

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

Институт Социально-гуманитарных технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование структуры и физико-механических свойств керамики на основе оксидов алюминия и кремния

УДК 666.3:620.33-419.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б30	Ли Кунь		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

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

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

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

Институт Социально-гуманитарных технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Панин С.В.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
154Б30	Ли Кунь

Тема работы:

Исследование структуры и физико-механических свойств керамики на основе оксидов алюминия и кремния	
Утверждена приказом директора ИФВТ	Приказ № 2048/с от 23.03.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:

09.06.2017

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(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.).

Объектом исследования является керамика на основе Al_2O_3 . Исследуются методы 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.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (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).	1. Аналитический обзор по теме исследования. 2. Исследование процессов формования и спекания керамики на основе Al_2O_3. 3. Изучение физико-механических свойств спеченной керамики. 4. Активирование процессов спекания керамики на основе оксида алюминия. 5. Заключение по работе.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Презентация в формате Power Point в количестве --- слайдов

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова С.Н., доцент НИ ТПУ
Социальная ответственность	Штейнле А.В., доцент НИ ТПУ

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	23.09.2015
--	------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б30	Ли Кунь		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа изложена на 106 с., содержит 16 рис., 24 табл., 32 источников литературы.

Ключевые слова: оксид алюминия, корундовая керамика, прессование порошков, активированное спекание, наноиндентирование.

Объектом исследования является керамика на основе оксида алюминия.

Цель работы – Получение плотной муллитокорундовой и корундовой керамики и исследование ее структуры и физико-механических свойств.

В процессе исследования изучали технологические свойства оксидных порошков, проводили их механическую активацию, пластификацию, формовали и спекали керамические прессовки, изготавливали микрошлифы спеченных образцов для наноиндентирования и изучения микроструктуры.

Были определены плотность прессовок и спечённых образцов, измерены модуль упругости, микротвердость и прочность с использованием методики наноиндентирования, трещиностойкость методом исследования отпечатков от пирамиды Виккерса, исследована микроструктура спеченных образцов.

Основные конструктивные, технологические и эксплуатационные характеристики:

Полученные в ходе исследования результаты предполагается использовать в разработке технологических рекомендаций для производства

изделий из муллитокорундовой и корундовой керамики конструкционного и функционального назначения.

Степень внедрения:

Работа является поисковым исследованием, результаты которого будут использованы для разработки жаростойких и жаропрочных керамических материалов.

Область применения:

Химическая и авиакосмическая промышленность, машиностроение, металлургия, электротехническая промышленность, радиоэлектроника.

Экономическая эффективность/значимость работы:

Данный проект является поисковой научной разработкой, поэтому интегральный финансовый показатель разработки рассчитать не представляется возможным. В целом, данный проект является перспективным с точки зрения экономии ресурсов, поскольку в отличие от аналогичных разработок, в проекте предполагаются меньшие затраты на себестоимость будущей продукции за счет использования относительно недорогих сырьевых материалов и низкоэнергозатратных технологических методов.

ABSTRACT

Graduation qualification work is outlined for 106 s., Contains 16 Fig., 24 tablets, 32 sources of literature.

Key words: aluminum oxide, corundum ceramics, powder pressing, activated sintering, nanoindentation.

The object of the study is ceramics based on aluminum oxide.

The purpose of this work is to obtain dense mullite-corundum and corundum ceramics and to study its structure and physico-mechanical properties.

In the process of research, the technological properties of oxide powders were studied, their mechanical activation, plasticization, molding and sintering of ceramic compacts, microsections of sintered samples for nanoindentation and microstructure studying.

The density of compacts and sintered samples was determined, the modulus of elasticity, microhardness and strength were determined using the nanoindentation technique, crack resistance by the method of studying impressions from the Vickers pyramid, the microstructure of the sintered samples was studied.

Basic design, technological and operational characteristics:

The results obtained during the research are supposed to be used in the development of technological recommendations for the production of products from mullite corundum and corundum ceramics of structural and functional purpose.

Degree of implementation:

The work is a search study, the results of which will be used to develop heat-resistant and heat-resistant ceramic materials.

Application area:

Chemical and aerospace industry, machine building, metallurgy, electrotechnical industry, radio electronics.

Economic efficiency / significance of work:

This project is a scientific research project, therefore it is impossible to calculate the integral financial indicator of the development. In general, this project is promising in terms of saving resources, since unlike similar developments, the project assumes lower costs for the cost

of future products through the use of relatively inexpensive raw materials and low-cost engineering methods.

Обозначения и сокращения

ХИП – холодное изостатическое прессование

НП – нанопорошок

УДП – ультрадисперсный порошок

ПХС – плазмохимический синтез

КМЦ – карбооксиметилцеллюлоза

Оглавление

Введение	11
1 Обзор литературы	13
1.1 Свойства и структура керамики на основе оксида алюминия	13
1.2 Формование керамических порошков	21
1.2.1 Холодное статическое одноосное прессование	23
1.2.2 Гидростатическое формование порошков	25
1.3 Спекание порошковых материалов	27
1.4 Активирование процесса спекания	31
1.4.1 Механическая активация порошков и механосинтез	33
2 Экспериментальная часть	37
2.1 Объект и методы исследования	37
2.2 Результаты проведенного исследования	43
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	60
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования	62
3.2 Разработка устава НИР	63
3.3 Планирование и график НИР – Календарный план проекта	68
4 Социальная ответственность	80
4.1. Техногенная безопасность	81
4.2. Региональная безопасность	87
4.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности	89
4.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений	91
4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	92
Заключение	95
Список использованных источников	97

Введение

Среди современных функциональных и конструкционных материалов керамика занимает значительную долю, которая обусловлена широким диапазоном ее физических и химических свойств. Керамика на основе оксида алюминия устойчива к высокой температуре и агрессивной среде, является изолятором и экологически чистым материалом. Изделия из нее могут при необходимости подвергаться механической обработке, на них можно наносить металлические покрытия, что существенно расширяет область ее применения технической керамики. Преимуществами использования данного материала в технике являются высокие характеристики прочности, твердости, износостойкости.

В то же время корундовая керамика является хрупким материалом, ее применению часто препятствуют сложность формирования однородной структуры с минимальной пористостью, низкое сопротивление распространению трещин. Поэтому для достижения высоких физико-механических свойств керамики необходим поиск новых научно-технологических решений и подходов к выбору исходных материалов и разработка эффективных методов активирования процесса спекания.

Эффективным способом повышения активности исходных порошков является их механическая активация в энергонапряженных планетарных мельницах. Другим методом активирования процесса спекания корундовой керамики является добавление в исходные порошки керамических порошков, которое может приводить к образованию жидкой фазы.

Целью работы является разработка новых методов получения муллитокорундовой и корундовой керамики и исследование ее структуры и физико-механических свойств.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Физико-механические и химические свойства керамики на основе оксида алюминия

Керамику, в основном состоящую из оксида алюминия, в соответствии с названием природного минерала корунд, называют корундовой. Корундовая керамика содержит 95% по массе и более Al_2O_3 и корунд является основной кристаллической фазой [1]. Корундовая техническая керамика содержит не только Al_2O_3 , а в ряде случаев добавки и примеси.

Корундовую керамику, предназначенную для разных областей техники, в нашей стране называют по-разному: миналунд, микролит, поликор. Марки корундовой керамики отличаются количеством и типом вводимой добавки, технологией изготовления и свойствами.

В качестве исходных материалов для производства корундовой керамики используют безводные формы оксида алюминия в виде промышленного технического глинозема и белого электроплавленного корунда. Оксид алюминия Al_2O_3 имеет несколько кристаллических модификаций. Известны α -, β - и γ - модификации глинозема, причем α - и γ - Al_2O_3 представляют собой чистый оксид алюминия. В таблице 1 приведены некоторые физические свойства кристаллических модификаций оксида Al_2O_3 .

В природных условиях α - модификация встречается в виде минералов корунда, рубина, сапфира. Корунд кристаллизуется в тригональной сингонии

и относится к оптически одноосным двупреломляющим веществам. Оптический знак- минус. Двупреломление слабое, и $N_o - N_e = 0,008$. По шкале Мооса твердость корунда составляет 9 баллов, по шкале Роквелла – не менее 90 HRA. Плотность α - Al_2O_3 в зависимости от наличия в нем примесей колеблется от 3,98 до 4,01 г/см³. Температура плавления корунда составляет 2050°C, температура кипения 2707 ± 6 °C., теплота образования оксида алюминия равна 1,7 МДж/моль, теплота испарения – 484 кДж/моль. Теплоемкость корунда при 20°C- 0,93, при 800°C-1,1, при 1400°C- 1,2 кДж/моль. Энергия решетки 15,4 МДж/моль [1].

Таблица 1 – Физические свойства кристаллов оксида алюминия

Форма Al_2O_3	Сингония	Оптические свойства		Плотность, г/см ³
		N_o	N_e	
α	Тригональная	1,765	1,757	3,99
β	Гексагональная	1,67	1,64	2,31
γ	Кубическая	1,73	-	3,50

γ - модификация глинозема в природе она не обнаружена и образуется при термической обработке природных гидроксидов оксида алюминия, бемита ($Al_2O_3 \cdot H_2O$) и гидраргиллита ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$). При нагревании γ - Al_2O_3 переходит необратимо в α - модификацию. Этот переход протекает по диффузионному механизму, начинается при достижении температуры 1100°C и завершается при 1450°C. Переход γ - Al_2O_3 в α - модификацию сопровождается выделением теплоты в количестве 32,8 кДж/моль и уменьшением удельного объема на 14,3%. Этот эффект необходимо учитывать при разработке технологии корундовой и муллитокорундовой керамики.

Третья кристаллическая форма оксида алюминия β – глинозем представляет собой условное обозначение различных видов алюминатов, отличающихся весьма высокой концентрацией оксида алюминия. При нагревании до температур 1600 – 1700°C β – глинозем переходит в α – Al_2O_3 с выделением оксида в газообразном состоянии. Показатель преломления β – глинозема, кристаллизующегося в гексагональной системе, колеблется в следующих пределах: $N_o=1,665-1,680$; $N_e=1,63-1,65$; $N_o-N_e=0,025-0,045$. Оптический знак – минус. Присутствие β – глинозема в отожденном корунде понижает механическую прочность, электрофизические свойства и поэтому является нежелательным [1].

Технический глинозем представляет собой смесь α , β и γ -модификаций Al_2O_3 и является основным видом сырья для производства корундовой, муллитовой и муллитокорундовой керамики. В свою очередь, сырьем для получения глинозема служат природные гидроксиды алюминия, среди которых наибольшее значение имеет боксит, состоящий из трех видов гидратов в разном количестве при преимущественном содержании гидраргиллита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) и бемита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Технический глинозем производят по методу Байера, который основывается на разложении исходного сырья в растворе едкой щелочи с образованием алюмината натрия. При этом образуется раствор, а сопутствующие бокситу примеси (Fe_2O_3 , SiO_2 и др.) остаются в нерастворенном состоянии. Раствор алюмината очищается от примесей, далее путем соответствующей обработки выделяют чистый гидроксид

алюминия. Последний прокаливается в специальных вращающихся печах при температуре 1150 – 1200°C, в результате образуется белый, сыпучий однородный порошок, который и называется техническим глиноземом.

Технический глинозем имеют специфическую форму зерен, которые представляют собой своеобразные образования мельчайших кристаллитов α – и γ – модификаций Al_2O_3 размером меньше 0,1 мкм, образующие сферическую форму, так называемую сферолитную структуру. Истинная пористость сферолитов составляет около 50% и оказывает большое влияние на процесс производства керамических изделий, в первую очередь на механическое измельчение и консолидирование. Большинство сферолитов технического глинозема имеют размер 40...70 мкм.

В технологии изготовления изделий из корундовой и муллитокорундовой керамики производят всегда проводят предварительный отжиг технического глинозема при температуре не ниже 1450°C для того, чтобы осуществить перевод его модификаций в стабильную α – форму – корунд. При этом изменяется гранулометрический состав глинозема, происходит усадка частиц и частичное спекание мелких фракций порошка. Насыпная плотность порошка технического глинозема зависит от температуры предварительного отжига. Насыпная плотность неотожженного глинозема равна 0,85, отожженного при температуре 1500°C – 1,1 – 1,2, а при 1750°C – 1,5 – 1,6 г/см³.

Химический состав технического глинозема, выпускаемого промышленностью, регламентирован в соответствии с ГОСТ 6912-74. В

зависимости от степени химической чистоты разработано 11 марок глинозема, отличающихся различной степенью чистоты и минералогическим составом. Содержание оксида алюминия в техническом глиноземе определяется как разность между 100%-ным его содержанием и суммарным содержанием примесей и должно быть не менее 98%.

Вторым видом исходного сырья в технологии корундовой и муллитокорундовой керамики является электроплавленный корунд, или, сокращенно, электрокорунд. Промышленность производит два основных вида электрокорунда: нормальный и белый. Нормальный (черный), получают путем электроплавки природного сырья – боксита, а белый электрокорунд получается путем плавки в электрических дуговых печах технического глинозема. Количество Al_2O_3 в черном электрокорунде варьируется в пределах в 91...95% связи с тем, что в бокситах содержится много различных примесей, особенно SiO_2 и Fe_2O_3 , а в белом электрокорунде содержание α - Al_2O_3 превышает 98%. В производстве технической корундовой керамики применяют только белый электрокорунд. По минералогическому составу электрокорунд состоит из α - Al_2O_3 . В белом электрокорунде в качестве примеси встречается в небольших количествах β - глинозем, содержание которого зависит от чистоты исходного материала, подвергающегося плавке.

В настоящее время свойства корундовой керамики изучены достаточно полно. Интерес к этому материалу постоянно возрастает, усовершенствуется технология производства изделий из корунда, и, как следствие, улучшаются их свойства. В настоящее время в промышленном

масштабе можно получать корундовые изделия как высокоплотные, так с заданной пористостью (теплоизоляционные).

Для высокоплотной корундовой керамики, спеченной без введения активирующих добавок с практически отсутствующей пористостью (относительная плотность составляет 94...96 %) в зависимости от размера зерна характерны средние значения механической прочности (таблица 2).

Таблица 2 – Механическая прочность спеченного корунда различной кристаллизации (средние значения) [1]

Размер зерна	Предел прочности, МПа		
	При сжатии	При изгибе	При растяжении
200-250 мкм	500-1000	150-200	80-120
40-50 мкм	1000-1500	200-300	150-200
<10 мкм	Свыше 3000	350-600	250-300

Мелкозернистая структура корунда, имеет более высокие прочностные свойства. Крупнокристаллическая структура, образующаяся при спекании корундовой керамики в присутствии некоторых добавок, например, диоксида титана, приводит к снижению прочностных свойств корунда.

Особенностью оксидной керамики является сохранение прочностных свойств при высоких температурах. Прочность корунда при высоких температурах объясняется ионной связью в его кристаллической решетке, при этом тепловые колебания ионов ослабляют эту связь постепенно с ростом температуры (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние температуры на прочностные свойства корунда

Температура, °С	$\sigma_{сж}$, МПа	Температура, °С	$\sigma_{сж}$, МПа
-----------------	---------------------	-----------------	---------------------

20	Не ниже 3000		
400	1500	1200	500
600	1400	1400	250
800	1350	1500	100
1000	900	1600	50

При длительном воздействии на корундовую керамику высокой температуры (более 1300°C) и под постоянной нагрузкой происходит необратимая ползучесть, зависящая от плотности и пористости керамики, количества и вида добавок.

Вследствие отсутствия высокотемпературных полиморфных превращений коэффициент термического расширения корундовой керамики практически не зависит от температуры. Температура начала деформации при нагрузкой 0,2 МПа корундовой керамики составляет 1900°C.

