

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

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Создание функциональной керамики на основе оксинитридов алюминия и кремния УДК 666.3-18

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б31	Лисица А.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Матренин С.В.	К.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	К.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Раденков Т.А.	Инженер		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Использовать <i>глубокие</i> естественнонаучные и математические знания и современные представления наук о материалах для понимания проблем направления "Материаловедение и технологии материалов".
P2	Умение применять современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов.
P3	Умение применять основы высокотехнологичного инновационного менеджмента, в том числе малого бизнеса, владеть навыками в организации и техническом оснащении рабочих мест; разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений.
P4	<i>Планировать</i> и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования конструкционных материалов, материалов медицинского назначения, объемных и наноматериалов на основе порошков и изделий из них, включая стандартные и сертификационные испытания материалов; внедрять, <i>эксплуатировать</i> и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование, самостоятельно проектировать и использовать технологические процессы для их получения.
P5	Формулировать новую исследовательскую задачу на основе возникающих проблем, вносить оригинальный вклад в области науки, техники и технологии, связанные с получением и исследованием конструкционных материалов, материалов медицинского назначения, объемных и наноматериалов на основе порошков; Умение использовать на практике современные представления наук о материалах при анализе влияния микро- и нано- масштаба на механические, физические, поверхностные и другие свойства материалов.
<i>Универсальные компетенции</i>	
P 6	Комплексно оценивать и прогнозировать тенденции и последствия развития науки в области изготовления, диагностики и применения новых материалов, применяя знание внутри- и междисциплинарных связей в сфере профессиональной деятельности
P 7	Владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности.
P 8	<i>К педагогической деятельности</i> ; эффективно работать в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы с учетом вопросов безопасности и здравоохранения, юридических аспектов.
P 9	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности

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

Институт физики высоких 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
4БЗ1	Лисица Артём Александрович

Тема работы:

Создание функциональной керамики на основе оксинитридов алюминия и кремния	
Утверждена приказом директора ИФВТ	Приказ № <u>2029/с</u> от <u>24.03.2017</u>

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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.).</p>	<p>Объектом исследования является керамика на основе Al_2O_3, ZrO_2, SiO_2, BN, AlN. 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.</p>
<p>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).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор по теме исследования. 2. Исследование процессов формования и спекания керамики на основе Al_2O_3, ZrO_2, SiO_2, BN, AlN. 3. Изучение физико-механических свойств спеченной керамики. 4. Активирование процессов спекания керамики на основе оксида алюминия. 5. Заключение по работе.
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Презентация в формате Power Point в количестве 27 слайдов</p>
<p align="center">Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	

<i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
<i>Финансовый менеджмент</i>	<i>Меньшикова Е.В., доцент НИ ТПУ</i>
<i>Социальная ответственность</i>	<i>Раденков Т.А., ассистент НИ ТПУ</i>
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
Старший преподаватель	Матренин С.В.	К.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б30	Лисица А.А.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа изложена на 108 с., содержит 21 рис., 37 табл., 36 источников литературы.

Ключевые слова: оксид алюминия, диоксид кремния, диоксид циркония, нитрид бора, нитрид алюминия, прессование порошков, активированное спекание, наноиндентирование.

Объектом исследования является керамика на основе оксида алюминия, диоксида кремния, диоксида циркония, нитрида бора, нитрида кремния .

Целью работы является исследование структуры и физико-механических свойств керамики на основе оксида алюминия, диоксида кремния, диоксида циркония, нитрида бора, нитрида кремния, полученной прессованием и спеканием наноструктурных порошков.

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 и нанотвердость с использованием методики наноиндентирования, 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.

Обозначения и сокращения

НП – нанопорошок

УДП – ультрадисперсный порошок

ПХС – плазмохимический синтез

КМЦ – карбооксиметилцеллюлоза

ИПС – искровое плазменное спекание

Оглавление

Введение	9
1. Литературный обзор	11
1.1 Структура и свойства керамики на основе оксидов алюминия, циркония и кремния.	11
1.2 Структура и свойства керамики на основе нитридов бора и алюминия.	28
1.3 Получение и применение современной многофункциональной оксинитридной керамики	36
1.4 Основы активированного спекания керамических материалов	43
2. Экспериментальная часть	47
2.1 Объекты и методы исследования	47
2.2 Результаты исследования	54
3. Финансовый менеджмент, ресурсосбережение и ресурсоэффективность	65
4. Социальная ответственность	88
Заключение	104
Список использованных источников	106

Введение

В современной науке все большую и большую роль занимают материалы из керамики. Потому что керамика обладает рядом свойств и особенностей, благодаря которым ее можно использовать вместо традиционных материалов. Она обладает рядом высоких показателей физических, химических, электрофизических свойств. Керамика на основе оксинитридов обладает высокими прочностными характеристиками, возможна её эксплуатация при высоких температурах, устойчива к агрессивным средам. Изделия из керамики могут подвергаться различным видам обработки, в том числе механической. Керамику можно использовать в напылении покрытий, вводить как добавки к другим материалам, что расширяет спектр ее применения. Применение керамики зависит от свойств, среди которых: высокая твердость и прочность, износостойкость, диэлектрические свойства и проводимость, химическая стойкость.

Но у керамики, как и у любого другого материала есть недостатки. Керамика очень хрупкий материал, что является препятствием к формированию однородной бездефектной структуры и применению в некоторых областях науки и техники. Поэтому ведется поиск всевозможных решений, изменение методологии выбора исходных порошков, и нахождение высокопроизводительных способов активации керамики, для достижения высоких физико-механических свойств и устранения недостатков.

Наиболее эффективным способом активации является механическая активация исходных порошков керамики в энергонапряженных планетарных мельницах. Также существует другой путь активации порошков: введение в керамические порошки различных добавок (нанодисперсные порошки).

Естественно, что технический прогресс заставляет науку внедрять такой перспективный материал, как керамика, и в ближайшем будущем, недостатки будут устранены и найдены методы и технологические решения для улучшения процесса активации керамических порошков.

Целью работы является исследование структуры и физико-механических свойств керамики на основе оксида алюминия, диоксида кремния, диоксида циркония, нитрида бора, нитрида алюминия, полученной прессованием и спеканием наноструктурных порошков.

1 Литературный обзор

1.1 Структура и свойства керамики на основе оксидов алюминия, циркония и кремния.

1.1.1 Керамика на основе Al_2O_3

Керамика состоящая в основном из оксида алюминия называется корундовой, такое название она берет от природного минерала корунда. Корундовая керамика искусственно изготовленная будет содержать не только Al_2O_3 , но различные введенные ультра - и нанодисперсные порошки. Корундовая керамика это вид керамики, которая содержит 95% и более оксида алюминия, Кристаллической фазой в такой керамике является корунд [1].



Рисунок 1 - Изделия из керамики на основе Al_2O_3

Керамику на основе оксида алюминия, предназначенную для различных производственных целей, в России называют по-разному. Маркировка этого вида керамики зависит от свойств и технологии изготовления, а также от типа и количества вводимой в нее добавки.

Сырьем для получения корундовой керамики применяют в большинстве случаев безводные формы Al_2O_3 , выпускаемые в виде глинозема и белого электроплавленого корунда. Безводный оксид алюминия Al_2O_3 находится в нескольких кристаллических модификациях. На данный

момент определены α -, β - и γ - модификации глинозема, причем α - и γ - Al_2O_3 могут представлять собой чистый оксид алюминия. В таблице 1 приведены основные свойства кристаллических форм безводного оксида алюминия.

Таблица 1 – Свойства кристаллических форм Al_2O_3 [1]

Форма Al_2O_3	Система кристаллов	Плотность, г/см^3
α	Тригональная	3,99
β	Гексагональная	2,31
γ	Кубическая	3,65*

*Для хорошо выкристаллизовавшегося гамма кубического оксида алюминия плотность обычно составляет $3,47 - 3,5 \text{ г/см}^3$.

В природе встречается только α форма Al_2O_3 в виде минерала корунда, также стоит отметить, что α - Al_2O_3 кристаллизуется в тригональной сингонии. Спайность кристаллов почти отсутствует. Твердость α - Al_2O_3 по шкале Мооса равна 9, по шкале Роквелла она составляет 90. Плотность корунда, как и у многих видов керамики зависит от наличия в нем примесей и находится в интервале от $3,98$ до $4,01 \text{ г/см}^3$. Температура кипения $2707 \pm 6 \text{ }^\circ\text{C}$, температура плавления α - оксида алюминия равна 2050°C . Теплота испарения корунда 484 кДж/моль , теплота образования оксида алюминия $1,7 \text{ МДж/моль}$. Теплоемкость корунда при 20°C - $0,93$, при 800°C - $1,1$, при 1400°C - $1,2 \text{ кДж/моль}$. Энергия решетки $15,4 \text{ МДж/моль}$ [1].

Второй модификацией оксида алюминия является его γ - форма. В природе она не найдена. Но есть способ ее получения, она образуется при термообработке гидратов оксида алюминия, гидраргиллита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), бемита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). При нагреве γ - Al_2O_3 необратимо переходит в α - форму. Это превращение происходит очень медленно, начиная с $1100 - 1200^\circ\text{C}$ и полностью завершается при температуре 1450°C . При переходе γ - Al_2O_3 в α - форму выделяется $32,8 \text{ кДж/моль}$. Переход из γ - в α - форму

сопровождается объемным сжатием на 14,3%, и кристаллизацией α - Al_2O_3 в форму кубической сингонии (типа шпинели).

