Ceramic Society. 2009. Vol. 29. No. 2. P. 223–236.
10. Xidong W., Fuming W., Wenchao L. Synthesis, microstructures and properties of γ -aluminum oxynitride // Materials Science and Engineering: A. 2003. Vol. 342. No. 1. P. 245–250.
11. Кессель Х.У. Технология спекания в электрическом поле: «FAST» (field assisted sintering technology)-новый метод спекания металлических и керамических материалов. URL: <http://www.fct-systeme.de/> (дата обращения: 28.03.2019).

12. Матренин С.В., Слосман А.И. Техническая керамика: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.–75 с.
13. Зеленкова, Е.Г. Керамика на основе оксида алюминия с бимодальным распределением частиц по размерам: Дис...канд. техн. наук. - Красноярск, 2003. - 144 с.
14. Федорова, Е.Н. Получение и свойства керамики на основе наноразмерных порошков оксида алюминия: Дис...канд. техн. наук. - Красноярск, 2001. - 144 с.
15. Ваганова М.Л., Сорокин О.Ю., Осин И.В. Соединение керамических материалов методом искрового плазменного спекания // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 306–317. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-306-317.
16. Григорович В. К. Твердость и микротвердость металлов. М.: Наука, 1976.
17. JIS R 1607(1990) Testing methods for fracture toughness of high performance ceramics, Japanese Industrial Standard, Japanese Standards Association, Tokyo.
18. Механический синтез в неорганической химии / Под ред. Е. Г. Аввакумова. Новосибирск: Наука, 1991.