Теплопроводность корунда при комнатной температуре составляет 28 Вт/(м·К). С повышением температуры до 1000°C теплопроводность снижается до 5,8 Вт/(м·К). Теплоемкость корундовой керамики до температуры 100°C составляет 0,8 Дж/г·К, с ростом температуры повышается линейно, и при 1500°C составляет 1,08 Дж/г·К.

Термическая стойкость корундовых материалов невысока. Корунд с мелкозернистой структурой в 3-4 раза менее термостоек, чем корунд, структура которого представлена крупными зернами.

Испаряемость корундовой керамики при спекании в вакууме и в среде инертных газов незначительна. При длительном нагревании до температуры 1700°C в вакууме потери составляют 0,4 – 0,5%. Низкая испаряемость корунда делает возможной его длительную эксплуатацию при высоких

температурах. Однако при длительной эксплуатации происходит рекристаллизация керамики и снижаются прочностные свойства. Данный процесс называется старением керамики: увеличивается размер зерна, повышается пористость, понижается прочность и электрофизические свойства керамики.

Для получения ультра- нанодисперсных порошков Al_2O_3 , которые используются для получения конструкционной и инструментальной корундовой керамики, широкое распространение получил способ совместного осаждения гидроксидов (СОГ) и плазмохимического синтеза (ПХС). Сущность метода СОГ заключается в растворении солей алюминия в растворе аммиака и последующем выпадении образующихся гидратов в осадок. Процесс протекает при низких температурах и длительном времени выдержки. Полученные гидроксиды сушат и прокаливают, в результате образуется нанопорошок Al_2O_3 с размером частиц 10 – 100 нм. В технологии ПХС водный раствор нитратов или хлоридов алюминия подается в сопло плазмотрона плазмохимического реактора. В каплях раствора возникают чрезвычайно высокие температурные градиенты, происходит очень быстрый процесс синтеза и кристаллизации Al_2O_3 . Частицы порошка имеют сферическую форму и размер 0,1 – 1 мкм [20].

1.2 Формование порошков

Порошки Al_2O_3 , независимо от технологии их получения, перед формованием подвергают прокаливанию при температуре 1500°C с целью перевода в устойчивую и более плотную α -модификацию.

Для получения плотной спеченной корундовой керамики технический глинозем и электрокорунд должны быть измельчены до частиц размером 1 – 2 мкм, а в некоторых случаях и мельче. Для этого применяют шаровые, вибрационные и струйные мельницы. Шаровые мельницы футеруют алундом или резиной. Засорения глинозема в таких мельницах практически не происходит.

Формование корундовых изделий производят путем шликерного, литья под давлением, одноосного статического прессования, гидростатического прессования, горячего прессования.

В технологии шликерного литья первой операцией является подготовка водной суспензии с требуемыми литейными свойствами, которые определяются его показателем pH. Глиноземистые шликеры разжижаются как в кислой, так и в щелочной среде, причем имеются определенные интервалы значения pH, которым соответствует наибольшее разжижение. Приготовленный шликер вакуумируют при давлении 15 – 20 мм рт.ст. Изделия отливают в гипсовых формах как сливным, так и наливным способом. Отлитые изделия сушат при комнатной температуре. Литые

используется для формования тонкостенных фасонных корундовых изделий сложной формы.

Для производства изделий из Al_2O_3 достаточно простой формы, например, втулок, режущих вставок, форсунок, фильер используется одноосное статическое прессование в металлических пресс-формах. В этом случае в порошок добавляется пластификатор, чаще всего каучук или карбооксиметилцеллюлоза, в количестве 1...2 % по весу.

Метод гидростатического прессования позволяет получать крупногабаритные керамические заготовки сложной формы. В гидростате равномерные уплотняющие усилия и, соответственно, равномерность всех участков прессуемого изделия обеспечивается передачей давления от нагнетаемой жидкости к изделию через эластичную оболочку. Равномерное распределение плотности в прессовке благоприятно сказывается на равномерности усадки при спекании.

Наиболее прочные изделия из Al_2O_3 получают методом горячего прессования (ГП) в графитовых пресс-формах с покрытием из BN и горячего изостатического прессования (ГИП) в газостатах. При этом одновременно происходит уплотнение порошка в изделие и спекание. Давление прессования составляет 20 – 40 МПа, температура спекания 1200 – 1300°C. Методы ГП и ГИП являются технологически сложными и энергоемкими и применяются для получения ответственных керамических деталей конструкционного назначения, работающих в условиях высоких температур и агрессивных сред.

1.2.1 Холодное статическое одноосное прессование

Прессование порошковых материалов является трудоёмкой операцией в технологии порошковой металлургии, в результате которой под действием приложенного усилия из свободнонасыпанного порошка получается относительно прочное тело – прессовка, близкая по форме и размерам к форме и размерам готового спеченного изделия с учётом изменения размеров при спекании дальнейшей обработке. Прессование порошковых материалов складывается из подготовки смеси порошков заданного химического и гранулометрического составов, дозировки и засыпки смеси в пресс-форму, прессования, выпрессовки заготовок и контроля качества. Условия прессования определяют физико-химические и механические свойства готовых изделий.

Увеличение плотности прессовок с повышением давления происходит неравномерно. На первом этапе прессования небольшое повышение давления уже вызывает значительное увеличение плотности прессовок, а при дальнейшем прессовании даже очень большое давление приводит лишь к незначительному увеличению плотности.

Процесс прессования протекает в закрытой пресс-форме при комнатной температуре и атмосферном давлении (рисунок 1). При этом происходит уплотнение порошка за счет уменьшения пористости, повышения удельной поверхности соприкосновения частиц, увеличения текучести порошка, происходят упруго-пластические деформации или хрупкое разрушение частиц и их агломератов на поверхностях контакта.

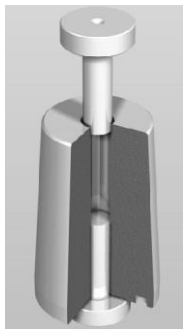


Рисунок 1 – Пресс – форма для одноосного прессования

В общем случае процесс холодного прессования состоит из трёх стадий (рисунок 2). На первой стадии в полость матрицы засыпается необходимое количество порошка, затем в зависимости от выбранного метода прессования (одностороннее или двухстороннее), к пуансоном прикладывается давление, последней стадией холодного прессования является выпрессовка.

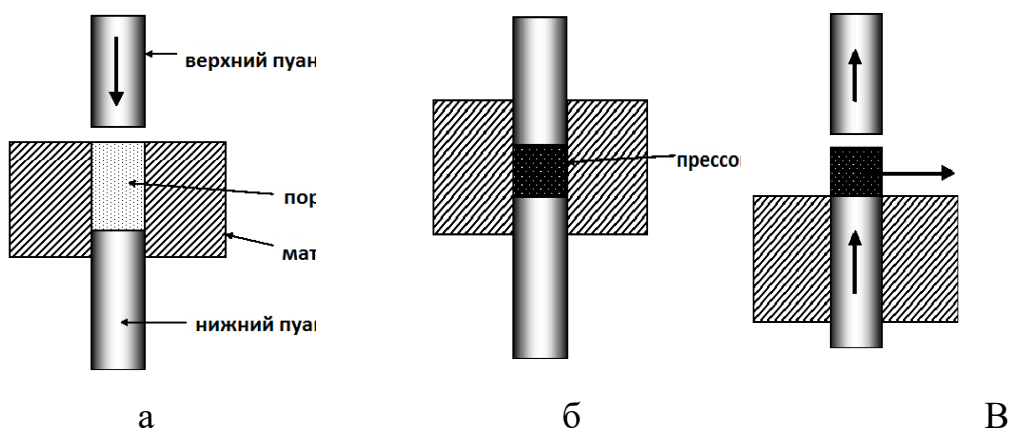


Рисунок 2 – Стадии холодного прессования: а) засыпка порошка, б) прессование, в) выпрессовка

В результате холодного прессования в закрытых пресс-формах получается прессовка, по форме и соотношению размеров соответствующая готовой детали с припусками, необходимыми для прохождения последующих операций, таких как калибровка и последующее спекание, в процессе которого, как правило происходит усадка прессовки.

1.2.2 Гидростатическое формование порошков

Методами гидростатического формования получают широкий круг изделий. Имеются новые данные о воздействии высокого давления на механические свойства порошков в зависимости от природы вещества, его кристаллического строения, структуры, состава, состояния, наличия в нем примесей. Достигнуты успехи в выявлении физических причин, определяющих влияние высокого давления на свойство формовок. Установлено, что давление жидкости существенно воздействует на механизм пластической деформации в микро- и макромасштабе.

Впервые способ холодного изостатического прессования для получения полуфабрикатов из порошков тугоплавких металлов, преимущественно молибдена и вольфрама, был запатентован в США в 1913 году.

Основные преимущества способа холодного изостатического прессования, по сравнению со статическим одноосным прессованием в металлических жестких пресс-формах, заключаются в устранение трения порошка о стенки матрицы при одновременном приложении всестороннего равномерного давления, передаваемого гидростатической жидкостью (водой, маслом) при давлении выше 100...600 МПа, ко всей поверхности порошкового тела, заключенного в тонкостенную эластичную оболочку (резина, каучук, полистирол и др.) (рисунок 3).

Для заготовок с одинаковой относительной плотностью существует соотношение между давлением гидростатического формования и давлением прессования:

$$\frac{P_{гидр}}{P_{пресс}} = \frac{1+2\xi}{3}, \quad (1)$$

где ξ – коэффициент бокового давления.

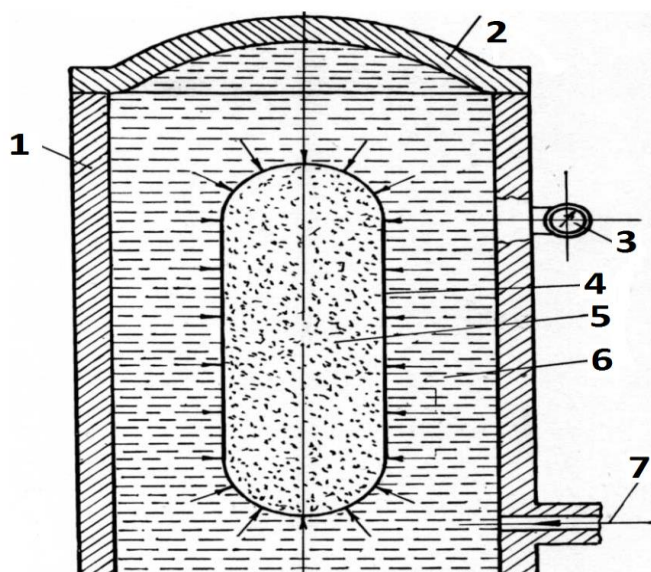


Рисунок 3 – Схема гидростатического прессования. 1 – корпус, 2 – герметичная крышка, 3 – манометр, 4 – эластичная оболочка, 5 – порошковая смесь, 6 – гидравлическая жидкость, 7 – подающий штуцер

При статическом прессовании керамического полуфабриката в металлических формах наибольшие трудности возникают при получении изделий сложной формы, к равноплотности которых предъявляются высокие требования. Вследствие этого значительное распространение получают способ изостатического прессования, во многом решающий указанные проблемы.

В ряде случаев изостатическое прессование используют и для получения изделий сравнительно простой и благоприятной конфигурации, если необходимо обеспечить снятие внутренних напряжений и равномерность, предотвратить деформацию в обжиге, вызываемую неравномерностью усадки в различных направлениях и на различных участках. Вследствие всестороннего сжатия материала, которое приводит к минимизации потерь на трение при изостатическом прессовании плотность полуфабриката оказывается выше, чем при аналогичном давлении прессования в металлических формах. В связи с этим для достижения равной степени уплотнения при изостатическом прессовании требуется более низкое давление [15].

1.3 Спекание порошковых материалов

Спеканием порошковых материалов называется диффузионный процесс, происходящий при термической обработке свободно насыпанного порошка или прессованных заготовок при $0,7...0,9$ от абсолютной температуры плавления материала порошка в однокомпонентной системе или ниже температуры плавления основного компонента в многокомпонентной системе порошков. Спекание состоит из нагрева заготовок до заданной температуры, изотермической выдержки при этой температуре и охлаждения до комнатных температур.

В порошковой металлургии и химической технологии под термином «спекание» понимают одну из важнейших технологических операций, при

которой в результате диффузионных, рекристаллизационных и других процессов при термической обработке из консолидированного конгломерата частиц порошка создаётся компактное тело, обладающее определённой структурой и свойствами. С позиции физической спекания твёрдого тела спекание представляет собой сложный многоступенчатый самопроизвольный кинетический термически активированный процесс приближения конгломерата частиц к термодинамическому равновесному состоянию с минимальной свободной энергией [16-19].

В пористых порошковых компактах в частицы соприкасаются лишь на отдельных участках меньшего размера по сравнению с сечением частицы. При спекании прессовки происходят увеличение площади межчастичных контактов и сближение центров частиц. Поскольку спекаемые порошки состоят, как правило, из частиц различного размера, взаимное припекание частиц начинается в разные моменты, при спекании будет наблюдаться временная зависимость числа межчастичных контактов. Увеличение площади контактов между частицами и сближение центров частиц эквивалентно исчезновению части объема спекаемой прессовки, занятого порами. Важнейший вопрос теории и практики спекания порошковых тел состоит в определении кинетики спекания. Авторами [20] разработана методика определения кинетики спекания порошков, использующая следующие уравнения:

$$V_v/V_n = \exp(-K\tau^n), \quad (2)$$

где V_n – начальный объем пор, V_τ – объем пор в момент времени τ .

Константа K выражением вида

$$K = K_0 \exp(-nQ_1/RT), \quad (3)$$

где K_0 – константа, независящая от температуры; R – универсальная газовая постоянная; T – температура; Q_1 – энергия активации спекания.

После двойного логарифмирования (1) и с учетом (2) получим

$$\ln \ln(V_n/V_\tau) = n \ln K_0 - nQ_1/RT + n \ln \tau, \quad (4)$$

После дифференцирования при постоянной температуре параметр n можно определить по формуле

$$n = d \ln \ln(V_n/V_\tau) / d \ln \tau, \quad (5)$$

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

$$Q_1 = -(R/n) d \ln \ln(V_n/V_\tau) / d T^{-1}, \quad (6)$$

Термодинамическим условием протекания жидкофазного спекания, так же как и твердофазного, является стремление порошковой системы к минимальной поверхностной энергии. Основная усадка в процессе жидкофазного спекания при удовлетворительном смачивании твердых частиц жидкостью обусловлена стягиванием и перегруппировкой частиц под действием капиллярных сил жидкой фазы и переносом материала твердых частиц через жидкую фазу. Наибольшая вклад в уплотнение достигается в процессе стягивания и перегруппировки твердых частиц. При жидкофазном спекании систем с взаимодействующими компонентами эффективное уплотнение достигается при меньших количествах жидкой фазы вследствие дополнительной усадки за счет перекристаллизации через жидкую фазу и

диспергирования крупных частиц при проникновении расплава в межзеренные границы, изменения их формы и коалесценции за счет растворения в жидкой фазе. Значительное влияние на окончательное уплотнение при жидкофазном спекании систем с взаимодействующими компонентами оказывает процесс аккомодации формы сближающихся твердых частиц, в особенности при малых количествах жидкой фазы [21].

1.4 Активирование процесса спекания

Целью разработки методов активированного спекания является создание оптимальных условий протекания процесса спекания. При этом стремятся к повышению плотности спекаемого материала, снижению температуры спекания и сокращению времени процесса.