Третья кристаллическая форма оксида алюминия β – глинозем, эта модификация глинозема представляет собой условное обозначение видов алюминатов, отличающихся большим количеством Al_2O_3 в β – глиноземе. При нагревании до 1600 – 1700°C происходит переход из β – в α модификацию Al_2O_3 с выделением оксида в газообразном состоянии. Присутствие β – глинозема в отожженном корунде понижает электрофизические свойства и механическую прочность, что является нежелательным [1].

Один из самых применяемых видов сырья для производства корундовой керамики - это технический глинозем (смесь всех трех кристаллических модификаций Al_2O_3). Порода служит исходным материалом для получения глинозема. Наличие гидратов оксида алюминия, среди которых наибольшее значение имеет минерал – боксит, который имеет в своем составе три различных гидрата, преимущественно: бемит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и гидраргиллита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

Способ производства по методу Байера, основан на разложении исходного сырья в растворе едкой щелочи с образованием нитрата алюмината, который образует раствор, с сопутствующими бокситу примесями (Fe_2O_3 , SiO_2 и др.) остаются нерастворенными. Раствор алюмината очищается от примесей и происходит его обработка для выделения чистого гидроксида алюминия. Гидроксид алюминия прокаливают в специальных вращающихся печах при температуре 1150 – 1200°C. В результате этого процесса образуется белый, сыпучий, однородный порошок, который называется техническим глиноземом.

У технического глинозема своеобразная форма зерна. Это образования мельчайших кристаллов α – и γ – оксида алюминия диаметром меньше 0,1 мкм, имеющие сферическую форму, и так называемую сферолитную структуру. Их пористая структура, (истинная пористость

составляет около 50%) оказывает большое влияние на процесс производства изделий, в частности на механический помол и консолидирование. При размере сферолитов в диапазоне 40 – 70 мкм технический глинозем состоит из крупных зерен (менее 100 – 120 мкм), а также более мелких (несколько мкм).

При производстве изделий из технического глинозема производят дополнительный высокотемпературный обжиг для осуществления его превращения в α – форму. В связи с этим изменяется гранулометрический состав. Происходит усадка оксида алюминия и рост частичного спекания мелких фракций. Насыпная масса и степень обжига технического глинозема взаимосвязаны между собой. Насыпная масса неотожженного глинозема равна 0,85, а обожженного при температуре 1500°C равна 1,1 – 1,2, а при 1750°C составляет 1,5 – 1,6 г/см³. Что свидетельствует о повышении насыпной массы при повышении температуры обжига.

На данный момент промышленностью производится два вида электрокорунда: белый электрокорунд и электрокорунд нормальный. Нормальный (черный), получают путем электроплавки боксита, а белый электрокорунд получают путем плавки в электрических дуговых печах технического глинозема. В производстве корундовой технической керамики применяется только белый электрокорунд, так как по минералогическому составу он состоит из α оксида алюминия. Глинозем β – модификации в небольших концентрациях часто встречается как примесь в электрокорунде белом. Его концентрация зависит от чистоты исходного сырья, подвергающиеся плавке.

В настоящее время свойства технической корундовой керамики изучены достаточно широко. В науке и производстве рассматривается широкий спектр применения корундовой керамики и интерес к ней постоянно растет. Постоянно, совершенствуя технологию производства и улучшая свойства изделия, благодаря этому растут объемы ее производства.

На данный момент возможно получения керамики с высокими показателями (почти с теоретической плотностью и с пористостью до 90%).

Помимо методов получения, хорошо изучены ее методы формования структуры и свойств. Для консолидирования корундовой керамики без введения активирующих добавок, с практически отсутствующей пористостью ($3,78 - 3,85 \text{ г/см}^3$, относительная плотность составляет 94 – 96%) и типичной кристаллизацией зерен корунда, характерны средние значения механической прочности (таблица 2).

Таблица 2 – Механическая прочность спеченной корундовой керамики различной степени кристаллизации (средние значения) [1]

Корунд	Предел прочности, МПа		
	При сжатии	При изгибе	При растяжении
Крупной кристаллизации, 200-250 мкм	500-1000	150-200	80-120
Средней кристаллизации, 40-50 мкм	1000-1500	200-300	150-200
Мелкой кристаллизации, <10 мкм	3000-5000	350-600	250-300

Более высокие механические свойства имеет керамика с мелкозернистой структурой. И наоборот структура с крупными зернами характерна понижением прочностных свойств корунда, по причине введения некоторых добавок.

Одной из особенностей оксидной керамики является сохранение прочности при высоких температурах, примерно 0,8 – 0,9 температуры плавления. Эту особенность можно объяснить тем, что в кристаллической решетке имеется крепкая связь между ионами. При этом эта связь ослабляется очень медленно и при воздействии высоких температур. (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние температуры на прочностные свойства корунда [1]

Температура, °С	Предел прочности при сжатии, МПа	Температура, °С	Предел прочности при сжатии, МПа
20	3000		
400	1500	1200	500
600	1400	1400	250
800	1300	1500	100
1000	900	1600	50

При длительном воздействии высоких температур (более 1300°С) и под постоянной нагрузкой, происходит необратимая ползучесть. Ползучесть напрямую зависит от многих факторов: от размера кристаллов, температуры, напряжения, количества и вида добавок, плотности и пористости[1].

Термические свойства керамики на основе оксида алюминия. Благодаря тому, что при высоких температурах отсутствуют полиморфные превращения с повышением температуры, происходит равномерное термическое превращение. Температур начала деформации при величине нагрузки 0,2 МПа чистой корундовой керамики составляет 1900°С.

Теплопроводность корундовой керамики с нулевым показателем пористости при комнатной температуре равна 28 Вт/(м·К). Также свойственно, как и для других кристаллических материалов уменьшение теплопроводности, с повышением температуры. При повышении температуры до 1000°С, теплопроводность снижается до 5,8 Вт/(м·К). Теплоемкость корунда до температуры 100°С составляет 0,8 Дж/г и повышается линейно при 1500°С до 1,08 Дж/г.

Термическая стойкость корундовых керамик не высока. Крупнозернистый корунд в 3-4 раза более термостоек, чем мелкозернистый корунд.

Испаряемость керамики при спекании в вакууме и в инертных газах мала. При длительном нагревании до температуры 1700°С потери в вакууме равны 0,4 – 0,5%. Благодаря этому свойству возможно эксплуатировать корундовую керамику при высоких температурах. Однако при длительной

эксплуатации при высоких температурах происходит рекристаллизация и снижение свойств керамики. Это называется «старением» керамики: изменяются пористость, снижаются электрофизические свойства и прочность, кристаллы увеличиваются.

1.1.2 Керамика на основе ZrO_2

Диоксид циркония является материалом на основе которого получают керамику. Данный вид керамики обладает высокой прочностью, низким коэффициентом трения, химической стойкостью, биоинертностью и вязкостью разрушения, благодаря эффекту трансформационного упрочнения. Также в керамику на основе диоксида циркония вводятся такие добавки, как оксиды магния, иттрия, цезия и т.д., для ее стабилизации. Спектр её применимости довольно широк: конструкционные материалы, керамика для суставов и протезов, в химической промышленности [2, 3]. Применяя циркониевую керамику как биоинертный материал, ее необходимо стабилизировать Y_2O_3 (3Y-TZP) [4, 5]. Но при введении оксида иттрия происходит фазовый переход в диоксиде циркония из тетрагональной в моноклинную модификацию при низких температурах (low temperature degradation), что приводит увеличению объема керамики, снижению механических свойств и непродолжительному сроку эксплуатации изделия [6]. Самым важным свойством протезов из керамики является сохранение свойств на всем времени пребывания ей в организме человека. Благодаря эффекту «старения» при большой влажности и длительному не возникновению трещин, керамики из ZrO_2 может долго эксплуатироваться в организме. Для повышения стойкости циркониевой керамики, стабилизированной оксидом иттрия: меняют концентрацию оксида иттрия, либо заменяют оксид иттрия на другую добавку, либо уменьшают зерно [7].

В машиностроении в основном применяют керамику из диоксида циркония повышенной чистоты, получаемую гидролизом с последующей прокалкой или сжиганием во $ZrCl_4$ или $ZrOCl_2$.

Их используют для обработки соляной кислоты солей циркония и цирконатов, и хлорирования. Кристаллизацией тетрахлорида циркония и дополнительной возгонкой удастся очистить ZrO_2 до содержания примесей с массовой долей 0.01 – 0.001.



Рисунок 2 - Изделия из керамики на основе ZrO_2

Такой ZrO_2 имеет удельную поверхность не менее $5m^2/g$ полностью состоит из моноклинной модификации. Содержание соединений циркония в земной коре в виде циркона очень мало, их переработка весьма сложна, поэтому ZrO_2 достаточно дорогой материал.

В системе $Zr - O$ обнаружено только одно соединение диоксида циркония в твердом состоянии, которое при нагревании в вакууме или в среде восстановителя испаряется incongruently и образует оксид циркония и кислород, в газовой фазе циркония. В твердом состоянии образуется раствор вычитания ZrO_{2-x} , где x может достигать 0,14. При этом часть валентных электронов, попадая в зону проводимости и по мере увеличения x , будет увеличиваться электропроводность и оптическая непрозрачность ZrO_{2-x} . Химическая связь ZrO_2 происходит за счет четырех sd^3 непарных электронов

атома циркония, sd^3 – гибридные состояния образуются из s^2d^2 валентных электронов по схеме: $s^2d^2 - sd^3$. Атомы циркония соединены между собой атомами кислорода, которые имеют два непарных электрона, либо в s^2p^6 – состоянии, либо в sp^3 – состоянии, последнее состояние более вероятно.