Активированное спекание порошков состоит в спекании порошков, которые приведены в особое активное состояние. Для таких порошков характерны разупорядоченная кристаллическая структура, высокая дисперсность, неомогенность, фазовая нестабильность. В этом случае порошки обладают структурной и термодинамической нестабильностью атомов либо ионов вещества.

В процессах спекания более активным порошком принято считать тот, чья прессовка при прочих равных условиях уплотняется с большей скоростью, причём активность однозначно связывают с присутствием дефектов кристаллической структуры порошка. Дефекты, определяющие активность должны быть постоянны при температурах определения

активности; это значит, что в различных температурных интервалах активность определяется различного типа дефектами [32].

Каждой скорости нагрева соответствует определенная температура $T_{\max}$, при которой наблюдается максимальная скорость уплотнения. Эта температура тем выше, чем выше скорость нагревания $V_n = T/t = \text{const}$. Так при нагревании прессовок из порошка диборида циркония с величиной частиц 10 - 20 мкм со скоростями 10 и 200°/мин $T_{\max}$ повышается от 2100 до 2240°С. Активированное спекание – это не просто интенсивная усадка активных порошков, а прежде всего процесс, при котором в уплотнении спекаемого изделия или в увеличении межчастичных контактов участвует максимум дефектов структуры порошков [33].

Активировать спекаемое вещество можно осуществить различными механическими, физическими и химическими методами. В керамической технологии широко используется механическая активация исходных порошков. Наряду с ней применяют технологию горячего прессования (ГП), взрывное прессование и кратковременное спекание (термическая активация процессов спекания с помощью увеличения температуры и скорости нагревания) [31].

Механические методы реализуются в процессе их измельчения в различных аппаратах или их деформации под нагрузкой, например, под воздействием ударных волн. В первом случае активация обусловлена главным образом увеличением удельной поверхности порошков, а во втором – образованием дефектов структуры. При размоле в различных агрегатах при

разной степени измельчения реализуется равновесный помол, при котором более высокая дисперсность частиц не может установиться вследствие агломерации тонких частиц, а концентрация дефектов не превышает критического значения из-за особенностей взаимодействия дислокаций.

К физическим методам активирования относятся различные виды облучения, например, нейтронное, ультразвуковое, превращения кристаллической структуры, высокие давления. Облучение может активировать порошок, создавая в нём главным образом избыточные точечные дефекты и неустойчивые состояния границ межзеренных границ. Кристаллографические превращения активируют только процесс спекания, так как активное состояние, вызванное напряжениями, образующимися дислокациями и другими дефектами структуры возникает только в момент превращения. Высокие давления воздействуют на процесс, изменяя массоперенос вещества.

К химическим методам активирования порошков тугоплавких соединений можно отнести все способы, обеспечивающие получение высокодисперсных частиц, например, осаждение из растворов, синтез в плазме, синтез нестехиометрических соединений, а к химическим методам активирования процесса спекания — введение различных химических соединений, воздействие газовых сред и сублимация [34].

1.4.1 Механическая активация порошков и механосинтез

Современные представления о внутренней сущности механохимических превращений веществ при тонком измельчении опираются на понятия об активации твердых реагентов механическими силами. Понятие «механоактивация» введено в литературу А. Смекалом. Этот процесс определяется как изменение энергетического состояния, физического строения и химических свойств веществ под действием механических сил при диспергировании, причем изменение энергетического состояния относится к гетерофазной системе [35].

Особый интерес представляет механическая активация твердых тел и реакций с их участием, так как установлено, что часть механической энергии, подведенной к твердому телу во время активации, затрачивается на образование новой поверхности, линейных и точечных дефектов. С помощью механической активации удастся использовать в химии ряд физических эффектов, происходящих в твердых телах при больших скоростях деформации. К ним относятся: изменение структуры твердых тел; ускорение процессов диффузии при пластической деформации; образование активных центров на новой поверхности; возникновение высоких локальных температур и давлений [36].

Указанные эффекты можно получить с использованием измельчительного оборудования. К настоящему времени разработаны аппараты с высокой интенсивностью подвода энергии, и роль этих эффектов при измельчении сильно возросла. Для сверхтонкого измельчения

порошковых материалов служит скоростная измельчительная техника [37]. Малогабаритная и быстроходная, с большой частотой воздействия на измельчаемый материал и высокой концентрацией подводимой энергии энергии к единице объема порошка, такая техника работает как в ударном, так и в истирающем режиме, что позволяет исследовать и использовать на практике эффекты, обусловленные сверхтонким измельчением веществ. Примером такого оборудования может служить планетарная мельница периодического действия, представленная на рисунке (4) .



Рисунок 4 - Фотография планетарной мельницы периодического действия

Физико-химические явления, обусловленные механическим воздействием на твердые тела, особенно ярко проявляются при измельчении материалов. Вещества в тонкодисперсном состоянии характеризуются комплексом специфических свойств — они становятся более химически активными, бурно, иногда со взрывом, реагируют с другими веществами,

плавятся при более низких температурах, лучше спекаются, дают более прочные спеки и т. д.

Таким образом, чисто физические процессы трения или измельчения, связанные с приложением механических сил, становятся причиной химических реакций или изменения реакционной способности твердых веществ [38]. Нельзя не учитывать влияние размеров частиц измельчаемого вещества на его физическое состояние. Например, в случае измельчения, при котором происходит разрушение вещества по кристаллографическим плоскостям и при этом не создается никаких дефектов кристаллической решетки, а в частицах не остается остаточных напряжений, существует некоторый предел в размерах частиц, по достижении которого неизбежно должны произойти структурные изменения измельчаемого вещества. Как только поперечные размеры частиц станут соизмеримы с параметрами кристаллической решетки, кристаллическое вещество приобретет меньший параметр решетки, либо превратится в аморфное вещество с поглощением энергии, равной энергии кристаллической решетки, либо произойдет деструкция вещества (механолиз, механокрекинг, диссоциация и т. п.) [39].

Уменьшение размеров частиц при диспергировании веществ являются одной из причин глубоких изменений вещества наряду с другими причинами, такими, как дефекты кристаллической решетки и остаточные напряжения. Кроме того, оно дает возможность определить границы между тонким и сверхтонким измельчением. Тонким измельчением следует считать такую степень дисперсности, при которой еще не наблюдается глубоких изменений

структуры и химического состава исходного вещества. При сверхтонком измельчении исходный материал перестает существовать в своей изначальной структуре или химическом составе, превращаясь в новое вещество с иными физико-механическими, химическими свойствами и структурой [40].

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Объект и методы исследования

Использовали промышленный нанокристаллический оксидный порошок (НП) Al_2O_3 , полученный методом плазмохимического синтеза марки УДПО ВТУ 4-25-90. Размер сфер варьируется в пределах 100-1000 нм, размер кристаллитов, образующих сферу – 50-100 нм.

В качестве активирующих добавок использовали субмикронные промышленные порошки MgO и TiO_2 . Порошок MgO добавляли к Al_2O_3 с целью торможения рекристаллизации корунда при его спекании и сохранения мелкозернистой структуры спеченной керамики. TiO_2 применяли для снижения температуры спекания корундовой керамики.

Порошок SiO_2 получали в лабораторных условиях путем дробления и помола кварцевого стекла в планетарной мельнице. Использовали фракцию с размером частиц <40 мкм. SiO_2 добавляли в порошок Al_2O_3 с целью реализации механизма жидкофазного спекания и получения муллитокорундовой керамики в соответствии с диаграммой состояния $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$, представленной на рисунке 5.

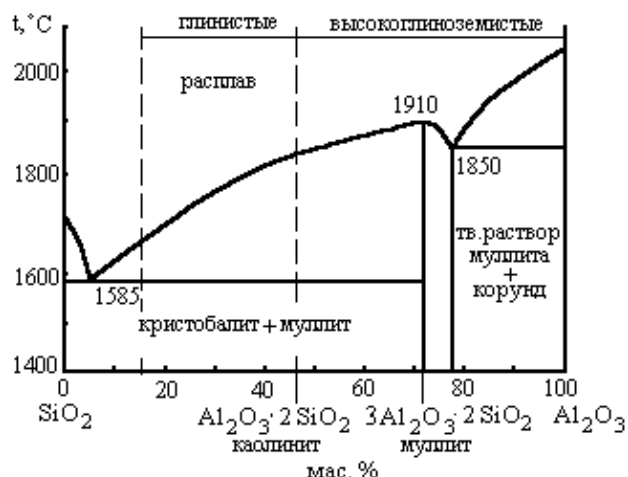


Рисунок 5 – Диаграмма состояния системы SiO_2 - Al_2O_3

Порошок Al_2O_3 отжигали в атмосфере воздуха в высокотемпературной печи сопротивления при 1450°C в течение одного часа для перевода γ - Al_2O_3 в α - Al_2O_3 .

С целью получения порошковых шихт заданных составов, улучшения технологических их характеристик и повышения активности отожженные порошки и добавки обрабатывали в энергонапряженной планетарной шаровой мельнице «Активатор 2SL» (рисунок 6) в течение 20 минут при частоте вращения размольных сосудов 20 Гц. Мелющими телами являлись диоксидциркониевые шары. Соотношение масс порошка и шаров составляло 1:3.



Рисунок 6 – Планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL »

В результате изготовили 6 партий порошковых смесей, которые указаны в таблице 4.

Таблица 4 – 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
5	94,6 % Al_2O_3 – 0,4% MgO – 5% SiO_2
6	89,6 % Al_2O_3 – 0,4% MgO – 10% SiO_2

Обработанные порошки просеивали через сито № 0040 в течение 10 минут на виброприводе С. 1 для получения фракции < 40 мкм и пластифицировали водным раствором карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) из расчета: 5 мас. % КМЦ – 95 % порошка. Пластифицированные порошки формовали методом одноосного прессования в стальной пресс-форме, давление прессования составляло 300 МПа. Полученные прессовки представляли собой цилиндры диаметром $25 \pm 0,01$ мм и высотой $5 \pm 0,01$ мм.

Спекание прессовок проводили в высокотемпературной печи сопротивления по режиму, приведенному на рисунке 7.

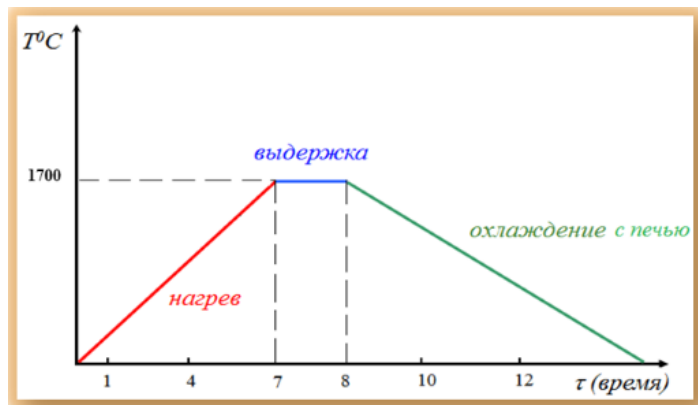


Рисунок 7 – Термический режим спекания керамических прессовок в высокотемпературной печи сопротивления

Плотность спеченных образцов ρ определяли методом гидростатического взвешивания в 96%-ом этиловом спирте ($\rho_{\text{сп}}=0,807 \text{ г/см}^3$ при 20°C) с погрешностью $\pm 0,001 \text{ г}$. Также рассчитывали относительную плотность образцов Θ в соответствии с выражением:

$$\theta = \frac{\rho}{\rho_T} \cdot 100 \%, \quad (7)$$

где ρ_T – теоретическая плотность керамики.

Индентирование осуществляли с помощью прибора Nano Indenter G 200 (рисунок 8). В качестве индентора использовали пирамиду Берковича, нагрузка составляла 500 мН (50 г). Конструкция прибора позволяет выводить диаграмму внедрения индентора на монитор в режиме реального времени. Первичные данные – нагрузка и глубина внедрения пирамиды. По диаграмме внедрения прибор автоматически рассчитывал модуль упругости E_{IT} и микротвердость H_{IT} в соответствии со стандартом ISO 14577.



Рисунок 8 – Nano Indenter G200

Экспериментальная первичная кривая «нагрузка – внедрение» (диаграмма внедрения), непрерывно получаемая в процессе индентирования, показана на рисунке 9. По диаграмме определяются следующие величины: пиковая нагрузка и глубина внедрения индентора $P_{\max}$ и $h_{\max}$, остаточная глубина после разгрузки h_f , и наклон начальной части кривой разгрузки $S = dP/dh$, который характеризует упругую жесткость контакта. При использовании в качестве индентора трехгранной пирамиды Берковича твердость исследуемой поверхности H определяется по следующей формуле:

$$H = \frac{P}{A} = 0,00387 \frac{P}{h_{\max}^2}, \quad (8)$$

где P – нагрузка, прилагаемая к испытываемой поверхности, Н, A – площадь отпечатка под нагрузкой, мм^2 , $h_{\max}$ – глубина внедрения индентора, мм.

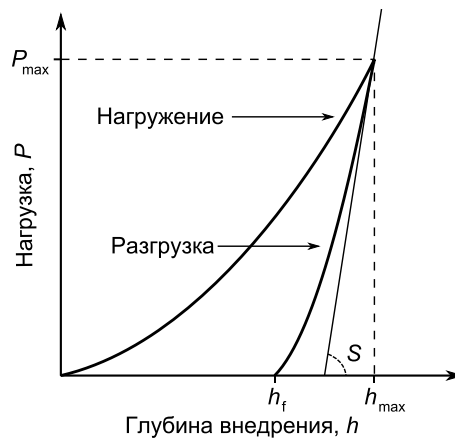


Рисунок 9 – Кривая «нагрузка – внедрение», получаемая в процессе индентирования

Модуль упругости исследуемого образца E определяется из приведенного модуля E_r , который рассчитывается по формуле:

$$E_r = \frac{(S\sqrt{\pi})}{2\beta\sqrt{A}}. \quad (9)$$

Здесь β является константой, которая зависит от геометрии индентора. Для осесимметричного индентора $\beta=1$, для индентора с квадратным сечением (пирамида Виккерса) $\beta=1,012$, для индентора с треугольным сечением (пирамида Берковича) $\beta=1,034$. Окончательно модуль упругости исследуемого материала E рассчитывается с помощью выражения:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{(1 - \nu^2)}{E} + \frac{(1 - \nu_i^2)}{E_i}, \quad (10)$$

где ν – коэффициент Пуассона исследуемого материала, E_i и ν_i – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала индентора. Для алмаза $E_i=1141$ ГПа и $\nu_i=0,07$.

Прочность спеченной керамики определяли по методике «Scratch Testing» также с помощью прибора Nano Indenter G 200. Суть метода заключается в нанесении на исследуемую поверхность царапины заданной длины (200 мкм) под действием линейно возрастающей нагрузки (от 0 до 4 г), последующем определении глубины и ширины профиля. Прочность образцов рассчитывалась по формулам

$$\sigma = \frac{F_n}{A_s \sin \alpha} \text{ и } A_s = \frac{a^2}{2\sqrt{3} \sin \alpha} + \frac{ah}{\cos \alpha}, \quad (11)$$

где F_n – нормальная нагрузка, A_s – проекционная площадь отпечатка от пирамиды Берковича, a и h – ширина и глубина профиля царапины на дистанции 200 мкм соответственно, α – угол, для пирамиды Берковича равный 65° .

2.2 Результаты проведенного исследования

В таблице 5 приведены значения плотности образцов, спрессованных под давлением 300 МПа. Следует отметить, что все образцы имели правильную цилиндрическую форму, расслоя и осыпания кромок не наблюдалось.