Аллотропные модификации диоксида циркония (всего их 3) отличаются между собой межатомными расстояниями и валентными углами. Они определяются долями участия чистых p – орбиталей и гибридных sp^3 – орбиталей атомов кислорода.

Переход из тетрагональной в моноклинную фазу сходен к фазовым переходам второго рода и напоминает превращение мартенсита в сталях и сплавах, а его меньшая скорость объясняется значительными объемными изменениями. Плотность моноклинного диоксида циркония составляет 5561 кг/м³, а плотность тетрагональной ZrO_2 – 6106 кг/м³. Так при полном переходе из тетрагональной формы в моноклинную, объемное изменение составит около 9%. Исключение составляет лишь обжиг изделий из ZrO_2 без стабилизаторов и их эксплуатации в восстановителях или вакууме. Это можно объяснить тем, что оксид циркония, может стабилизировать кубическую форму диоксида циркония за счет растворения в твердом ZrO_2 .

Особую ценность представляют твердые растворы ZrO_2 , образуемые Y_2O_3 , MgO , CaO , CeO_2 , Sc_2O_3 . Главными условиями для образования твердых растворов служат близость размеров радиусов катионов оксидов и преимущественно кубическая решетка оксидов-стабилизаторов кубической структуры.

Существует несколько способов получения диоксида циркония:

1. Термообработка при температуре 1600 - 1800°C механических смесей оксидов, содержащих диоксид циркония.

2. Термообработка при температуре 1000 - 1200°C механических смесей соответствующих гидроксидов циркония.

3. Плавление механических смесей оксидов с последующим медленным охлаждением (плавка на блок) или высокоскоростной кристаллизацией расплава.

4. Плазмохимический метод.

5. Криохимическая, гидротермальная обработка, распылительная сушка растворов солей с последующей их термообработкой.

6. Гидролиз алкоголятов (золь-гель процесс).

7. Гетерофазный метод.

8. Совместное осаждение катионов из растворов солей в виде нерастворимых соединений.

Для керамики на основе диоксида циркония конструкционного назначения, частности для двигателей, основными требованиями являются: высокое качество порошка или высокая дисперсность, химическая активность при спекании, гомогенность и чистота. Такого качества порошки можно получить гидролизом алкоголятов циркония (золь-гель технология). В этом случае получают мелкодисперсные порошки стабилизированного ZrO_2 или смесей в системе $ZrO_2 - Al_2O_3$ с частицами сферической формы и размером 0,1 – 1,0 мкм, спекаемые при 1000°C до плотности 98% от теоретической, что является хорошим показателем.

Мелкодисперсный оксид циркония получают методом совместного соосаждения катионов раствора в виде нерастворимых гидроксидов с последующим переводом их в гомогенную смесь оксидов путем термической обработки.

Такая технология должна обязательно включать меры по предотвращению укрупнения, агломерирования и сохранению однородности по составу порошков за счет оптимизации концентрации растворов, их температуры, рН, скорости смешивания растворов солей с раствором осадителя, помола после лиофильной сушки перед их переводом в оксиды в органических средах (этанола, ацетона, пропанола и др.). Лиофильная сушка

обеспечивается либо удалением воды, т.е. заменой растворителя, либо криохимическими методами.

Криохимическая технология, включающая замораживание растворов солей, сублимационную сушку в вакууме и термообработку, позволяет получать распределение компонентов смесей оксидов и твердых растворов солей почти на молекулярном уровне, но требует специального сложного оборудования, необходимости улавливания и нейтрализации вредных газовых выделений (кислотных остатков).

Метод газофазного синтеза основан на прививке высокоразвитой поверхности одному из компонентов, например, в виде гидроксидов катионов других составляющих смеси. Весьма перспективным способом получения порошков оксидов для керамики конструкционного назначения является сверхскоростная кристаллизация расплава в условиях механической активации. Однако полученный порошок может обладать химической нестабильностью из-за отклонения от равновесного состояния и большой поверхности раздела фаз. Метастабильное (близкое к стеклообразному) структурное состояние порошка определяет его высокую активность при спекании и дает возможность получать высокоплотные изделия при пониженных температурах обжига [3].

1.1.3 Керамика на основе оксида SiO_2

Диоксид кремния представляет собой бесцветные кристаллы, температура плавления которого находится в интервале 1713 - 1728°C. Данный вид керамики обладает высокой твердостью и очень прочен.

Диоксид кремния очень распространен в природных условиях. Присутствует во многих горных породах, например кизельгур. Стоит отметить что масса литосферы состоит на 87% из кремнезёма и силикатов. Кремнезём даже присутствует в человеческой крови и плазме в процентном содержании 0,001% по массе [8].

Единственное оксидное стекло с одним компонентом, которое выпускается промышленностью – это кварцевое стекло. Являясь простейшим однокомпонентным стеклом, его исследования были достаточно просты и доказали, что достаточно легко разобраться в структуре и свойствах кварцевого стекла.

Но кварцевое стекло имеет некоторые особенности, такие как чувствительность к примесям. Также стекло обладает сложной природой. Поэтому кварцевое стекло не такой простой материал как может показаться на первый взгляд, что подтвердилось исследованиями [9].



Рисунок 3 - Изделия из кварцевой керамики

Одним из способов изучения кварцевого стекла является расплавление жильного кварца, кварцевых песков, горного хрусталя, синтетической двуокиси кремния, которые являются разновидностями кремнезема. Кварцевое стекло подразделяется на прозрачное и непрозрачное стекло. Получение кварцевого стекла отличается от технологии получения многокомпонентных стекол, в силу высокой температуры плавления кремнезема, высокой вязкости расплава, сильным испарением расплава при

плавке и невозможности осветления стекловидной массы. Поэтому для получения данных стекол применяют методы плавки в высокотемпературных электрических и газовых печах сложной конструкции и небольшого объема, в вакууме при большом давлении. Формование также является сложной операцией и производится специальными машинами в короткий промежуток времени [10].

Главным источником сырья из которого изготавливают кварцевые непрозрачные стекла являются кварцевые пески высокого качества. Проводится их обогащение на вибрационном столе, промывка и сушка. Диоксид кремния должен содержаться в количестве 99,6 – 99,7%, при размере зерен 0,2 – 0,35 мм.

В электрических печах сопротивления с нагревателями из графита или углерода производится наплавка заготовок. После наплавки заготовки, которые находятся еще в пластичном состоянии формируются изделия. Желательно проводить формование заготовок не в пространстве печи, благодаря этому упрощается её конструкция.

Для кварцевой керамики существуют методы формования такие как: раздувка блока в формы, растяжка блока в трубу, прессование блока на гидропрессе. Интервал температуры формовки изделий из кварцевого непрозрачного стекла начинается от 1550°C и заканчивается до 1650°C. Наиболее применяемым методом формования направленного блока в изделия, это раздувание массы при давлении в 5 – 8 атмосфер. Следующими операциями являются механическая и термическая обработка. Обжиг является обязательным, если детали крупногабаритные или толстостенные. Также в кварцевом стекле имеются внутренние остаточные напряжения, достигающие до отжига 8,82 – 11,76 кгс/см². Проводя отжиг, они уменьшаются при температуре 850 - 900°C и почти исчезают при 1080 - 1100°C.

Для производства кварцевого прозрачного стекла применяют горный хрусталь и обогащенные кварциты высокого качества. Диоксида кремния должно содержаться в количестве 99,96 – 99,98%. Также применяют методы

получения из синтетического сырья, которые стали популярны в последнее время. Суть метода состоит в получении кремнезема прямым окислением четыреххлористого кремния в пламени высокой температуры или гидролизом. При таком методе на выходе получается наиболее чистый материал, чем из обычного сырья.

Методом прессования осуществляется формование кварцевой керамики и описано в ряде источников [11, 12, 13, 14, 15], наиболее подробно данный метод освещен в работе [14]. Чтобы использовать метод прессования для формования, порошки кварцевого непрозрачного стекла полученные вибропомолом с удельной поверхностью от 3000 до 10000 см²/г. При влажности 8% порошки спрессовывали с введением 0,2% мочевино-формальдегидной смолы. В результате данного исследования выяснилось, что наиболее сбалансированным давлением прессования является 78,4 – 98,1 МПа.

В работе [15] описано прессование зернистых образцов кварцевой керамики с добавлением как связки смолы Ф-9.

В работе [14] изучен метод прессования порошков кварцевой керамики на основе зернистого строения для получения крупногабаритных конструкций. Из работы [16] известно, что такие порошки отлично спрессовываются, обладают высокими показателями термостойкости и пониженной усадкой. При исследовании зернистых порошков кварцевой керамики приходилось изменять следующие технологические факторы:

1. Отношение содержания тонкодисперсного компонента к общему содержанию крупных зернистых фракций. Общее содержание зернистых фракций изменяли в пределах от 50 до 70%.

2. Размер зерна крупных фракций. Нижняя граница размеров зерна составляла во всех случаях 0,5мм, верхнюю изменяли в пределах 1 - 3 мм. Зернистую часть с размерами зерен 0,5 – 2 мм составляли из смеси фракций 0,5 – 1,0 и 1,0 – 2,0 мм, взятых в равных соотношениях. Зернистую часть с

размерами 0,5 – 3,0 мм составляли из равных количеств фракций 0,5 – 1,0., 1,0 – 2,0 и 2,0 – 3,0 мм.

Порошки кварцевой керамики на основе зернистых масс при спекание менее склонны к кристаллизации. Проводилась термообработка прессовок в пламенной печи при 1250°C (с выдержкой в течении 2 ч), далее после обжига исследовали свойства прессовок.

В источнике [15] с помощью прессования получены прессовки с пористостью после термообработки 20 – 23% и $\sigma_{сж} = 58,8 – 78,4$ МПа.

В работе [17] применяли способ получения на основе синтетического сырья. Были получены прессовки диаметром 40 мм и высотой 15 мм, полученные при давлении 98,1 МПа. Кремнекислота являлась связкой в этом соединении. Количество кремнекислоты для получения прессовок, в основном зависит от температуры обжига синтетического кремнезема. Например, для порошка обожженного при температуре 1200 - 1400°C, необходимо 7 – 10% связки, что является самым большим количеством связки.

Для получения кварцевой керамики на основе кристаллического диоксида кремния, давление при прессовании должно соответствовать 98,1 МПа [12]. При влажности 10%, которая является оптимальной, исходные порошки содержали до 80% частиц размером до 10 мкм. При увеличении дисперсности порошка, увеличивалась и прочность спрессованного порошка. В свежееотформованном состоянии прочность при изгибе повысилась с 1,5 до 4,5 кгс/см² и высушенном состоянии с 4,2 до 8,0 кгс/м², при увеличении содержания частиц размером до 5 мкм с 50% до 72%.

Чтобы повысить прочностные характеристики прессовок к массе этилсиликатного раствора добавляли следующий состав: этилсиликат – 60%, метиловый спирт – 20%, 1%-ая соляная кислота – 10%, дистиллированная вода – 10%. За счет введения добавки прочность при изгибе у данных прессовок повысилась до 23 – 28 кгс/см². Это явление можно объяснить тем, что происходит гидролиз этилсиликата под действием воды, при этом выделяется геля диоксида кремния, который выступает в роли связки. Такая

связка не увеличивает склонность к кристаллизации аморфного диоксида кремния при его разложении, что является бесспорным преимуществом.

Обычно прозрачная кварцевая керамика белого цвета, но она имеет матовый оттенок при увеличении плотности стекла, как у непрозрачного кварцевого стекла. Кварцевая керамика является чистой двуокисью кремния по химическому составу с молекулярной массой 60,06. Данная керамика, состоящая из отдельных спеченных зерен кварцевого стекла, состоит из аморфной фазы. Такая особенность структуры керамики влияет на её специфические свойства. Во-первых это материал определяющий на молекулярном уровне множество зависимостей свойств стеклообразного вещества, потому что состоит из зерен кварцевого стекла. Во-вторых этот материал получают традиционными керамическими способами, что определяет его свойства как у традиционной керамики. Данные технологические особенности влияют на специфичность свойств на микро- и макроскопическом уровне, таких факторов как, наличие пористости, условия формования, получение исходного сырья.

Кварцевая керамика обладает однородностью и изотропностью свойств по всему объему. Даже при нагреве до 1100°C включительно и охлаждении, у данной керамики нет фазовых переходов, с изменением объема.

Степень кристаллизации, как написано выше, зависит от температуры, времени, чистоты материала и его дисперсности. При некоторых условиях эксплуатации кварцевая керамика может работать при температуре 2200°C, правда в течении нескольких секунд, без нарушения целостности [18].

Кварцевая керамика не имеет четко выраженного значения температуры плавления, как у других кристаллических материалов, поскольку её структура аморфна. Для кварцевой керамики, как и для кварцевого стекла характерно уменьшение вязкости при плавном нагреве. Поэтому в разных источниках разнятся данные по температуре изменения состояния от твердого тела к более мягкому. В источниках [19, 20] температура изменения равна 1370°C, в работе [21] она составляет 1140°C. Как известно температуры кипения кварцевой

керамики и кварцевого стекла должны совпадать, но работах [22, 23] температуры равны 2230°C и 2800°C соответственно.

Керамоподобная структура кварцевой керамики во многом определяет её механические свойства, наиболее важным в этом отношении являются зернистое строение и пористость. Данные факторы определяют основные изменения и зависимости механических свойств от технологических факторов. Некоторые зерна по структуре аморфны и это проявляется в температурной зависимости от прочности. Микротвердость кварцевой керамики, для одного зерна колеблется от 1300 до 2500 кгс/мм². Значения микротвердости зависят от пористости. Микротвердость измерялась на микротвердомере ПМТ-3 с нагрузкой на индентор 20 г. Твердость кварцевой керамики по Моосу равна 5,5 с пористостью 3% [24]. Большую роль в значении твердости играет степень спекания керамики и пористость. Так при увеличении пористости до 20%, твердость уменьшается в два-три раза.

Если керамика имеет высокую твердость, то её обработка достаточно трудоемка. Например, при шлифовании приходится применять алмазный инструмент, а токарная обработка данной керамики невозможно, т.к. нельзя применить такой инструмент.

1.2 Структура и свойства керамики на основе нитридов бора и алюминия

1.2.1 Керамика на основе AlN

Первые упоминания об соединениях азота с алюминием появились в 1862 [25]. Позднее, в своих работах Меллор разработал методы получения [26].

В этих работах говорилось только об соединении алюминия с азотом, которое называлось AlN (нитрид алюминия).

Чаще всего AlN, белого цвета. Имеет прозрачные монокристаллы, которые при добавлении от 4 до 7% оксикарида алюминия окрашиваются в голубой цвет.

У данного материала очень большой диапазон температуры плавления, 2000 - 2500°C. Благодаря особенностям определения «температуры плавления», можно объяснить широкий интервал температуры плавления. При нагревании происходит разложение AlN на компоненты при достижении температуры плавления [25,26]. По шкале Мооса твердость составляет 4 – 10 единиц.



Рисунок 4 - Керамика из AlN

Нитрид алюминия в чистом виде имеет слабые механические свойства. Поэтому она нашел прекрасное применение как огнеупор и стоек в различных расплавах. Также одним из направлений применения является производство фоторезисторов для оптических приборов.

Нитрид алюминия очень химически и коррозионо стоек, к воздействию расплавов, кислот и растворов. Соляная, серная азотная кислота и царская водка с ним очень слабо взаимодействуют. Логично предположить, что формованный нитрид алюминия более химически стоек к расплавам и кислотам чем порошкообразный. На прессованный нитрид алюминия слабо воздействуют кипящие едкие и сильные кислоты, также он устойчив к кипячению в концентрированной серной кислоте.

В лабораториях научных центров и на промышленных предприятиях используется несколько методов получения AlN.

Проводился синтез порошков. Для этого алюминий азотировали при температуре 800 - 1200°C, или восстанавливали Al₂O₃ с одновременным азотированием. Получают изделия из нитрида алюминия следующим образом: при температуре 1900°C производят консолидацию в атмосфере азота, отлитых или спрессованных заготовок. Для получения связки в виде нитрида алюминия вводят 15% алюминиевой пудры. При применении этого метода происходит частичное реакционное спекание, которое зачастую используется для изготовления керамики на основе AlN. После проводится спекание в атмосфере азота прессовок из металлического порошка высокой чистоты. Однако при изготовлении керамики данным способом, нельзя достичь высокого значения плотности, максимум 50 – 60% от теоретической. Для получения высокоплотной керамики используется метод при котором, порошок прессуется горячим прессованием при давлении 30МПа и температурой 2000 - 2100°C.

В настоящее время исследованы материалы системы Si-Al-O-N (сиалоны). У этого материала высокие показатели таких свойств как:

твёрдость, прочность, трещиностойкость, тепло- и электроизоляционные характеристики, высокая химическая стойкость к различным агрессивным средам, при высоких температурах. Важным является тот факт, что температура их синтеза ниже, чем у нитрида алюминия. Одним из самых популярных стал β -сиалон $\beta - Si_{6-x}Al_xN_{8-x}O_x$. Твёрдость по Виккерсу у данного материала составляет от 14 до 18 ГПа, $\sigma_{изг}$ до 1300 МПа. Он активно применяется для изготовления деталей двигателей, газовых турбин и режущего инструмента. Для изготовления огнеупоров и изделий работающих при высоких температурах нитрид алюминия иногда применяется в смеси с BN или SiC.

Электроника развивается высокими темпами, повышается мощность приборов, но при этом и повышается тепловая энергия устройств. Поэтому требуются материалы, отводящие тепло и снижающие тепловое сопротивление цепи. Наиболее предпочтительным способом является вывод тепла через тепловыводящие чипы, которые расположены на подложке. Для реализации этого процесса необходимо найти материал с высокой теплопроводностью. На данный момент керамика на основе AlN уже активно применяется в электротехнике.

Нитрид алюминия, материал, который обладает высокими тепловыми, химическими и тепловыми характеристиками, находит свое применение в электротехнической и приборостроительной отрасли производства.

1.2.2 Керамика на основе BN

Из гексагонального BN получают керамику методом горячего прессования порошков нитрида бора турбостратной структуры в графитовых прессформах, при давлении 30 – 40 МПа, температуре 1800 - 1900°C, в атмосфере азота, который защищает графитовые прессформы от окисления. Эта керамика довольно устойчива к воздействию различных агрессивных сред и окислению.

Нитридная керамика обладающая более высокими физико-химическими свойствами, получаемая методом пиролитического осаждения и представляющая собой текстурированные осадки плотностью 2130 – 2240 кг/м³, в виде пластин толщиной 1 – 6 мм, либо тел вращения. Этот материал обладает высокой чистотой 99,999%. Керамика полученная этим методом обладает лучшей электроизоляцией, высоким электросопротивлением и прочностью при нагреве до высоких температур.