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	3,97	54,91
3	97,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 2% TiO ₂	2,19	3,97	55,16
4	95,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 4% TiO ₂	2,24	3,97	56,42
5	94,6 % Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 5% SiO ₂	2,20	3,87	56,85
6	89,6 % Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 10% SiO ₂	2,16	3,78	57,14

В таблице 6 показаны значения плотности спеченных образцов.

Таблица 6 – Плотность спеченных образцов

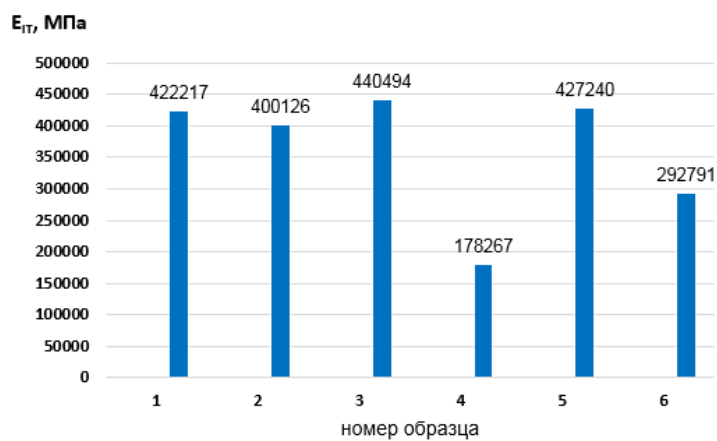
№	Состав, мас. %	ρ , г/см ³	ρ_t , г/см ³	Θ , %
1	99,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO	3,60	3,97	90,68
2	98,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 1% TiO ₂	3,66	3,97	92,07
3	97,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 2% TiO ₂	3,57	3,97	89,92
4	95,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 4% TiO ₂	3,67	3,97	92,44
5	94,6 % Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 5% SiO ₂	3,44	3,87	88,89
6	89,6 % Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 10% SiO ₂	3,02	3,78	79,89

Видно, что наибольшую плотность после спекания имел образец №4 состава 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 активирует процесс спекания. Добавление SiO₂ в корундовую керамику в количестве более 10% ухудшает спекаемость керамики.

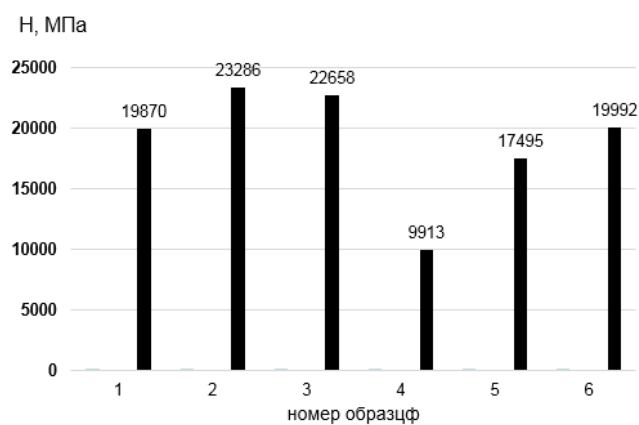
В таблице 7 и на диаграммах (рисунки 10) приведены физико-механические характеристики спеченных образцов, определенных по методике наноиндентирования.

Таблица 7 – Физико-механические свойства спеченной керамики

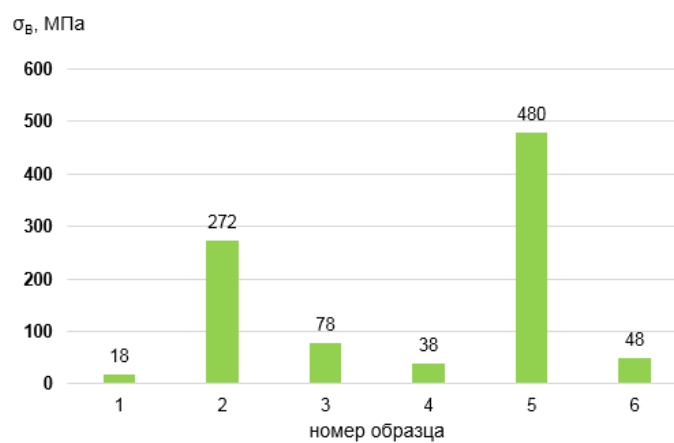
№	Содержание, мас. %	E_{IT} , МПа	H_{IT} , МПа	H_{MS} , МПа	σ , МПа
1	99,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO	422217	19870	12204	18
2	98,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 1% TiO ₂	400126	23286	12916	272
3	97,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 2% TiO ₂	440494	22658	14021	78
4	95,6% Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 4% TiO ₂	178267	9913	6437	38
5	94,6 % Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 5% SiO ₂	427240	17495	13505	480
6	89,6 % Al ₂ O ₃ – 0,4% MgO – 10% SiO ₂	292791	19992	9933	48



а



б

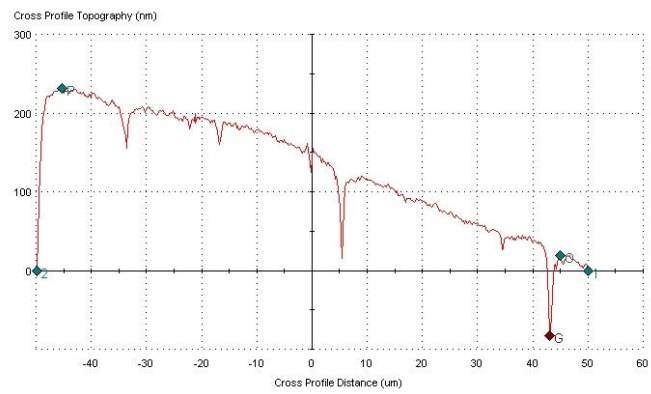


в

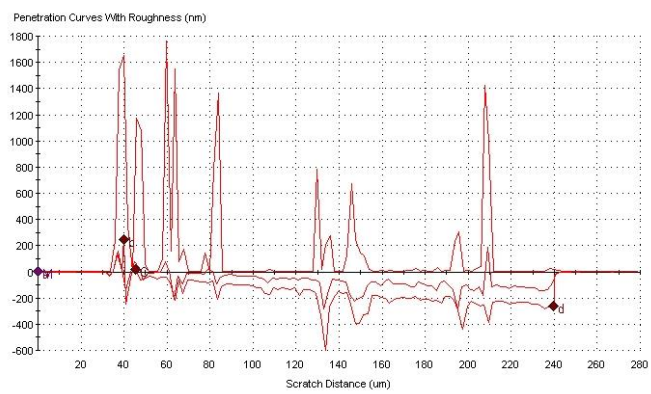
Рисунок 10 – Модуль нормальной упругости (а), нанотвердость (б) и прочность (в) спеченной керамики

Видно, что значения модуля нормальной упругости твердости керамики на основе корунда в целом соответствуют табличным (19-21 ГПа), в то время, как разброс значений прочности, определенной по методике царапания значителен. Это объясняется особенностью скрэч-метода: дистанция царапания составляла 200 мкм, глубина варьировалась в пределах 100-800 нм, индентор часто останавливался на разупрочненных межзеренных границах. Наибольшую прочность имел образец состава № 5 состава 94,6 % Al_2O_3 – 0,4% MgO – 5% SiO_2 . Данный состав соответствует муллитокорундовой керамике (рисунка. 11). В целом, следует отметить, что методика скрэч-тестирования требует весьма качественную подготовку поверхности образцов. При этом они должны иметь минимальную остаточную пористость.

На рисунке 11 показаны первичные графики, полученные во время проведения испытаний спеченных образцов по методике «Scratch Testing». По критическим точкам на полученных графиках, используя вышеприведенные формулы, были определены значения прочности образцов.

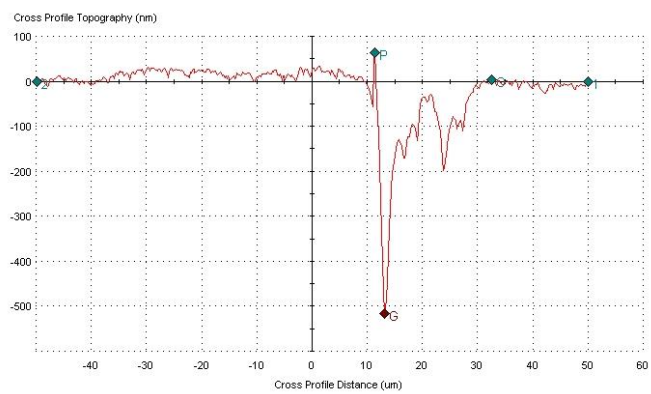


a

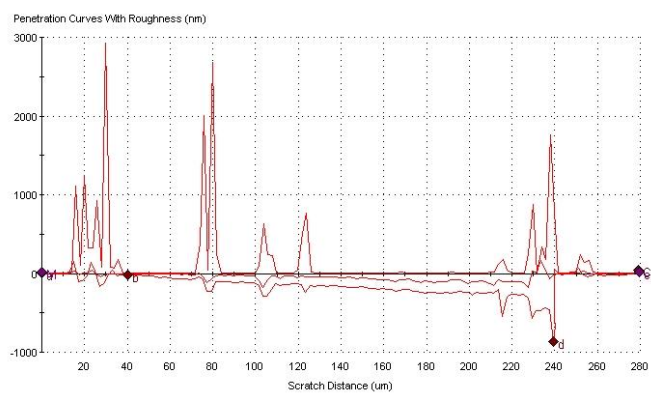


б

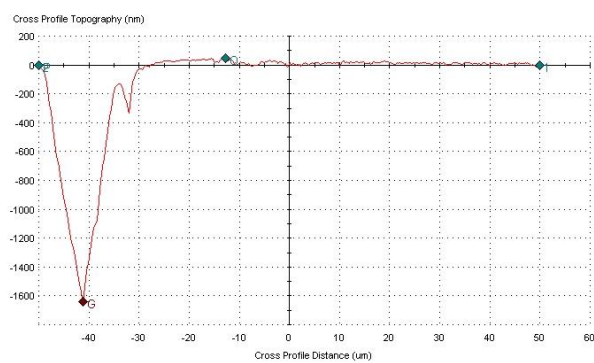
Образец № 1



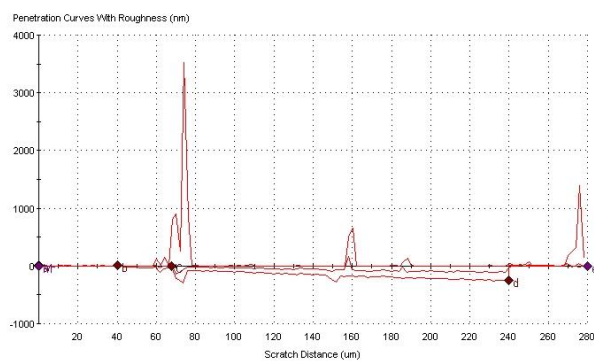
a



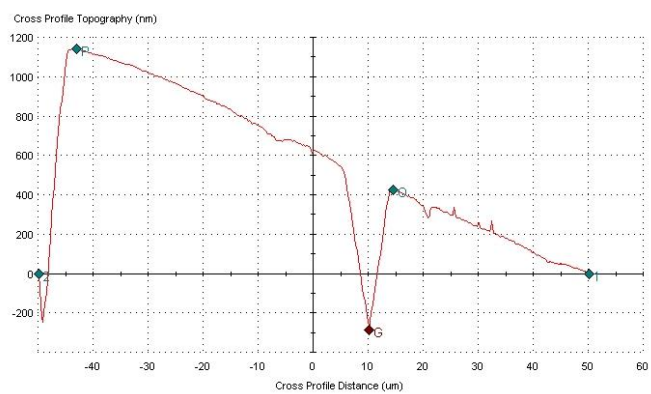
б
Образец № 2



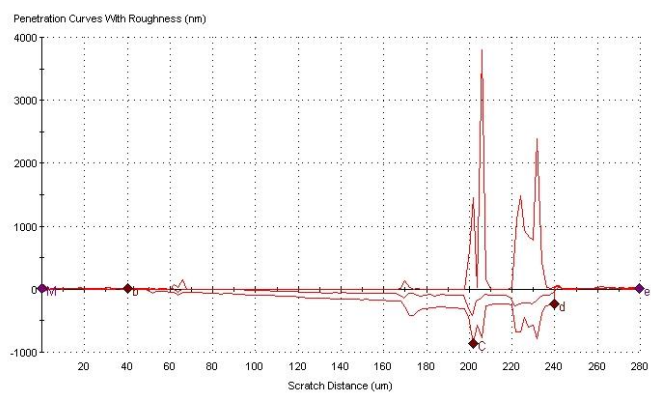
а



б
Образец № 3

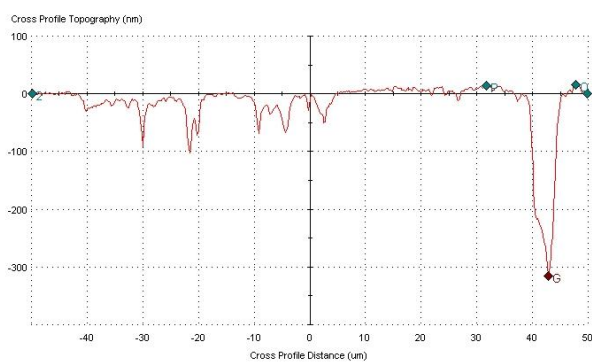


a

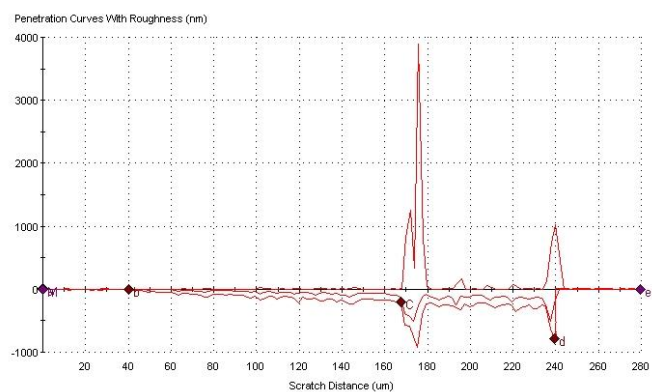


б

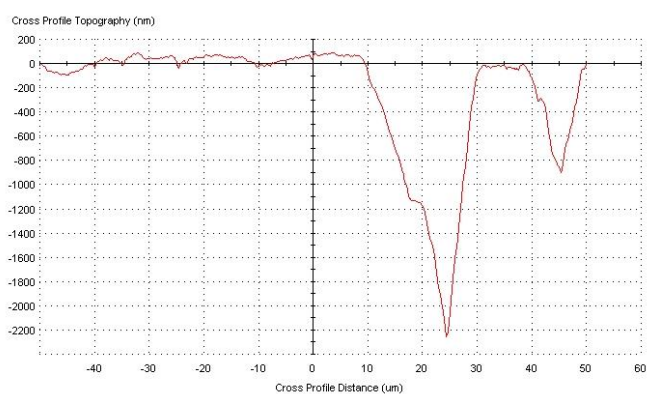
Образец № 4



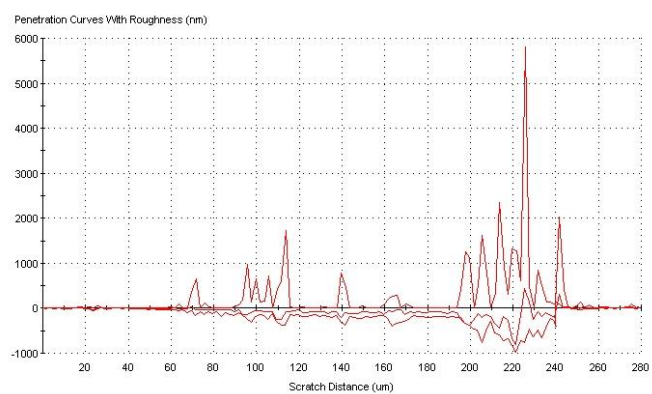
a



б
Образец № 5



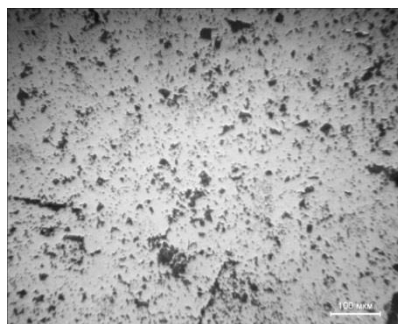
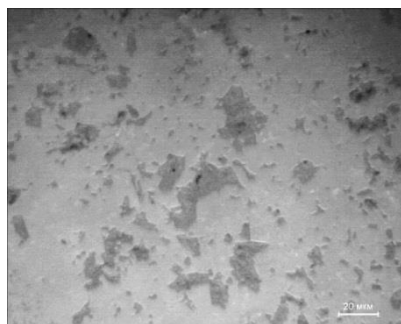
а