Устойчива к различным агрессивным средам, растворам и расплавам. Сочетание данных свойств позволяет использовать этот вид керамики: в вакуумноплотной и газонепроницаемой изоляции, диэлектрика работающего при высоких температурах, контейнеров для выращивания монокристаллов соединений полупроводников, различных защитных покрытий, работающих в контакте с агрессивными средами и расплавами. Из выше сказано спектр применения нитридной керамики получаемой методом пиролитического осаждения очень разнообразен.



Рисунок 5. Сменные режущие пластины из нитрида бора

В основном кубический BN (КНБ) применяют из за его уникальных физико-механических свойств. Высокая термостойкость, диффузионная

устойчивость, отсутствие химического сродства к железу, все это дает возможность использовать КНБ как абразивный и режущий инструмент, для обработки сталей, сплавов и неметаллических материалов высокой твердости.

Эксплуатационные, физические и химические свойства порошков кубического нитрида бора изменяются в большом интервале в зависимости от технологических факторов, влияющих на их свойства. Поэтому порошки выпускаемые под разными торговыми марками имеют существенные различия. Следовательно каждый производитель выпускает порошок для определенного назначения.

В СНГ промышленностью освоен выпуск двух марок порошков КНБ: эльбор и кубонит. Также разработана технология производства КНБ марки «Эльбор» в соответствии с ГОСТ 2 МТ 79 – 2 – 88 несколько разновидностей /ЛО, ЛП, ЛКВ, ЛД, ЛМ/, в том числе с металлическими и неметаллическими покрытиями. Основные характеристики указанных разновидностей следующие: эльбор ЛО – абразивные порошки обычной механической прочности, получаемые при высоких давлениях и температурах из составов Mg – В – N в камерах высокого давления на специальных прессовых установках. В этих условиях практически из порции порошка гексагонального нитрида бора (ГНБ) с добавкой в качестве инициатора синтеза диборида магния происходит формирование друз перекристаллизации и рост кристаллов КНБ. Эльбор ЛО выпускается в виде порошков зернистостью 250/200 – 50/40 и наиболее эффективно используется в абразивном инструменте на органической связке и в производстве шлифовальной шкурки для чистовой и окончательной шлифовки различных металлических изделий.

Эльбор ЛП – монокристаллитные шлифпорошки КНБ повышенной механической прочности, получаемые кристаллизацией из составов системы Mg – В – N в присутствии газообразующих добавок, придающих маточному раствору свойства флюида. В этом случае получается материал в виде

темнокрашенных кристаллов и их сростков изометричного и упрощенного вида; строение кристаллов мозаичное, блочное, реже секториально-мозаичное, поэтому грани кристаллов имеют развитый микрорельеф. Выпускается эльбор ЛП также в виде порошков зернистостью 250/200 – 50/40. Причем зерна порошка из-за развитой поверхности их граней хорошо скрепляются с керамической связкой, что обеспечивает прочное удержание ЛП-зерен в изготовляемом из них абразивном инструменте на керамической связке. Наиболее рекомендуемая область применения абразивного инструмента из эльбора ЛП – это глубинная заточка металлорежущих инструментов из быстрорежущих сталей, а также шлифование деталей из закаленных легированных сталей и труднообрабатываемых сплавов.

Эльбор ЛКВ – монокристаллитные шлифпорошки КНБ высокой механической прочности, выпускаемые зернистостью 315/250 – 50/40.

Эльбор ЛД – порошок КНБ, состоящий из дробленных поликристаллов КНБ зернистостью 630/500 – 63/50.

Эльбор ЛМ – микропорошки КНБ, получаемые при классификации по зернистостям исходных порошков ЛО, ЛП, ЛКВ. Различают два вида микропорошков этого типа: ЛВМ – порошки с высоким содержанием основной фракции и ЛПМ – порошки с повышенным содержанием основной фракции.

КНБ, получаемый в Украине под маркой «Кубонит» предполагает семь его разновидностей: 1)КО – шлифпорошки обычной прочности, 2)КР – шлифпорошки повышенной прочности, 3)КОМ – шлифпорошки обычной прочности с металлическим покрытием, 4)КРМ – шлифпорошки повышенной прочности с металлическим покрытием, 5)КОС – шлифпорошки обычной прочности с неметаллическим покрытием, 6)КОМА – шлифпорошки обычной прочности, агрегированные с металлическим покрытием, 7)КМ – микропорошки из кубонита, получаемые при классификации по зернистостям исходных порошков КО и КР.

Шлифпорошки кубонита КО и КР выпускаются зернистостью 200/160 – 50/40. Порошки кубонита КО – это зерна и их сростки серого, темносерого, реже белого, коричневого и черного цветов, имеющие весьма нечеткую огранку и довольно развитую поверхность; блеск самих зерен развит слабо.

Порошки кубонита марки КР состоят в основном из монокристаллов, их осколков и сростков, дефектность кристаллов, как правило, возрастает с увеличением их размеров. Цвет кристаллов кубонита КР преимущественно черный, но единичные зерна могут быть окрашены в темно-серый, коричневый и желтые цвета, имеют пятнистую и секториальную окраску с чередованием прозрачных и непрозрачных секторов. Зерна кубонита КР отличаются также и сильным блеском.

Кубонит КО используется для изготовления абразивных кругов на органической и керамической связках, которые применяются для получистовой и чистовой обработки быстрорежущих и других труднообрабатываемых сталей и сплавов, а кубонит КР – для абразивных кругов на металлических связках, используемых при шлифовании быстрорежущих и других сталей, а также при заточке металлорежущих инструментов из быстрорежущей стали.

В институте сверхтвердых материалов АН Украины разработана технология получения высокопрочных и термостойких шлифпорошков под тороговой маркой «Кибор КТ». Шлифпорошки кибора КТ состоят из монокристаллов с четкой огранкой и их сростков и имеют цвет от светло-желтого до золотистого; при этом кристаллы прозрачные с отсутствием видимых включений в них и сильным блеском. Сами кристаллы Кибора КТ имеют совершенное внутреннее строение, благодаря чему они обладают высокой теплопроводностью, достигающей $750 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$. Наряду с монокристаллитными шлифпорошками КНБ в ИСМ разработана технология получения шлифпорошков марки КД (киборит дробленный), проводимый путем дробления поликристаллов КНБ. Шлифпорошки кубонита КД применяются для обработки инструментов из быстрорежущих и

нержавеющих сталей, а также для шлифования конструкционных сталей и чугуна, износостойких наплавов и других материалов.

Порошки КНБ используются достаточно широко для производства абразивных инструментов на металлической, керамической и органической связках, применяемых для внутреннего, круглого, наружного, плоского и профильного шлифования, а также для резьбошлифования, зубошлифования.

Кроме того порошки КНБ используют и для специальных брусков, применяемых для хонингования и суперфиниширования, шлифовальной шкурки и паст, необходимых для доводки и полирования деталей в точном машиностроении и приборостроении, а также лезвийного режущего инструмента. [3].

1.3 Получение и применение современной многофункциональной оксинитридной керамики

В современном мире все больше и больше наблюдается тенденция повышения пробития брони из артиллерии малых калибров, автоматов, пулеметов и снайперских винтовок. Поэтому для конструкторов стает проблема сопротивляемости брони к данным видам вооружения. Такая броня должна обладать наивысшей сопротивляемостью к пуле пробитию и легким весом для лучшей эксплуатации техники и вооружения. В последнее время на первые роли вышел такой материал как алюминиевая оксинитридная керамика, аббревиатура AlON. Данная керамика обладает высокой стойкостью к пробитию стрелкового оружия и артиллерии малых калибров, к тому же данный материал достаточно дешев в производстве. Из данного материала можно получать изделия различной формы, в том числе и сложной. К тому же он прозрачен, что позволяет его использовать, в защитных стеклах и иллюминаторах военной техники. Изделия возможно получать, используя уже известные способы формования и спекания керамики. В иностранных компаниях, производящих вооружение, активно ведется разработка прозрачной броневой из оксинитрида алюминия. Керамика из данного материала запатентована фирмой из США («Surmet»), она ведет работы по разработке и производству. [27].

В данное соединение AlON входят кислород и азот, его химическая формула имеет вид $Al_{23}O_{27}N_5$. Данное соединение было открыто в 50-х гг. XX века. Благодаря росту мощности стрелкового вооружения, к данному материалу проявляют все более широкий интерес.

Как уже сказано выше, оксинитрид алюминия можно получать, традиционными проверенными методами, с невысокой стоимостью, т.к. его кристаллическая симметрия – это кубическая сингония. В таблице 4 идет сравнение свойств керамических прозрачных материалов со свойствами AlON.



Рисунок 6 - Прозрачная бронекерамика AlON

Таблица 4 - Сравнительные свойства прозрачной керамики

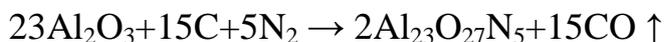
Свойства	(AlON)	Фианит ($ZrO_2 \cdot 15Y_2O_3$)	Плавленный кварц	Алюмоиттри евый гранат $5Al_2O_3 \cdot 3Y_2O_3$	Сапфир Al_2O_3
Плотность , г/см ³	3,69	6,09	2,21	4,55	3,97
Модуль Юнга, ГПа	334	215	70	28,45	344
Прочность при изгибе, МПа	380	455	48	435	742
Ударная вязкость, Дж/см ²	2,4	1,8	0,8	-	1,2
Твердость по Кноор	17,7	12,5	4,5	13,5	19,8

Исходя из таблицы можно сделать вывод, что оксинитрид алюминия высокопрочный материал, а по ударной вязкости его показатели самые высокие. Ударная вязкость главное свойство для брони.