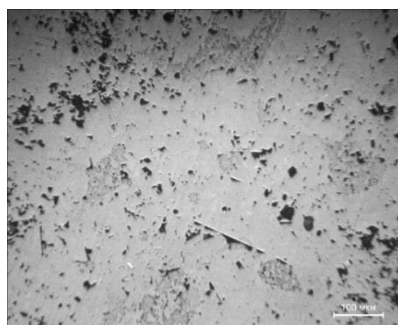
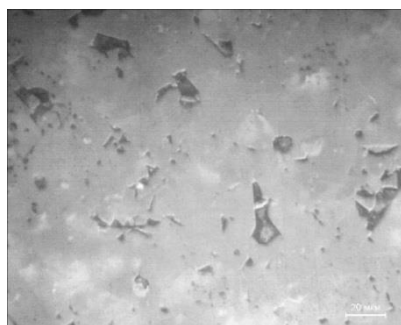
б
Образец № 6

Рисунок 11 - Первичные графики исследованных образцов

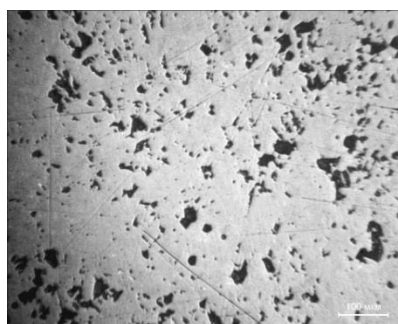
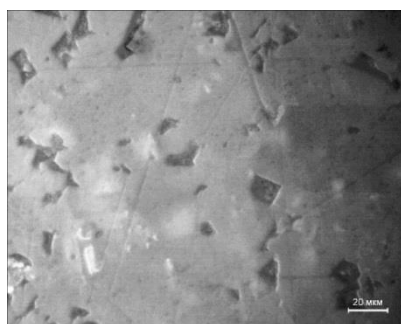
Структуры спеченных образцов после травления показаны на рисунке



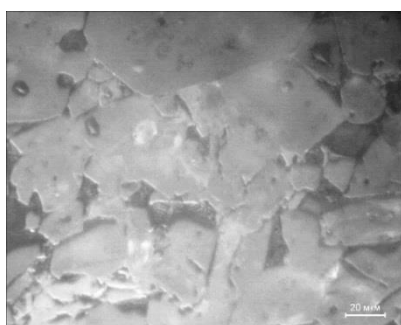
Образец № 1



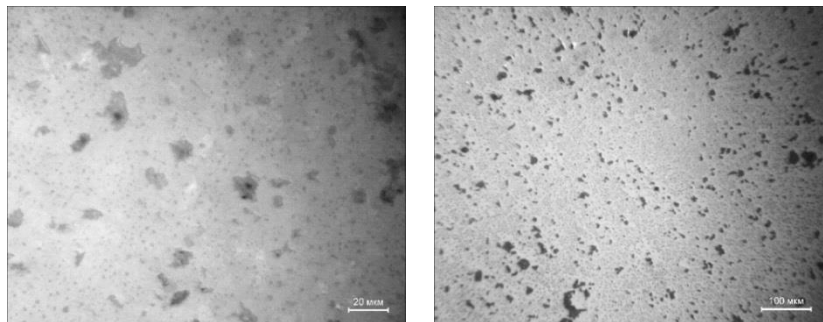
Образец № 2



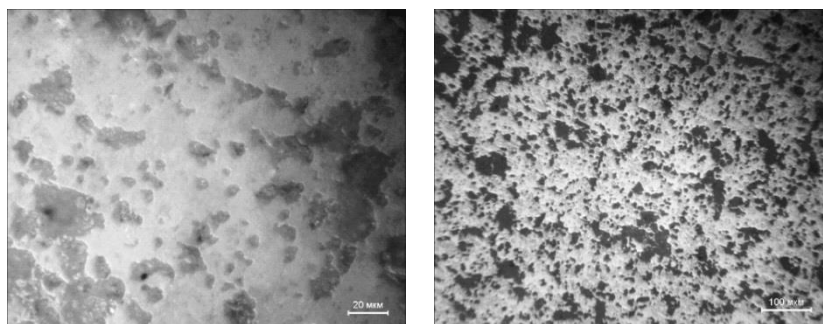
Образец № 3



Образец № 4



Образец № 5



Образец № 6

Рисунок 12 - Структуры образцов

Видно, что наименьшую пористость имели спеченные образцы № 2 и № 5 (составы $98,6\% \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0,4\% \text{ MgO} - 1\% \text{ TiO}_2$ и $94,6\% \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0,4\% \text{ MgO} - 5\% \text{ SiO}_2$). Эти данные коррелируют результатами определения плотности, твердости и прочности спеченных образцов (таблица 6,7). Обращает внимание структура образца № 4 (состав $95,6\% \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0,4\% \text{ MgO} - 4\% \text{ TiO}_2$), представленная крупными зернами (~ 100 мкм. Рост зерен при спекании керамики данного состава обусловлен добавкой $4\% \text{ TiO}_2$, которая резко интенсифицирует рекристаллизационные процессы.

Трещиностойкость керамики

Трещиностойкость керамики долгое время оценивали различными методами, предназначенными для испытания металлов. И лишь в 90-х годах прошлого века начали стандартизировать методы ее испытания на трещиностойкость, а также проводить международные исследования с целью сравнительной оценки этих методов.

Для таких испытаний рекомендуется применять разрушаемые при изгибе образцы в виде прямоугольных балок, на которые наносятся концентраторы напряжения различной формы (таблица 4). Интересно, что эти методы не особенно отличаются от метода, основанного на идеях работы, задачей которой была разработка стандарта, предназначенного для испытания металлических материалов. И даже специалисту бывает нелегко выбрать “оптимальный” метод, так как далеко не все они пригодны для оценки различной керамики и не всегда применимы в условиях обычной лаборатории.

Возможно поэтому (если судить по публикациям) технологи часто применяют более простые методы испытаний: метод БЕКВ (таблица 8), упрощенный (трещина заменена пропилом) вариант метода БЕРВ, расчетные формулы для которого взяты из, и метод 1Б (таблица 9), основанный на анализе трещин, образовавшихся при внедрении индентора в полированную поверхность образца. Следует заметить, что, в отличие от случая металлических материалов, результаты исследования трещиностойкости керамики пока еще редко применяются при конструкторских расчетах сопротивления изделий распространению в них опасных трещин, а лишь используются с целью

сравнительной численной оценки ее сопротивления разрушению. Иначе говоря, последнее в какой-то степени напоминает эпоху палеолита, когда для изготовления инструментов и оружия приходилось работать с такими хрупкими материалами, как камни.

Таблица 8 - Традиционные методы испытания керамики на трещиностойкость(объединены этапы 2 и 3 разрушения образца)

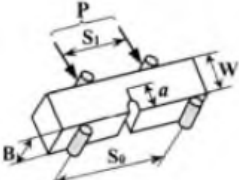
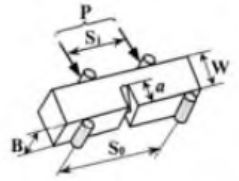
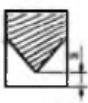
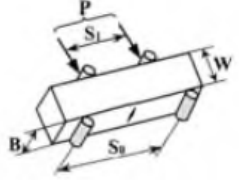
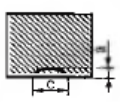
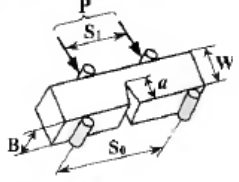
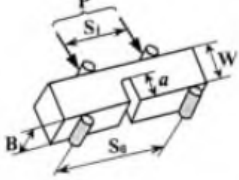
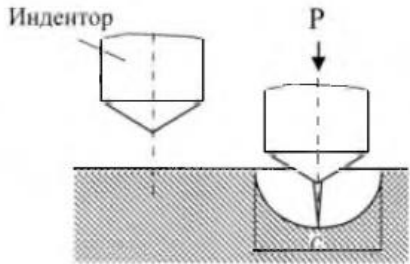
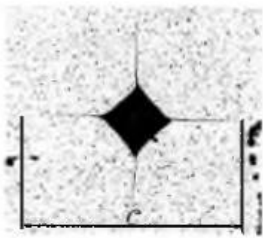
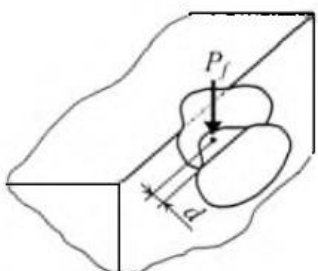
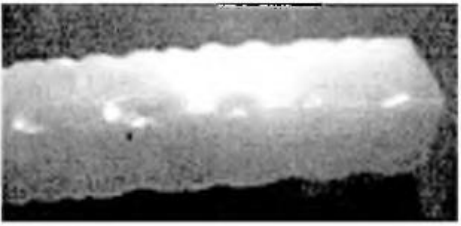
Образец	Концентратор напряжения (этап 1 разрушения)	Характеристика
	SEPБ [8]  (Single Edge Precracked Beam)	Аналогичный используемому при испытаниях металлов. Точность измерения зависит от структуры материала.
	CNB [8]  (Chevron Notched Beam)	При испытаниях регистрируют зависимости усилие – прогиб, изготовить точный шевронный надрез в образце технически достаточно сложно.
	SCF [8]  (Surface Crack in Flexure)	Применим для испытания плотных мелкозернистых материалов.
	SEVNB [9]  (Single Edge V-Notched Beam)	Оптимальный метод, пригодный для испытания различной керамики, характеризуется ограниченным разбросом экспериментальных данных [3].
	SENB  (Single Edge Notched Beam)	Приближенный (технологический) метод. Значения трещиностойкости могут быть значительно выше, определяемых по стандартным методам [3].

Таблица 9 -Трехэтапные методы других авторов

Схема метода	Испытанный образец
 Метод IF [6]	 Керамика LaCoO_3
Скалывание кромки [10] 	 Диоксидциркониевая керамика Prozyt

Анализ методов испытаний. Разрушение - локальный процесс, который при испытаниях на трещиностойкость можно условно разделить на три этапа: формирование источника разрушения (концентратора напряжения), зарождение трещины и ее неконтролируемое (или контролируемое) распространение. В соответствии с этим подходом современные методы испытаний на трещиностойкость формально делятся на две группы. К первой относятся двухэтапные методы (таблица 8), согласно которым на образец сначала наносится концентратор напряжения, и только после этого образец разрушается при изгибе.

Вторая группа объединяет трехэтапные методы, основанные на применении индентора и не предполагающие предварительного формирования концентратора напряжения в образце. Эти группы отличаются тем, что для

первой из них необходимы образцы определенной формы и размеров, которые не всегда можно изготовить из испытуемого материала. Для второй группы (таблица 9) используются образцы произвольной формы (или керамические изделия), и при этом разрушается небольшой объем материала. При такой неформальной классификации методов следует обратить внимание на их принципиальные отличия. Вначале рассмотрим методы (таблица 8), которые основываются на представлениях линейной механики разрушения, фактически предполагающей квазихрупкий процесс разрушения материала. В этом случае поверхностная энергия Гриффитса γ заменена необратимой энергией диссипации в тонком слое пластических деформаций вблизи поверхности трещины, которая в тысячи раз больше величины γ . Керамика рассматривается как хрупкий материал, который разрушается, не достигая предела текучести, значение которого для нее обычно выше предела прочности.

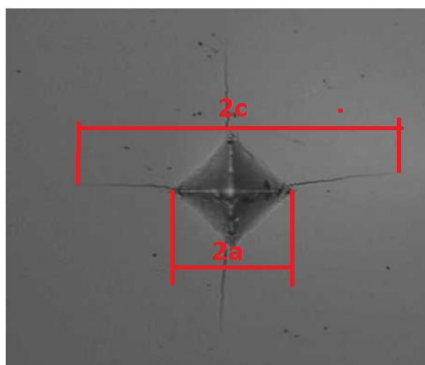
Такой подход к изучению керамики равнозначен игнорированию всего многообразия ее структуры и деформационного поведения, что может быть причиной недостоверных оценок ее действительного сопротивления разрушению. С представлениями механики разрушения связан также трехэтапный метод IB (табл. 5), согласно которому разрушение керамики осуществляется с помощью индентора, т.е. метод в определенной мере близок к использованному в настоящей работе. Этот метод предусматривает не изучение распространяющихся трещин, что характерно для всех других методов испытаний на трещиностойкость, а анализ остановившихся трещин после внедрения индентора Виккерса в поверхность образца. Он применим только

тогда, когда четко видны трещины, образовавшиеся у углов отпечатка индентора (таблица 9), что далеко не всегда реально на практике.

Трещиностойкости определили интентором, по выражениям:

$$K_{Ic} = 0.16HV * a^{1/2} (c/a)^{-3/2} \text{ МПа} * \text{м}^{1/2}$$

$$HV = 1.8544 * (p/d^2)$$



где: p нагрузка; d длина стороны отпечатки

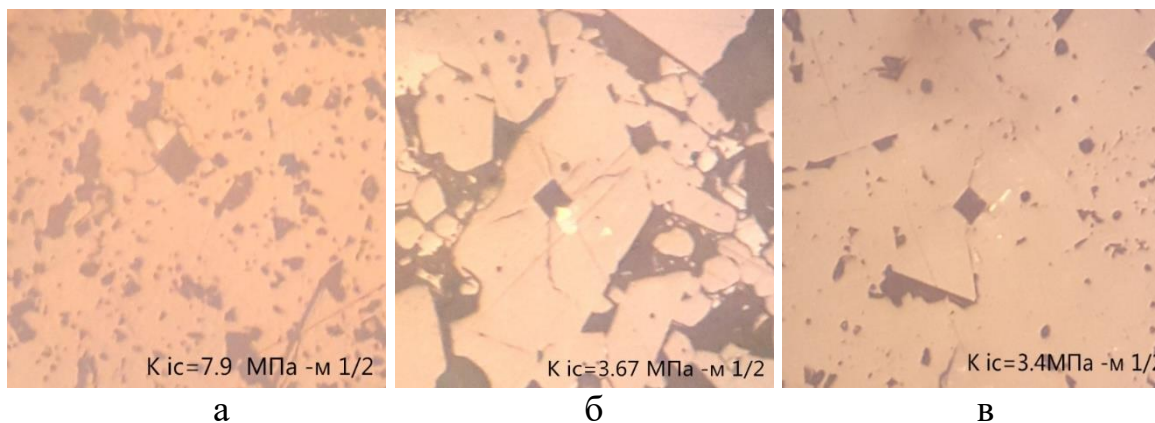


Рисунок 13- Трещиностойкости образцов

При сравнении полученных параметров, образец №5 имел наибольшую трещиностойкость, благодаря добавлениям с удачными содержаниями.

Таблица 10 – 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
5	12.2	29.7	7.9

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
154Б30	Ли Кунь

Институт	ИСГТ	Кафедра	ММС
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	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>Образец спеченное изделие, фидсток Catamold420W, твердомер, Металлографический микроскоп, компьютер</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Для данной работы нормы и нормативы расходования ресурсов отсутствуют.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Данная работа не подлежит налогообложению.</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>Данная научно-исследовательская работа финансируется за счет средств государственного бюджета.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Согласно расчетам, себестоимость выполнения данной работы составляет 80 тыс. руб.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>В нашем случае бюджета затрат на научно-исследовательский проект только по варианту руководителя, по результатам НИР были выполнены поставленные задачи.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б30	Ли КУнь		

3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

С развитием науки и технологии производства керамики из оксида алюминия широко используются в современной промышленности.

1) Машина. С устойчивым к истиранию глинозема керамической облицовки плитками, вкладыш, вкладыш, алюмооксидной керамики ногтей,

керамический уплотнительный элемент (глинозем керамический шарик),
черный оксид алюминия керамического режущего инструмента,
как красный цвет глинозема керамического плунжера.

2) Электроника, электричество. Различный глинозем керамической подложки, подложка, керамическая мембрана, высокое давление натрия, а также различный керамический прозрачный оксид алюминий электроизоляционных керамики керамического оксида алюминия, электронные материалы, магнитные материалы.

3) Химическая промышленность. Глинозем керамические шарики химический наполнитель, оксид алюминия керамические мембраны микрофльтрации, оксид алюминия керамические покрытия устойчивы к коррозии.

4) Медицина. Глинозем керамика, искусственные кости, гидроксиапатит покрытие из поликристаллического оксида алюминия керамические искусственные зубы, искусственные суставы и тому подобное.

5) Строительство и санитарная керамика. Шаровой мельнице с использованием оксида алюминия керамической облицовочной кирпич, камень микрокристаллическая шар глинозема приложения износа были очень популярны, глинозем керамический валок, глинозем керамические защитной трубки и различные окиси алюминия, оксид алюминия огнеупорный материал в сочетании применение других повсеместно видимый.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В таблице 11 представлены основные потребители результатов исследований в зависимости от их вида.

Таблица 11 – Классификация потребителей результатов НИР

Вид исследований	Потребители	Цели приобретения
Фундаментальные и поисковые исследования	Государство, общество	Развитие науки, общественный прогресс, пополнение существующей базы знаний, создание заделов для прикладных исследований
Прикладные исследования	Государство, региональные структуры	Удовлетворение общественных нужд (оборона, образование, экология и т.п.), поддержание престижа и авторитета на международном уровне
	Корпорации, промышленные предприятия, фирмы	Разработка новых продуктов, повышение конкурентоспособности, максимизация прибыли
Разработки	Государство, региональные структуры	Обеспечение общественных нужд, поддержание национальных интересов
	Корпорации, промышленные предприятия, средний и малый бизнес	Производство новых продуктов, повышение конкурентоспособности, получение экономического эффекта

Поскольку данная работа относится к фундаментальным, то потребителями являются государство и общество.

3.2 Разработка устава НИР

3.2.1 Цели и результаты проекта

Таблица 12 – Заинтересованные стороны проекта

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

Таблица 13 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Исследование закономерностей консолидирования керамики на основе Al_2O_3 , активированного добавлением в шихту порошков MgO , TiO_2 , SiO_2 в срок с сентября 2016 г по июнь 2017 г. Защитить бакалаврскую диссертацию в ТПУ 24.06.2017 г.
Ожидаемые результаты проекта:	Бакалаврская диссертация
Критерии приемки результата проекта:	Публикации результатов работы в индексируемых отечественных и зарубежных журналах. Участие в конференциях.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Успешная защита бакалаврской диссертации в ТПУ

3.2.2 Организационная структура проекта

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

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{\min\ i} + 2 \cdot t_{\max\ i}}{5}, \quad (12)$$

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

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

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

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pt} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (13)$$

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

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

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (14)$$

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

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

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (15)$$

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

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

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

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 52 - 12} = 1,21,$$

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

Результаты расчетов приведены в таблице 14.

Для начала следует определить удельное значение каждой работы в общей продолжительности работ:

$$Y_i = \frac{T_{pi}}{T_p} \cdot 100\%, \quad (16)$$

где Y_i – удельное значение каждой работы в %;

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

T_p – суммарная продолжительность темы, раб.дн.

Тогда техническую готовность темы G_i , можно рассчитать по формуле:

$$G_i = \frac{\sum_{j=1}^i T_{pj}}{T_p} \cdot 100\%, \quad (17)$$

где $\sum T_{pi}$ – нарастающая продолжительность на момент выполнения i -той работы.

Таблица 14 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затрат ы, дни.
1	Матренин Сергей Вениаминович, ТПУ, ИФВТ, ММС, доцент.	Руководитель	Отвечает за реализацию проекта, координирует деятельность участников проекта.	16
2	Ли Кунь ТПУ, студент.	Ответственный исполнитель	Выполняет работы по проекту. Проводит исследования, пишет статьи и бакалаврскую диссертацию.	48
ИТОГО:				64

3.2.3 Ограничения и допущения проекта

Таблица 15 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	100000р
3.1.1. Источник финансирования	Российский научный фонд (РНФ)
3.2. Сроки проекта:	Сентябрь 2016 г – июнь 2017 г.
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	20.09.2017
3.2.2. Дата завершения проекта	20.06.2017
3.3. Прочие ограничения и допущения	Ограничение по времени использования научного оборудования (1 раз в месяц на оптическом микроскопе). Ограничение времени работы участников проекта (менее 12 часов в неделю)

3.3 Планирование и график НИР – Календарный план проекта

Таблица 16 – Календарный план проекта

Название работы	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
Получение нанокристаллических оксидных порошков Al_2O_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2 - \text{Y}_2\text{O}_3$, субмикронных промышленных порошков MgO , TiO_2 и порошка SiO_2	6	23.09.2016	28.09.2016	Матренин С. В. (доц.)
Изучение литературы по теме НИР	13	23.09.2016	06.10.2016	Ли Кунь (сту)
Составление плана работ	1	23.09.2016	24.09.2016	Матренин С. В. (доц.)
Постановка целей и задач	1	27.10.2016	28.10.2016	Ли Кунь (сту), Матренин С. В. (доц.)
Разработка составов смесей из порошков	2	07.11.2016	09.11.2016	Матренин С. В. (доц.)
Отжиг смесей при 1450°С	1	20.11.2016	21.11.2016	Матренин С. В. (доц.)
Помол в планетарной мельнице	2	02.12.2016	04.12.2016	Ли Кунь (сту)
Пластифицирование смесей (5 масс. % КМЦ)	1	15.12.2016	16.12.2016	Ли Кунь (сту)
Прессование при 300 МПа	1	21.12.2016	22.12.2016	Ли Кунь (сту)
Спекание в печи при 1700°С, время выдержки 1 час	1	24.12.2016	25.12.2016	Матренин С. В. (доц.), Ли Кунь(сту)
Определение плотности образцов после спекания	1	10.01.2017	11.01.2017	Ли Кунь (сту)
Изготовление микрошлифов спеченных образцов, изучение пористости	1	15.02.2017	16.02.2017	Ли Кунь (сту)
Наноиндентирование и исследование свойств спеченных образцов	3	01.03.2017	04.03.2017	Ли Кунь (сту)
Определение прочности по результатам, полученным на наноиндентировании	1	05.03.2017	06.03.2017	Ли Кунь (сту)

Фазовый анализ спеченных образцов	1	25.04.2017	26.04.2017	Ли Кунь (сту)
Травление, изучение микроструктуры с помощью оптического микроскопа	3	04.05.2017	07.05.2017	Ли Кунь (сту)
Построение графиков, диаграмм, таблиц	1	08.05.2017	09.05.2017	Ли Кунь (сту)
Сравнительный анализ изображений	1	09.05.2017	10.05.2017	Ли Кунь (сту)
Научное обоснование результатов	3	11.05.2017	14.05.2017	Ли Кунь (сту), Матренин С. В. (доц.)
Нахождение взаимосвязей в результатах	1	11.05.2017	12.05.2017	Ли Кунь (сту), Матренин С. В. (доц.)
Формулировка выводов	2	15.05.2017	16.05.2017	Матренин С. В. (доц.)
Составление отчета	8	17.05.2017	25.06.2017	Ли Кунь (сту)
Защита отчета (ВКР)	1	24.06.2017	24.06.2017	Ли Кунь (сту)

3.3.1 Сетевой график выполнения НИР

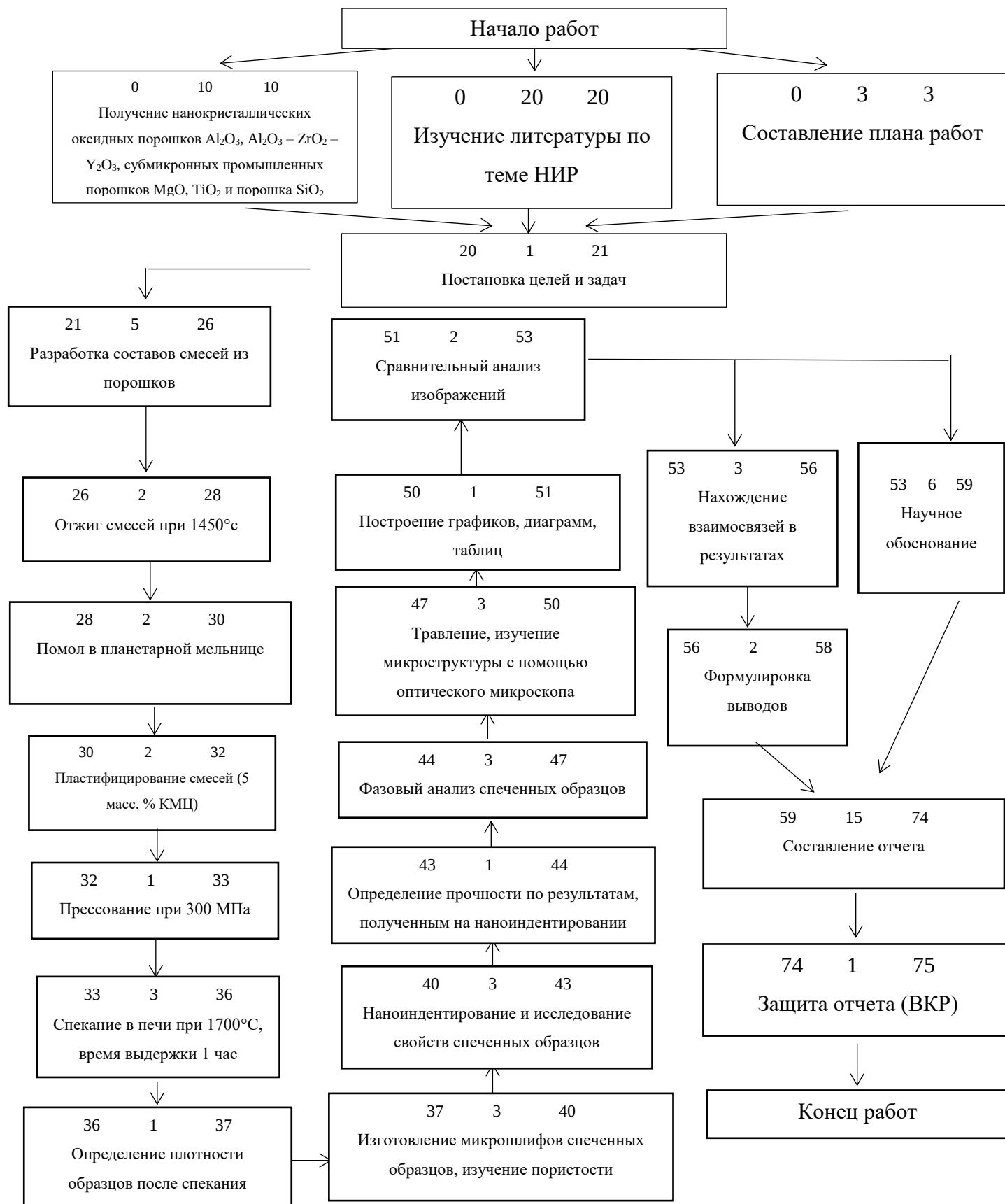


Рисунок 14 – Сетевой план-график выполнения НИР

3.3.2 Составление сметы затрат

Расчет сметы затрат на исследование структуры и свойств керамики, полученной консолидацией наноразмерных порошков оксидов циркония и алюминия

В состав затрат на проведение эксперимента включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данного исследования. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- отчисления в социальные фонды;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления на оборудование;
- прочие расходы.

3.3.3 Расчет затрат на материалы

Отражает стоимость материалов, используемых при разработке программного обеспечения.

Таблица 17 – Расходные материалы

Наименование материалов	Цена ед., (руб.)	Количество	Сумма, (руб.)
Порошки Al_2O_3	500	500 гр.	500
Флеш-карта 4 GB	300	1 шт.	300
Бумага формата A4	180	1 пач.	180
Картридж для принтера	500	1 шт.	500
Канцтовары	30	1 шт.	30
Тетрадь	20	1 шт.	20
Лабораторные весы типа Вул-250	14,5	1 шт.	14,5
Итого			1544.5

Согласно в таблице 16 расход на материалы составляет $C_{\text{мат}}=500+300+180+500+30+20+14,5=1544,5$ рублей.

3.3.4 Расчет заработной платы

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

Зарботную плату:

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

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

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

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

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

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

где $З_{\text{м}}$ – 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;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 17).

Таблица 18 – Баланс рабочего времени

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

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} * 1 * k_p$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3

Вычисленные затраты на заработную плату представлены в таблице 18.

Таблица 19 –Расчёт основной заработной платы руководителя.

Исполнители	Разряд	k_t	$З_{\text{тс}}$, руб.	k_p	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб.дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	1	1	26400	1,3	34320	1445	16	23120

3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * З_{\text{осн}}$$

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

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 23120 = 6982 \text{ руб.}$$

3.3.6 Расчет затрат на электроэнергию

Затраты на электроэнергию состоят из затрат на электроэнергию при работе оборудования во время разработки проекта, и из затрат на электроэнергию, потраченную на освещение.

Затраты на электроэнергию при работе оборудования для технологических целей рассчитывают по формуле:

$$\mathcal{E}_{об} = P_{об} \cdot C_э \cdot t_{об},$$

где $\mathcal{E}_{об}$ – затраты на электроэнергию потребляемую оборудованием, руб.;

$P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_э$ – тарифная цена за 1 кВт·час, $C_э = 4,63$ руб.;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования, час, $t_{об}$	Потребляемая мощность, $P_{об}$, кВт	Цена, $C_э$, руб.	Затраты, $\mathcal{E}_{об}$, руб.
Персональный компьютер	500	0,3	5,33руб./квт.-ч.	799,5
Планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL»	120	2	4,63	1111,2
Камерная вакуумная печь типа СНВЭ	72	5	4,63	1666,8
Микроскоп ЛабоМет - И	120	1	4,63	555,6
Гидравлический пресс «Р-20»	240	7	4,63	7778,4
Лабораторные весы типа Вул-250	120	0.5	4,63	277,8
Наноиндентор G200	72	1	4,63	333,4
Итого				12522,7

3.3.7 Расчет амортизационных расходов

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$З_{об} = (Ц \cdot F_{ф}) / (F_{н} \cdot F_{сс}),$$

Где Ц – цена оборудования, р.; $F_{н}$ – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч; $F_{сс}$ – срок службы оборудования, год; $F_{ф}$ – фактическое время занятости оборудования в НИР, ч. $F_{н} = 365 - 104 - 11 = 250$ дней = 2000 ч.