Благодаря своим свойствам, бронекерамика AlON находит применение в различных видах техники. Использование в военной технике – это защитные бронестекла бронетранспортеров и танков. В гражданской технике данная керамика может применяться в окнах сканеров, полупроводниковых подложках электронных устройств высокой мощности и иллюминаторах космических кораблей. Но все же большее развитие алюминиевой оксинитридной керамики уделяется в военной технике. Первое направление применения, головки самонаведения ракет. Так как данная керамика очень прочная, ни одна керамика не может с соперничать. Второе направление, которое наиболее привлекательно, производства прозрачных керамических пластин. Исследования и разработки ведутся в Абердине, на предприятиях, специализирующихся по военной технике [27]. В исследовании использовались пластины из: AlON, магнийалюминиевой шпинели $Al_2O_3 \cdot MgO$, сапфира Al_2O_3 . Алюминиевая оксинитридная керамика показала высокие результаты по сравнению с конкурентами, а главное их пуленепробиваемость гораздо выше в два с половиной раза, что свидетельствует, что именно AlON самый перспективный материал для применения в этом направлении.

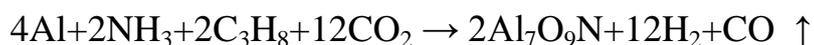
Был произведен анализ интереса к данной керамики. Наибольший интерес к ней проявляют научные институты в Германии, Японии и США. Во многих разработках подавляющее внимание уделяется его прозрачности, как наиболее нужному свойству этого материала, также ведутся работы по методу получения керамики. Первыми провели синтез соединения AlON японские ученые в 50-ые гг. XX века [28; 29]. Данное соединение получили методом взаимодействия твердых фаз оксида и нитрида алюминия в азотной среде, при высокой температуре, более $1800^\circ C$. В конце 70-х начале 80-х американские ученые получили прозрачную керамику, спеканием в атмосфере азота при температуре $1870^\circ C$ [30; 31]. Недостатком такого метода получения керамики является высокие температуры процесса получения, к тому же высокотемпературные методы получения требуют высоких затрат. В

конце XX века был найден дешевый метод для порошков алюминиевой оксинитридной керамики, - карботермальный [32; 33]. Карботермальный метод подразумевает «вскрытие» оксида алюминия с добавлением углерода, при более температуре ниже 1800°C.



Данный метод позволил снизить температуру синтеза порошков до 1700°C. Сейчас карботермальный метод является самым популярным в промышленности для получения прозрачной бронекерамики. Но температуру синтеза все равно придется понижать, т.к. синтез очень дорог в производстве.

В настоящее время находят применение методов синтеза основанных на альтернативных подходах. В источнике [34] описан синтез сферических порошков керамики. В газовой горелке пламенем горелки проводится прямое нитрирование порошков металлического алюминия, в атмосфере азот – и углеродсодержащих газов и происходит реакция.



Однако этим методом нельзя производить керамику в больших объемах, невозможно получить необходимую чистоту и точную стехиометрию.

Также считается недооцененным путь применения жидкофазного синтеза AlON из растворимых соединений содержащих азот. Материала по этому методу очень мало, и он применялся в большинстве случаев только в лабораториях. Японские ученые исследовали взаимодействие соединения оксинитрида алюминия с оксидом европия [35]. В данном методе получали прекурсор как аморфный гель, который имел в своем составе атомы алюминия, азота и кислорода. Пропорции при их смешивании были подогнаны так, чтобы оксид алюминия не образовывался при обжиге в атмосфере азота. В источнике [35] описано как использовали дешевые соединения кристаллогидрата алюминия азотнокислого и аминокислоты (глицин). После того как произошла реакция, гель высушивали, и проводили обжиг при 1200°C в аммиачной атмосфере. Благодаря такому

подходу удалось снизить температуру реакции получения алюминиевой оксинитридной керамики до 1200 - 1300°C.

В разработках российских ученых использовали синтез жидкой фазы алюминиевой оксинитридной керамики с органическими исходными материалами. Таким материалом выступил алюминия этилат $C_6H_{15}AlO_3$, чистотой 97%. Атомарный азот получали из мочевины $(NH_2)_2CO$, квалификации ЧДА. В процессе этого метода происходит «вскрытие» Al_2O_3 , для этого применяли сахарозу $C_{12}H_{22}O_{11}$. Растворителем был этиловый спирт, для того, чтобы не образовались промежуточные соединения $AlOH$, $Al(OH)_3$, при низких температурах. Схема проведения этого метода описана в источнике [35]. Сначала подготавливают безводный гель, проводят его разрушение с азотированием в среде аммиака. На рисунке 7 а), показана рентгенограмма материала полученного этим методом, прошедшего синтез в аммиачной атмосфере. На рисунке 7 б) показана рентгенограмма того же материала, с проведением 3 – часового обжига в атмосфере азота при 1600°C. Обжиг был проведен как тестовый.

Обжиг проводится, так как нет возможности быстро узнать содержание азота в данном материале. У рентгенограммы оксинитрида алюминия имеется особенность: почти полное сходство с рентгенограммой γ – Al_2O_3 . Переход из γ в α фазу у оксида алюминия происходит при температуре $> 1250^\circ C$. В атмосфере азота оксинитрид алюминия очень стабилен от комнатной температуры вплоть до температуры 1800°C. Рентгенограмма оксинитрида алюминия при 1300°C и рентгенограмма с дополнительным обжигом (температура обжига 1600°C, которая гораздо больше температуры γ – α перехода оксида алюминия), показывает неизменность рефлексов свидетельствует о том, что рентгенограмма принадлежит оксинитриду алюминия.

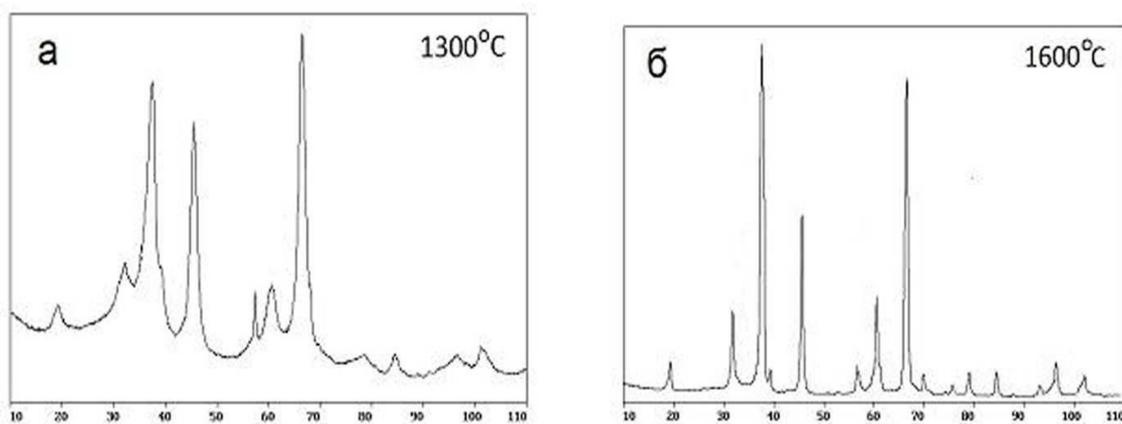


Рисунок 7 - Рентгенограммы образцов синтезированного оксинитрида алюминия, приготовленного из неорганических исходных: а – после синтеза в токе аммиака; б – после обжига в токе азота при 1600°, 3 часа

Из-за дороговизны соединений, применяемых в методе, практическая значимость, полученных результатов не высока. Также исследован второй вариант, он был проведен по «классической» схеме. Проводился синтез оксинитрида алюминия, с гораздо более дешевыми неорганическими солями. Такой вариант был предложен в работе [35]. Применяли соль алюминия $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ и глицин $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$, который содержит азот. Благодаря этому получен оксинитрид алюминия без посторонних линий на рентгенограмме (в пределах рентгенографической точности). На рисунке 8 представлена рентгенограмма полученного соединения.

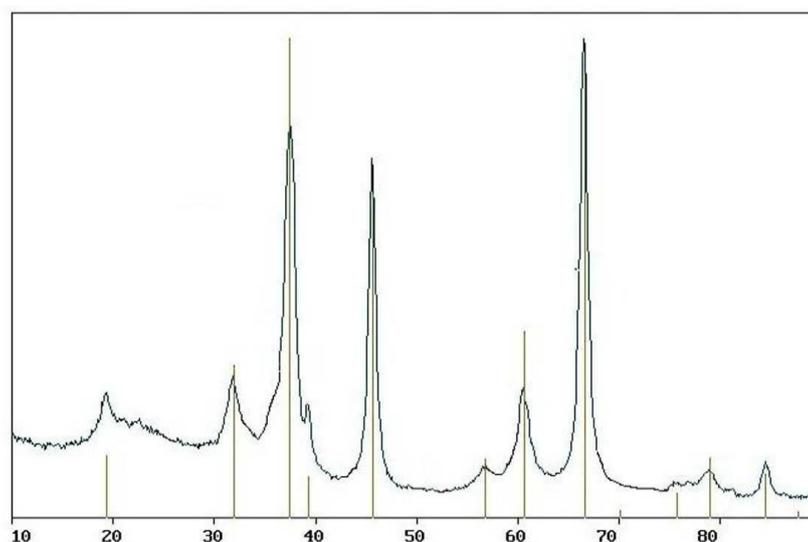


Рисунок 8 - Рентгенограмма AlON , синтез который проводили по «классической» схеме. Наложена штрих-рентгенограмма $\text{Al}_{23}\text{O}_{27}\text{N}_5$.

В данной статье были рассмотрены методы синтеза исходных материалов для производства алюминиевой оксинитридной керамики, которую применяют для изготовления прозрачных броневых пластин. Противовес двух методов получения: карботермального [32; 33] и синтеза совмещенного с реакционным спеканием под давлением, позволяет добиться на производстве расширение технологических процессов. Порошки позволяют использовать все методы получения керамики – спекание без применения давления и формование. Данные технологию позволяют получать керамику для ракетной техники любых сложных форм [27]. Естественно, синтез керамических порошков это лишь начало полномасштабного внедрения прозрачной керамики.

1.4 Основы активированного спекания керамических материалов

Основы теории активированного спекания керамики были оговорены в работе [36]. В первую очередь, говоря об активированном спекании, подразумевается, что спекаемые порошки приводятся в, так называемое активное «состояние». Естественно, что такое состояние характеризуется максимумом свободной энергии, которое может быть связано с формированием частиц порошка в процессе его получения (высокая поверхность, дефектность кристаллического строения и структуры – наличие макро- или микродефектов), либо с изменениями произошедшими в процессе прессования (деформация пластическая или хрупкая, образование напряженного состояния, метастабильных химических соединений в зоне контактов), либо с активацией в процессе спекания (окислительно-восстановительные реакции, действие магнитных, электростатических, звуковых полей, облучений). Активирование керамики всегда связано с повышенной неравновесностью системы, с максимумом свободной энергии, сокращение которой обуславливает интенсификацию в процессе эксперимента, не важно какая она «врожденная» или «приобретенная». Само понятие «активность» пока не имеет четкого определения, т.к. считается, что порошок будет более активным, если усадка спрессованного образца происходит с большей скоростью.

На данный момент разработано множество методов процесса активированного спекания керамики. Во время спекания на образцы влияют не только температура и время спекания, но и физические и химические факторы, благодаря которым достигается активация. Поэтому введена классификация методов активированного спекания.

Существует классификация методов по принципу отношения к механизму переноса массы и осуществляется следующими способами:

1. активация спекания за счет роста процесса объемного течения вещества,

2. активация спекания при поверхностном переносе вещества,

3. активация спекания за счет введения добавок, которые образуют жидкую фазу.

Для первого метода необходимо произвести диффундирование частиц, не изменяя химический состав, чтобы активировать процесс спекания. Когда происходит процесс спекания нестехиометрических соединений, может увеличиваться степень нестехиометрии, которая увеличивает коэффициент объемной самодиффузии. Возможен другой способ роста уплотнения частиц в процессе спекания, добавляются активные порошки, за счет которых перенос массы усиливается за счет большого количества неравновесных дефектов. Чтобы добиться высокой плотности дислокаций, то есть провести активирование порошка необходимо его деформировать, размолоть в шаровой мельнице. Но процесс активации сможет влиять на плотность дислокаций только небольших температурах, а при высоких температурах его влияние будет ослабевать, из-за термической неустойчивости. Чтобы усилить эффект переноса массы в поверхности в процессе спекания, нужно увеличить давление пара металла, а значение коэффициента самодиффузии довести до эффективного значения. Для этого проводятся реакции окислительно-восстановительного плана, желательно циклические с добавлением активных газов, которые способны образовывать с металлами легко-испаряемые соединения. Вначале, в поверхностном слое образуется слой металла, у которого искажена кристаллическая решетка. Поверхностная диффузия распространяется не только по поверхности, путем перемещения атомов, но и в приповерхностном слое, для реальных кристаллов. В системах находящихся в равновесном состоянии толщина диффундированного слоя составляет примерно 10^{-9} м. Когда идет окислительно-восстановительный процесс, слой способен увеличиться до 10^{-7} м и более, что способствует росту перемещения массы в поверхностном слое.

Процессы спекания высокотемпературных тугоплавких соединений с примесями, которые образуют жидкую фазу. При введении этих добавок процесс идет гораздо быстрее, когда уменьшается краевой угол смачивания материала жидкой фазы. Как в случае тугоплавких соединений, так и в случае спекания металла с добавками образующих жидкую фазу, спекания происходит с присутствием жидкой фазы, которая, как исчезает (металлокерамические бронзы), так и остается до конца спекания (металлокерамические твердые сплавы).

Общая классификация методов активированного спекания.
Физические методы активации.

1. Спекание в ультразвуковом, магнитном и электрическом полях.

2. Спекание в условиях механических напряжений:

- спекание под действием внешних напряжений;
- спекание механически деформированных образцов.

3. Циклическое спекание.

4. Спекание облученных образцов.

Химические методы активации.

Активация активаторами, которые остаются в спеченных изделиях:

- реакционное спекание;
- спекание с добавками, которые химически не реагируют с основным металлом;
- влияние предварительного окисления на спекание.

2. Активация активаторами, которые не остаются в спеченных изделиях:

- спекание в среде, содержащей реакционно-активные газы (используются легко испаряемые галогениды);
- спекание металлических порошков с реактивными поверхностями;
- циклическое окисление – восстановление;
- диссоциация гидридов.

3. Активация процесса спекания в присутствии жидкой фазы.
4. Активация нарушением стехиометрического состава.

2 Экспериментальная часть

2.1 Объекты и методы исследования

2.1.1 Исходные порошки

При выполнении данной работы использовали промышленные нанокристаллические оксидные порошки (НП) составов 95% ZrO_2 – 5% Y_2O_3 , 80% Al_2O_3 – 19% ZrO_2 – 1% Y_2O_3 , Al_2O_3 – ZrO_2 – Y_2O_3 , которые были получены плазмохимическим синтезом порошков марки УДПО ВТУ 4-25-90.

Одним из простых способов получения оксидных нанопорошков плазмохимическим синтезом является подача в сопло плазмотрона, который генерирует плазму воздуха, водных растворов нитратов металлов алюминия, циркония и иттрия. При этом возникали очень высокие градиенты температур в каплях раствора. Процесс синтеза и кристаллизации оксида или смеси оксидов происходит очень быстро, с одновременным испарением воды через сферическую корку, которая кристаллизуется, с поверхности капли. Поэтому частицы порошков получаемые данным методом имеют форму полых сфер. В зависимости от давления подачи раствора через форсунку меняется размер сфер, который равен в пределах от 100 до 1000 нм, размер кристаллов, которые образуют сферу равен 50 – 100 нм. При ПХС было выяснено, что твердые растворы диоксида циркония имеет высокую гомогенность, а плазмохимические порошки оксида алюминия обладают почти 100%-ой аморфизацией [6]. Недостатком порошков, получаемых методом ПХС является характерная сферическая форма частиц, вследствие этого порошки имеют низкие технологические свойства.

Также в работе использовались порошки: нитрида бора, нитрида алюминия (ИСМАН, г. Черноголовка), и субмикронный порошок оксида алюминия марки ЦМ – 332, который содержит 1% добавку оксида магния.

На установке ЭВП в Томском политехническом университете получали электровзрывной нанопорошок алюминия, используя его для получения порошка оксинитрида алюминия. Среднеповерхностный диаметр частиц указанного НП ($d_{cp}=6/\rho S_{уд}$, где ρ – плотность, г/см³, $S_{уд}$ – площадь удельной поверхности порошка, м²/г), определенная с помощью газовой адсорбции БЭТ, не превышал 140 нм. В работе [9] описан способ получения электровзрывных нанопорошков, и их свойства. Спеки, полученные сжиганием нанопорошка Al, для получения оксинитрида алюминия, активировали в энергонапряженной планетарной мельнице «Активатор 2SL», в течение 20 мин, при частоте вращения помольных стаканов 20 гц, соотношение массы шаров к массе порошка 3:1. Далее порошки пластифицировали водным раствором карбооксиметилцеллюлозы (КМЦ) из расчета 5% КМЦ и 95% порошка по массе. Пластифицированные смеси порошков сушили в течение 2 ч при температуре 40°C.



Рисунок 9 - Планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL »

Для получения порошка диоксида кремния кварцевое стекло дробили и мололи в планетарной мельнице. Использовали фракцию с размером

частиц <40 мкм. SiO₂ добавляли в порошок AlN с целью реализации механизма жидкофазного спекания.

Из исходных порошков готовили порошковые смеси составов, указанных в таблице 5.

Таблица 5 – Составы порошковых смесей.

№	Содержание, мас. %
1	95%ZrO ₂ – 5%Y ₂ O ₃
2	80%Al ₂ O ₃ – 19%ZrO ₂ – 1%Y ₂ O ₃
3	50%Al ₂ O ₃ – 50%AlN
4	50% AlN – 50%SiO ₂
5	50%AlN – 50%BN
6	90%SiO ₂ – 10%BN
7	50%SiO ₂ – 50%BN
8	90%Al ₂ O ₃ – 10%BN

Оксидные порошки отжигали в атмосфере воздуха в высокотемпературной печи сопротивления при 1450°C в течение одного часа для перевода γ -Al₂O₃ в α -Al₂O₃.