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 21. Данные взяты на основе отчета лаборатории.

Таблица 21 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	Цена, Ц, руб.	Срок службы, $F_{сс}$, год	Время эксплуатации, $F_{ф}$, ч.	Затраты, $З_{об}$, руб.
Камерная вакуумная печь типа СНВЭ	3697000	10	72	13309,2
Наноиндентор G200	2978000	10	72	10720,8
Планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL»	400000	10	120	2400
Итого				26430

3.3.8 Расчет затрат на научные и производственные командировки

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

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 - 4) \cdot k_{нр}$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. можно взять в размере 16%.

$$З_{накл} = (1530 + 26444,5 + 23120 + 6982) \cdot 0,16 = 9292,24 \text{ руб.}$$

3.3.9 Смета затрат на НИР

Проведя расчет сметы затрат на НИР, можно определить общую стоимость.

Таблица 22 – Смета затрат на НИР.

№	Статья затрат	Сумма, руб.
1	Материалы и покупные изделия	1544,5
2	Основная заработная плата	23120
3	Расходы на электроэнергию	12522,7
4	Амортизационные отчисления	26430
5	Отчисления во внебюджетные фонды	6982
6	Накладные расходы	9292,24
Итого		79891,54

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
154Б30	Ли Кунь

Институт	ИФВТ	Кафедра	Материаловедение в машиностроении
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Материаловедение и технологии материалов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Работа выполнялась на кафедре ММС Национального исследовательского Томского Политехнического Университета. Рабочей зоной являлись 6 лаборатории общей площадью 180 м², включающее 6 персональных компьютеров, оптический микроскоп, микротвердомер ПМТ-3, установка «Смеситель С 2.0», мельница «Активатор-2SL». На производительность находящегося на рабочем месте, могут влиять следующие вредные производственные факторы: отклонение температуры и влажности воздуха от нормы, недостаточная освещенность рабочего места, повышенный уровень электромагнитных излучений. Кроме того, работник может подвергаться действию опасных факторов: поражение электрическим током, возникновение пожаров в результате короткого замыкания. Негативное воздействие на окружающую среду в процессе работы практически отсутствует. Наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного характера в результате производственных аварий и пожаров.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	Анализ законодательных и нормативных актов по теме.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Техногенная безопасность 1.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 1.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности – механические опасности (источники, средства защиты);	1. Основные факторы, характеризующие микроклимат производственной среды: температура; подвижность и влажность воздуха. Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются следующие мероприятия: устройство систем вентиляции; кондиционирование воздуха и отопление. 2. Недостаточная освещенность способствует возрастанию нагрузки на органы зрения и приводит к утомляемости организма. Необходимо обеспечить оптимальное сочетание общего и местного освещения. 3. Электромагнитное излучение пагубно влияет на костные ткани, ухудшает зрение, повышает утомляемость, а также способствует
--	--

– термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	ослаблению памяти и возникновению онкологических заболеваний. С целью снижения вредного влияния электромагнитного излучения при работе с ПК необходимо соблюдать следующие общие гигиенические требования: - продолжительность непрерывной работы взрослого пользователя не должна превышать 2 ч; Основными причинами воздействия тока на человека являются: случайное прикосновение к токоведущим частям; появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала. С точки зрения электробезопасности (ГОСТ 12.1.030-81) оборудование, запитываемое напряжением выше 42 В, должно быть заземлено. При приближении грозы необходимо оперативно закончить работу на компьютере и отключить его от сети. Кроме того, обязательно должна быть предусмотрена возможность быстрого отключения напряжения с разделительного щита. Источниками термической опасности в лаборатории являются печи. Защита от термических ожогов осуществляется изоляцией нагретых поверхностей материалами, плохо проводящими тепло (защитные кожухи).
2. Региональная безопасность - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Защита селитебной зоны. Обосновать необходимость применения следующих средств защиты селитебной зоны: санитарно-защитная зона, установление требований защиты к проектируемому зданию, технологическому процессу, оборудованию. Защита атмосферы. Указать источники загрязнения атмосферы и основные загрязнители. Нормирование загрязнителей. Методы защиты от выбросов в атмосферу. Защита гидросферы. Указать источники загрязнения гидросферы и основные загрязнители. Нормирование загрязнителей. Методы средства очистки воды. Защита литосферы. Виды отходов, образующихся при разработке и эксплуатации технического решения. Планирование сбора отходов. Обращение с образующимися отходами (переработка, захоронение).
3. Организационные мероприятия обеспечения безопасности. - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. В соответствии с СН-245-71 в помещении должен быть организован воздухообмен В соответствии с СН-181-70 рекомендуются следующие цвета окраски помещений: потолок - белый или светлый цветной; стены - сплошные, светло-голубые; пол - темно-серый, темно-красный или коричневый.
4. Особенности законодательного регулирования проектных решений.	Данное исполнение законодательной базы контролирует федеральная инспекция

	труда при Министерстве труда и социальной защиты Российской Федерации. В лаборатории должен осуществляться контроль над охраной труда специальной комиссией. Комиссия должна наблюдать за рабочей обстановкой и докладывать о нарушениях заведующему лаборатории.
5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	Возможные ЧС на объекте: техногенного характера - производственные аварии и пожары; Наиболее типичной ЧС для лабораторий являются пожары на производстве. В целях предотвращения возгорания необходимо соблюдать правила техники безопасности при работе с электрооборудованием. Для повышения устойчивости объекта к пожарам необходимо использовать огнеупорные материалы, а также ознакомить персонал с режимом работы объекта в случае возникновения ЧС и обучить выполнению конкретных работ по ликвидации очагов поражения. Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02-85): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.
Перечень графического материала:	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б30	Ли Кунь		

4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данном разделе рассмотрена безопасность и экологичность технологического процесса исследования структуры и свойств керамики, полученной консолидацией наноразмерных порошков оксидов циркония и алюминия. Для осуществления этого технологического процесса применяется следующее оборудование: энерго напряжённая планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL», гидравлический пресс, камерная вакуумная печь типа СНВЭ, установка для спекания в тлеющем разряде, высокотемпературная печь сопротивления, вибропривод с набором сит, установка искрового плазменного спекания, прибор для измерения микротвёрдости и модуля упругости Nano Indenter G 200. Технологический процесс исследования включает в себя следующие виды работ: работу с ручным инструментом, настройку работы оборудования, работу с оборудованием.

При работе возникает ряд вредных и опасных производственных факторов. Опасные факторы, возникающие при данном технологическом процессе:

- Поражение электрическим током, при работе оборудования;
- Получение механических травм, при механической обработке, просеве, прессовании;
- Получение ожогов при работе с печным оборудованием.

Наряду с опасными факторами можно выделить вредные факторы, которые приводят к нарушению нормального режима работы. К вредным факторам относятся:

- Отклонение параметров микроклимата в лабораториях;
- Шум, при работе оборудования;
- Вибрация, при работе оборудования;
- Недостаточная освещённость в рабочей зоне;
- Недостаток свежего воздуха при работе с токсическими веществами.

При проектировании лаборатории необходимо уделить внимание и охране окружающей среды. Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как лаборатория находится в городе Томске, наиболее типичной ЧС является мороз. Так же, в связи с неспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

4.1. Техногенная безопасность

4.1.1 Анализ вредных факторов производственной среды

4.1.1.1 Метеоусловия

Большое значение для охраны здоровья и труда человека имеет качество воздуха в производственных помещениях, в частности в рабочих зонах. Рабочей зоной называется пространство, высотой до 2-х метров над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания работающих (более 2-х часов непрерывно).

Техпроцесс исследования структуры и свойств керамики, полученной консолидацией наноразмерных порошков оксидов циркония и алюминия относится к категории работ легкой тяжести 1Б с энергозатратами 121-150 ккал/час, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и некоторым физическим напряжением.

Для удаления вредных веществ из воздуха рабочей зоны используется общеобменная вентиляция.

Очистка от вредных примесей в воздухе, осуществляется с помощью фильтров, установленных в вентиляции.

Значения перечисленных параметров непосредственно к проектируемому участку приведены в таблице 23.

Таблица 23 - Метеорологические условия для рабочей зоны в лабораториях.

Период года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Опт.	Доп.	Опт.	Доп.	Опт.	Доп.
Теплый	Легкая, 1Б	22-24	20-28	60-40	15-75	0,1	0,1-0,3
Холодный, переходный,	Легкая, 1Б	21-23	19-24	60-40	15-75	0,1	0,1-0,2

Температура в рабочей зоне поддерживается отоплением в холодный период года и вентиляцией в теплый период.

Периодический контроль содержания в воздухе рабочей зоны вредных веществ осуществляется силами лаборатории или санитарно-гигиенической станции.

Другой немаловажной задачей на производстве является создание наилучших условий для видения. Эту задачу можно решить только осветительной системой. В нормах рекомендуется освещённость участков, содержащих нужное оборудование, должна быть не менее 200 лк.

4.1.1.2 Вредные вещества

В лаборатории используются вещества, которые оказывают вредное влияние на организм человека. Санитарными нормами установлены предельно - допустимые концентрации вредных примесей в воздухе. Одно из веществ - бензин (нефтяной, малосернистый, в пересчете на углерод), его ПДК = 5 мг/м³, класс опасности - 4; Растворитель древесно-спиртовой марки А (ацетоноэфирный) (по ацетону), его ПДК = 0,12 мг/м³, класс опасности - 4. Также образуется пыль, её ПДК = 6.0 мг/м³, класс опасности - 4.

Контролем содержания вредных примесей в воздухе и на рабочих местах занимается санитарная лаборатория.

4.1.1.3 Производственный шум

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а также для сохранности оборудования. Она служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в воздухе помещения пыли, газов до концентрации не превышающей ПДК. Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более однократного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию. Кратность воздухообмена не ниже 3.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

4.1.1.4 Освещенность

Расчет искусственного освещения

Правильно спроектированное и выполненное освещение на предприятиях машиностроительной промышленности, обеспечивает возможность нормальной производственной деятельности.

Задачи расчета искусственного освещения является определение числа светильников, их типа, мощности источников света.

Выбор источников света

К числу источников света массового применения относятся лампы накаливания, лампы ДРЛ (дуговые ртутные люминесцентные), газоразрядные лампы.

Лампы накаливания применяются там, где производятся грубые работы или осуществляется общий надзор за эксплуатацией оборудования. Они удобны в эксплуатации, не требуют дополнительных устройств для включения в цепь, просты в изготовлении, но им присущи существенные недостатки: низкая световая отдача (7-20 лм/Вт), малый срок службы. Поэтому для освещения лабораторий применяют люминесцентные лампы, обладающие более высокой световой отдачей и длительным сроком службы. Характеристики люминесцентных ламп представлены в таблице 24.

Таблица 24 - Характеристики люминесцентных ламп

Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Напряжение на лампе, В	Ток лампы, А	Световой поток, лм				
				ЛДЦ	ЛД	ЛХБ	ЛБ	ЛТБ
15	127	54	0,33	600	700	800	835	820
20	127	57	0,37	850	1000	1020	1200	1100
30	220	104	0,36	1500	1800	1940	2180	2020
40	220	109	0,43	2200	2600	3100	3200	3150
80	220	102	0,67	3800	4300	5200	5400	5200
125	220	120	1,25	-	-	-	6500	-

Выбор системы освещения

Применение на рабочих местах одного местного освещения не допускается. Общее же равномерное освещение применяется для тех помещений, где работа производится по всей площади, и нет необходимости в лучшем освещении отдельных участков.

Система общего локализованного освещения применяется тогда, когда в производственном помещении есть участки, на которых проводятся работы с высоким зрительным напряжением.

Система комбинированного освещения применяется в помещении, где выполняются точные зрительные работы; в случае необходимости

определённого, изменяемого в процессе работы направления света, а так же в помещениях с не высокой плотностью распределения рабочих мест.

4.1.2 Анализ опасных факторов производственной среды.

4.1.2.1 Факторы электрической природы

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электр

Это отключение соответствующей части электрической установки специально обученными людьми. Пострадавшему следует оказать посильную доврачебную помощь.

Средства коллективной защиты:

Основные изолирующие электрозащитные средства для электроустановок напряжением до 1000В:

- изолирующие штанги;
- изолирующие клещи;
- указатели напряжения;
- электроизмерительные клещи;
- диэлектрические перчатки;
- инструмент с изолирующими ручками.

Дополнительные изолирующие электрозащитные средства для электроустановок напряжением до 1000В:

- диэлектрические галоши;
- диэлектрические ковры и изолирующие подставки;
- изолирующие колпаки, покрытия, накладки;
- лестницы приставные, стремянки изолирующие стеклопластиковые.

Средства индивидуальной защиты:

- защитные пластиковые каски;
- защитные очки;

- щиты ограждения;
- различные респираторы и противогазы;
- рукавицы;
- предохранительные пояса и страховочные канаты;
- комплекты для защиты работающего от электрической дуги.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рисунок 15).

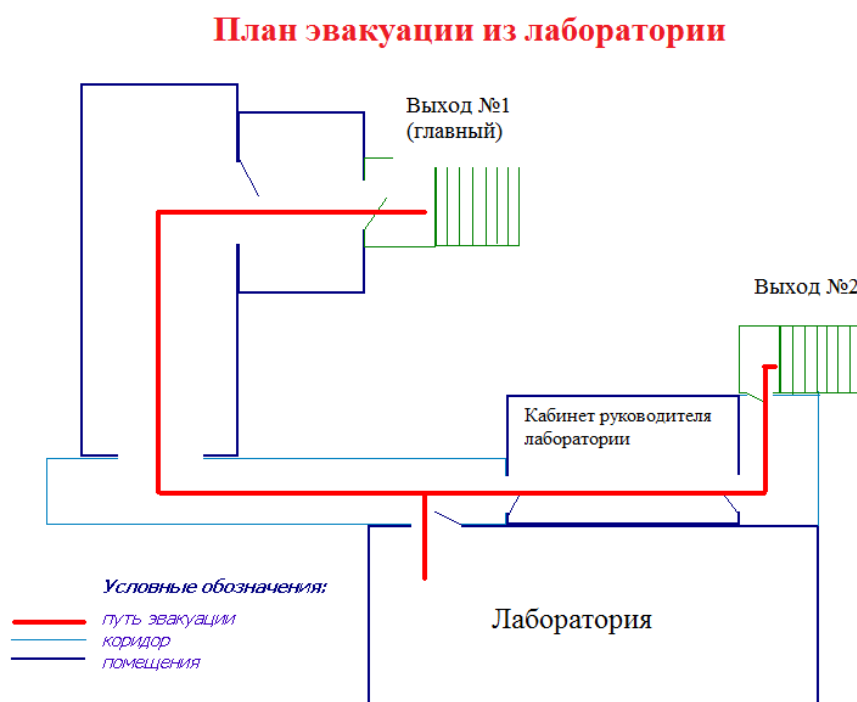


Рисунок 15 – Пути эвакуации

План эвакуации в лаборатории показан на рисунке 16.

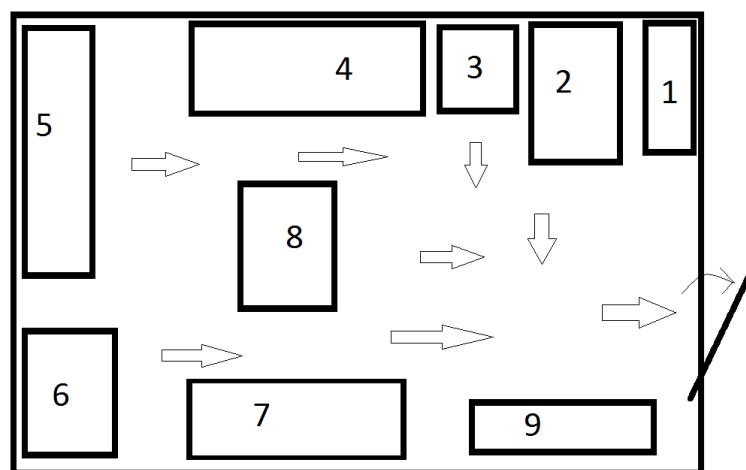


Рисунок 16 – План эвакуации в лаборатории

1 - раковина, 2 - планетарная мельница, 3 - персональный компьютер, 4 - рабочий стол, 5 - место для хранения, 6 – недействующее оборудование, 7 – вибростол, 8 – рабочий стол, 9 – стеллаж

4.2 Региональная безопасность

4.2.1 Защита атмосферы

В настоящий момент в нормативно-правовой базе РФ отсутствуют утвержденные Госсанэпиднадзором санитарные нормы и показатели, требования и правила безопасности при производстве различных видов порошковых материалов, соблюдение которых обеспечило бы промышленную безопасность и охрану труда. На работе в лаборатории работникам следует придерживаться ряда определенных правил безопасности, что позволит избежать контакта с частицами.

В основе данных правил лежат два положения:

- агломераты частиц достигают размеров в десятки или сотни микрон, поэтому их поведение подобно пылевидным частицам;

Технический контроль на производстве осуществляется с помощью устройств, предотвращающих попадание дисперсных частиц в воздух рабочей зоны, а также забирающих эти частицы из воздуха рабочей зоны.

Методы контроля должны иметь чувствительность не ниже нижней границы диапазона (~5 мкм).

Удерживание или предотвращение попадания наночастиц в воздух должно является основным методом на производстве. Для предотвращения попадания наночастиц, размеры которых находятся у нижней границы диапазона нужно использовать устройства, работающие с газами (вакуумно-плотные сосуды).

Применение систем местной вытяжной вентиляции с использование встроенных вентиляторов вытяжных шкафов. Эффективность улавливания должна быть достаточно высокой.

4.2.2 Защита гидросферы

Работы в лаборатории проходят с использованием сухих порошков без жидких примесей. Утилизация отходов путем слива в канализацию не проводят. В случае попадания наночастиц в воду, его концентрация будет незначительна и не повлияет на здоровье человека.

4.2.3 Защита литосферы

Попадая в литосферу, порошковые материалы могут менять микробиологическую и ферментативную активность почв, активно вступая во взаимодействие с живыми организмами, обитающими в этой среде.

Основными положениями по защите литосферы являются:

- утилизация одноразовых средств индивидуальной защиты должна проходить в специальные герметичные контейнеры;
- попадание наночастиц в почву может происходить при помощи воздуха и воды, поэтому следует учитывать меры безопасности из пунктов по защите литосферы и гидросферы.

4.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Одним из факторов комфортности рабочей среды является организация рабочего места.

Рабочее место - это часть помещения предприятия (организации), имеющая площадь и объем, достаточный для размещения инженера и необходимого оборудования (рабочего стола, стула, контрольно-измерительных приборов, станков, а также справочных и рабочих материалов, инструментов, вычислительной техники и т.д.).

Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78:

1) Рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество;

2) Рабочий стул должен иметь дизайн, исключающий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте;

3) Рабочее место должно соответствовать техническим требованиям и санитарным нормам.

В соответствии с СН-245-71 в помещении должен быть организован воздухообмен. Это осуществляется с помощью вентиляции.

Для улучшения воздухообмена в помещении необходимо выполнить следующие технические и санитарно-гигиенические требования:

1) Общий объем притока воздуха в помещении должен соответствовать объему вытяжки;

2) Правильное размещение приточной и вытяжной вентиляции.

Расчет необходимого воздухообмена ведется по следующим факторам: по количеству работающих, влаговыведению, теплоизбыткам, поступлению в воздух рабочей зоны вредных газов, паров и пыли.

Исходя из того, что три последних фактора не оказывают существенного влияния на микроклимат лаборатории, то расчет воздухообмена проводится исходя из количества работающих:

$$L = n \times L_0 ,$$

где n – число работников;

L_0 - расход воздуха на одного работающего, принимаемый в зависимости от объема помещения на одного работающего.

При выполнении интерьера, обычно выбирают не более трех основных цветов небольшой насыщенности. Окраска оборудования и приборов, в основном, имеет светлые цвета с высококонтрастными органами управления и надписями к ним.

4.4 Особенности законодательного регулирования проектных решений

Согласно в условиях непрерывного производства нет возможности использовать режим рабочего времени по пяти– или шестидневной рабочей неделе. По этой причине применяются графики сменности, обеспечивающие непрерывное обслуживание производственного процесса, работу персонала сменами постоянной продолжительности, регулярные выходные дни для каждой бригады, постоянный состав бригад и переход из одной смены в другую после дня отдыха по графику. На объекте применяется четырех-бригадный график сменности. При этом ежесуточно работают три бригады, каждая в своей смене, а одна бригада отдыхает. При составлении графиков сменности учитывается положение ст. 110 ТК [18] о предоставлении работникам еженедельного непрерывного отдыха продолжительностью не менее 42 часов.

К таким органам относятся:

- Федеральная инспекция труда;
- Государственная экспертиза условий труда Федеральная служба по труду и занятости населения (Минтруда России Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России)).

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России) и др.

Так же в стране функционирует Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, положение о которой утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации, в соответствии с которым, система объединяет органы управления, силы и средства.

4.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

На кафедре ММС НИТПУ наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера. ЧС техногенного характера — это ситуации, которые возникают в результате производственных аварий и катастроф на объектах, транспортных магистралях и продуктопроводах; пожаров, взрывов на объектах; загрязнения местности и атмосферы сильнодействующими ядовитыми веществами (СДЯВ), отравляющими веществами (ОВ), биологически (бактериологически) опасными и радиоактивными веществами. Аварии и катастрофы на объектах характеризуются внезапным обрушением зданий, сооружений, авариями на энергетических сетях (ТЭЦ, АЭС, ЛЭП и др.), авариями в коммунальном жизнеобеспечении, авариями на очистных сооружениях, технологических линиях и т. д.

На случай возникновения чрезвычайной ситуации (землетрясение, наводнение, пожары, химическое либо радиоактивное заражение и т.п.) должен быть предусмотрен следующий комплекс мероприятий:

- 1) рассредоточение и эвакуация;
- 2) укрытие людей в защитных сооружениях;
- 3) обеспечение индивидуальными средствами защиты;
- 4) организация медицинской помощи пострадавшим.

В чрезвычайной обстановке особенно важное значение имеют сроки эвакуации людей за пределы зон возможного поражения или разрушений. В наиболее короткие сроки эвакуацию можно провести комбинированным способом, который заключается в том, что при его применении массовый вывод населения пешим порядком сочетается с вывозом некоторых категорий населения (пенсионеры, инвалиды, больные и т.д.) всеми видами имеющегося транспорта.

Рассредоточение и эвакуация населения комбинированным способом осуществляется по территориально-производственному принципу. Это значит, что вывод населения организуется через предприятия, учреждения,

учебные заведения и домоуправление по месту жительства.

Ведение спасательных работ в районах производственных аварий существенно различаются в зависимости от размеров и опасности аварий и катастроф. Однако, ряд требований к организации спасательных работ является общим.

Работы надо начинать немедленно, чтобы не дать возможности аварии разрастись до катастрофических размеров. Очень важно обеспечить общественный порядок, что даст возможность свободному прибытию формирований гражданской обороны (ГО) к месту аварий. Формирования охраны общественного порядка должны приступить к работе в первую очередь.

Очень важны действия аварийно технических формирований, которые немедленно должны отключить еще не поврежденные энергетические и коммунально-технические сети для локализации аварии.

Спасательные формирования ГО должны как можно быстрее приступить к работам по спасению людей, действуя совместно с формированиями ГО медицинской службы.

При недостатке сил своего объекта для спасательных работ распоряжением старшего начальника могут привлекаться территориальные формирования ГО и другие силы. Чем организованней, быстрее сработают все подразделения различных служб, тем меньше материального ущерба и человеческих жизней унесет авария.

Неотъемлемой частью комплекса защитных мероприятий на рабочем месте является мероприятия, направленные на обеспечение противопожарной безопасности. Используемый технологический процесс в условиях кафедры ММС НИТПУ согласно СНиП 11-2-80 относится к категории Д, так как использует негорючие вещества в холодном состоянии. В данном случае источником возгорания может оказаться неисправность и неправильная эксплуатация электроустановок.

Существует 5 степеней огнестойкости зданий, сооружений.

Помещение лаборатории можно отнести к первой степени огнестойкости.

Предусмотренные средства пожаротушения (согласно требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02-85): огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре). Кроме того, каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.

Основными мероприятиями, обеспечивающими успешную эвакуацию людей и имущества из горящего здания, являются:

- 1) составление планов эвакуации;
- 2) назначение лица, ответственного за эвакуацию, которое должно следить за исправностью дверных проемов, окон, проходов и лестниц;
- 3) ознакомление работающих в лаборатории сотрудников с планом эвакуации, который должен висеть на видном месте.

Заключение

В данной работе были исследованы структура и свойства спеченной керамики на основе оксида алюминия. Были определены плотность прессовок, плотность спечённых образцов, измерены модуль упругости и микротвердость методом наноиндентирования. Для определения прочности спеченной керамики был применен метод “Scratch Testing” с использованием уникального прибора Nanoindenter G 200. Получены оптические фотографии микрошлифов, подвергнутых термическому травлению в окислительной атмосфере при температуре 1200°C. В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлено положительное влияние добавления MgO и TiO_2 в количестве не более 1 мас. % на спекаемость и физико-механические характеристики корундовой керамики. Введение в порошки корунда добавок субмикронного порошка TiO_2 приводит при последующем спекании к образованию твёрдого раствора вычитания TiO_2 в $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, решётка которого имеет повышенную диффузионную способность и активирует процесс спекания.

2. Обращает внимание структура образца состава 95,6% Al_2O_3 – 0,4% MgO – 4% TiO_2 , представленная крупными зернами (~100 мкм). Рост зерен при спекании керамики данного состава обусловлен добавкой 4% TiO_2 , которая резко интенсифицирует рекристаллизационные процессы.

3. Добавление 5 % по массе SiO_2 к Al_2O_3 реализует механизм жидкофазного спекания керамики, что приводит к повышению ее плотности и прочности до 480 МПа (табличное значение прочности при изгибе высокоплотной корундовой керамики не превышает 400 МПа). Данный состав соответствует муллито-корундовой керамике.

Наименьшую пористость имели спеченные образцы составов 98,6% Al_2O_3 – 0,4% MgO – 1% TiO_2 и 94,6 % Al_2O_3 – 0,4% MgO – 5% SiO_2 . Эти данные коррелируют с результатами определения плотности, твердости и прочности спеченных образцов.

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

Список литературы

1. Матренин С.В., Слосман А.И. Техническая керамика: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.–75 с.
2. Briegleb F., Geuther A. – Libigs Ann., 1962, 123,238.
3. Mellor I.W. A Comprehensive treatise on inorganic and theretical chemistry, 1928. – P.111
4. Андреева Т.В. и др. / Теплофизика высоких температур. – 1964. – С. 308.
5. Химия и физика нитридов / Под ред. Падерно Ю.Б. – К.: Наукова думка. – 1968. – С. 168
6. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1988.
7. Механический синтез в неорганической химии / Под ред. Е. Г. Аввакумова. Новосибирск: Наука, 1991.
8. Mechanical Alloying / Ed. P. H. Shingu. Switzerland: Trans. Tech. Publications, 1992.
9. Yavari A.R., Desre P.J., Benameur T. // Phys. Rev. Lett. 1992. V.68, No.14. P.2235
10. Fecht H.-J. // Nanostruct. Mater. 1995. V.6, No.1-4. P.33
11. Зырянов В.В. Механический синтез сложных оксидов // Успехи химии. 2008. Т.77, №2. С.107-137
12. Teresiak A., Kubsch H. // Nanostruct. Mater. 1995. V.6, No.5-8. P.671
13. Oleszak D., Matyja H. // Nanostruct. Mater. 1995. V.6, No.1-4. P.423.
14. Xueming M.A., Gang J.I. // J. Alloys and Compounds. 1996. V.245. P.L30.
15. Попильский Р.Я., Пивинский Ю.Е. Прессование порошковых керамических масс. М.: Metallurgia, 1983, 176с.
16. Гегузин Я.Е. Физика спекания. М., 1984. 312 с.
17. Джонс В.Д. Основы порошковой металлургии. Прессование и спекание: пер. с англ. / под ред. М.Ю. Бальшина и А.К. Натансона. М., 1965.

403 с.

18. Скороход В.В. Реологические основы теории спекания / под ред. И.М. Федорченко. Киев: Наукова думка, 1972. 152 с.

19. Скороход В.В., Солонин С.М. Физико-металлургические основы спекания порошков / М., 1984. 158 с.

20. Лякишев Н.П., Алымов М.И. Получение и физико-механические свойства объемных нанокристаллических материалов. Российская академия наук (РАН); Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова. М.: Элиз, 2007. 150 с.

21. Савицкий А.П. Жидкофазное спекание систем с взаимодействующими компонентами / под ред. Э.В. Козлова. Новосибирск : Наука, 1991. 184 с.

22. Степанов Ю.Н., Алымов М.И. Расчет скорости усадки на первой стадии спекания компактов из ультрадисперсных порошков // ФХОМ. 2001. №6. С.76-78

23. Степанов Ю.Н., Алымов М.И., Мальтина Е.И. Ультрадисперсные металлические порошки: модель начальной стадии спекания // Металлы. 1995. №1. С.127-132

24. Степанов Ю.Н., Алымов М.И., Евстратов Е.И. Влияние температуры на скорость усадки компактов из наночастиц // Физика и химия стекла. 2005. Т.31. №3. С.452-455

25. Степанов Ю.Н. Закономерности объединения наночастиц при их флуктуационном плавлении на начальной стадии спекания // Российские нанотехнологии. 2007. Т.2, №1. С.133-135

26. Кульков С.Н., Буякова С.П. Фазовый состав и особенности формирования структуры на основе стабилизированного диоксида циркония // Российские нанотехнологии. 2007. Т.2, №1-2. С.119-132

27. Ускокович Д.П., Самсонов Г.В., Ристич М.М. Активированное спекание. – Белград: Факультет электроники. НИИ и Международный институт науки о спекании, 1974. 395 с.

28. Rybakov K.I., Semenov V.E. // Mass Transport in Ionic Crystals Induced by the Ponderomotive Action of a High-Frequency Electric Field. Phys. Rev. B. 1995. V.52 P.3030-3033
29. Егоров С.В., Еремеев А.Г., Плотников И.В. и др. Пластическая деформация ультрадисперсной оксидной керамики при микроволновом нагреве // Российские нанотехнологии. 2007. Т.3, №5. С.13-16
30. Слосман А.И., Матренин С.В. Электроразрядное спекание керамики на основе диоксида циркония // Огнеупоры. 1994, №9. С.24-27
31. Панин В. Е., Слосман А.И., Матренин С.В. Влияние водорода на активацию спекания циркониевой керамики в тлеющем разряде // Водородная обработка материалов: Тез. докл. I Международной конф., Донецк, 1995. С.61-63
32. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.