2.1.2 Оборудование

Чтобы получить более высокие значения технологических параметров порошки активировали в планетарной мельнице «Активатор 2SL». Время обработки составляло 20 минут, при частоте вращения помольных стаканов 20 Гц, соотношение массы шаров к массе порошка 3:1. В пограничных областях частиц наблюдалась пластическая деформация в результате обработки в планетарной мельнице. В работе [10-12] описано, что релаксация возникающих напряжения происходит при выделении тепловой энергии, Релаксация возникающих напряжений может происходить путем выделения тепла, возбуждение химических реакций в твердой фазе. Также наблюдается возникновение новой поверхности и появление дефектов в кристаллах. В процессе происходит переход от релаксации с выделением тепла к релаксации разрушения, диспергирования и пластической деформации, т.к.

увеличивается мощность механического импульса и длительность процесса. Возможно появление аморфных структур различной природы. Местом для релаксации напряжения может быть: химическая реакция, проходящая под разными механизмами, возбуждением или разрыв связи, которые часто происходят в трещинах или в локальном тепловом разогреве. Для увеличения пластичности вводят пластификатор, в данном случае им являлся раствор карбооксиметиллюлозы (КМЦ). Соотношение пластификатора к порошка составляло 5% КМЦ – 95% порошка. Далее полученные смеси высушивали и проводили формование методом одноосного прессования в стальной пресс-форме. Давление прессования составов № 2, 3, составляло 400 МПа, давление прессования составов 1, 4, 5, 6, 7, 8 составляло 100, 200, 300, 400, 500 МПа (Нумерация составов из таблицы 1). Полученные прессовки составов представляли собой цилиндры диаметром $10\pm 0,03$ мм и высотой $10\pm 0,03$ мм.

Спекание прессовок проводили в высокотемпературной печи сопротивления по режиму: скорость нагрева – 10 град/мин, температура и время изотермической выдержки – 1700°C и 1 ч, охлаждение с печью. Порошок состава 3 консолидировали методом ИПС в установке SPS-515S «Sumitomo». Режим спекания указан в таблице 6.

Таблица 6 - Режим искрового плазменного спекания.

Давление прессования, МПа	Время изотермической выдержки, мин	Температура спекания, °С
40	5	1400

Одним из самых эффективных методов консолидации керамических порошков является метод искрового плазменного спекания (ИПС) [13-16]. Методом ИПС можно получить керамику с высокими механическими характеристиками при их спекании, по сравнению с традиционными методами консолидации керамики. Также керамика полученная методом ИПС спекается за меньшее время и при меньшей температуре, что позволяет сэкономить электроэнергию. При ИПС порошок нагревается с помощью

электрического тока, который проходит через графитовую пресс-форму и порошок находящийся в ней. Электрический ток пускает импульсы периодического характера с энергией 100 кДж, периодом 3 – 300 мс и частотой 50 Гц. При протекании тока происходит образование контактов между частицами, увеличение их площади и пластического течения материала под действием внешнего давления. Также во время процесса ИПС на границах частиц образуется плазменный разряд, благодаря которому происходит перенос вещества в плазме [17].

Спеченные в условиях ИПС образцы представляли собой цилиндры диаметром $15,0 \pm 0,1$ мм и высотой $2,0 \pm 0,2$ мм.

Плотность спеченных образцов ρ определяли путем измерения высоты и диаметра и взвешиванием. Рассчитывали также относительную плотность образцов Θ в соответствии с выражением:

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

где ρ_T – теоретическая плотность керамики.

Образцы полировали алмазными пастами, полученные микрошлифы исследовали с помощью микроскопического комплекса «Лабомет-М».

Измерение модуля нормальной упругости и нанотвердости осуществляли с помощью устройства Nano Indenter G 200, изображенный на рисунке 10. Индентером являлась пирамида Берковича, с величиной нагружения 500 мН или 50 г. Особенностью данного прибора является вывод диаграммы внедрения индентора в тело образца в режиме реального времени. Данными диаграммы являются нагрузка и глубина внедрения пирамиды. Из данных диаграммы прибор автоматически рассчитывает модуль упругости E_{IT} и нанотвердость H_{IT} по стандарту ISO 14577.

На рисунке 11 изображен график нагружения в процессе внедрения пирамиды Берковича в тело образца. Эта диаграмма рассчитывается в онлайн режиме в процессе индентирования. Из диаграммы можно получить: наибольшую нагрузку (пиковую) и глубину внедрения пирамиды P_{max} и h_{max} ,

остаточную глубину разгрузки h_f , и тангенс угла наклона кривой разгрузки $S = dP/dh$, который описывает упругую жесткость контакта.



Рисунок 10 - Nano Indenter G200

Ниже приведена формула расчета твердости исследуемой поверхности, если индентором выступает пирамида Берковича:

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

где P - величина которая прилагается в поверхности в процессе проведения испытания, H , A – площадь отпечатка под нагрузкой, A – площадь отпечатка под нагрузкой, мм^2 , h_{\max} – глубина внедрения индентора, мм .

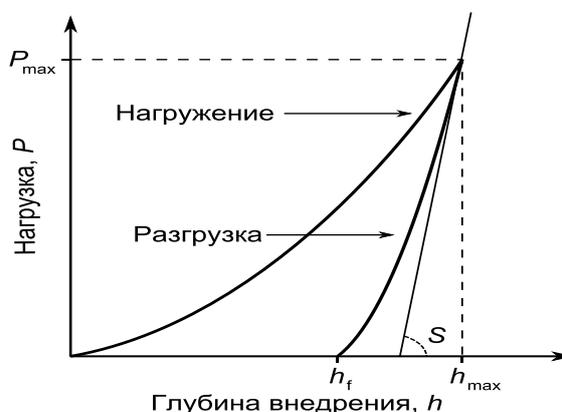


Рисунок 11 – Кривая нагружения, получаемая в процессе индентирования

Модуль нормальной упругости нагружаемого образца E определяется из приведенного модуля E_r и рассчитывается по приведенной ниже формуле:

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

В данной формуле β является константой, ее величина зависит от применяемого индентора. Для осесимметричного индентора $\beta=1$, для пирамиды Виккерса $\beta=1,012$, для пирамиды Берковича $\beta=1,034$. Окончательная формула для расчета модуля упругости приведена ниже:

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

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

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

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 исследования

В таблице 7 приведены значения плотности прессовок, теоретической плотности смесей и относительной плотности образцов, спрессованных под давлением 400 МПа. Все образцы после прессования имели правильную цилиндрическую форму, без расслоя и осыпания кромок.

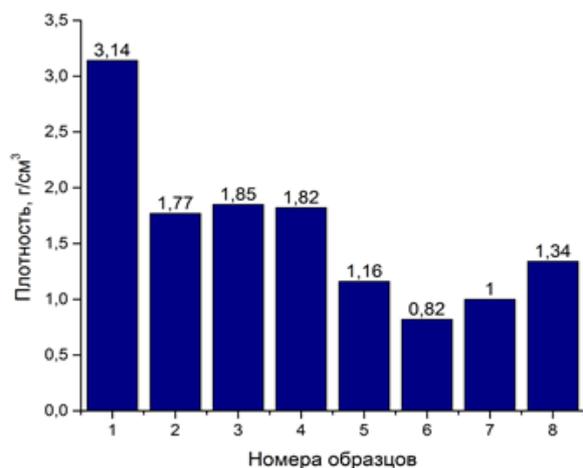
Таблица 7 – Плотность прессовок

№	Состав, мас. %	$\rho_{\text{пр}}$, г/см ³	$\rho_{\text{т}}$, г/см ³	$\Theta_{\text{пр}}$, %
1	95%ZrO ₂ – 5%Y ₂ O ₃	3,14	6,1	62,7
2	80%Al ₂ O ₃ – 19%ZrO ₂ – 1%Y ₂ O ₃	1,77	4,25	41,8
3	50%Al ₂ O ₃ – 50%AlN	1,85	3,61	51,2
4	50%AlN – 50%SiO ₂	1,82	2,9	62,7
5	50% Al ₂ O ₃ – 50%BN	1,16	2,8	41,4
6	90%SiO ₂ – 10%BN	0,82	2,2	37,2
7	50%SiO ₂ – 50%BN	1	2,38	42
8	90%Al ₂ O ₃ – 10%BN	1,34	3,66	58,7

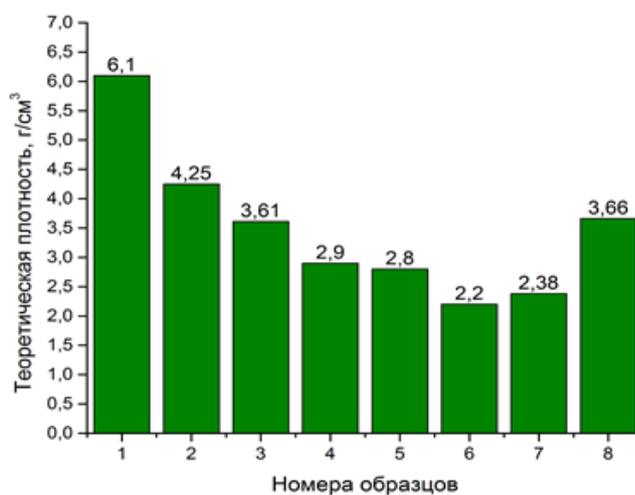
Следует отметить, что наилучшей прессуемостью обладают образцы под номерами 1, 4, 8. Обратный эффект наблюдается у образцов 5, 6, 7 ввиду наличия в них нитрида бора. Нитрид бора легколетучий порошок и малое значение плотности объясняется высокой усадкой порошка при прессовании.

Для наглядности в рисунке 12 приведены значения практической плотности после прессования, теоретической плотности смесей и относительная плотность образцов. Номера образцов соответствует номерам образцов из таблицы 7.

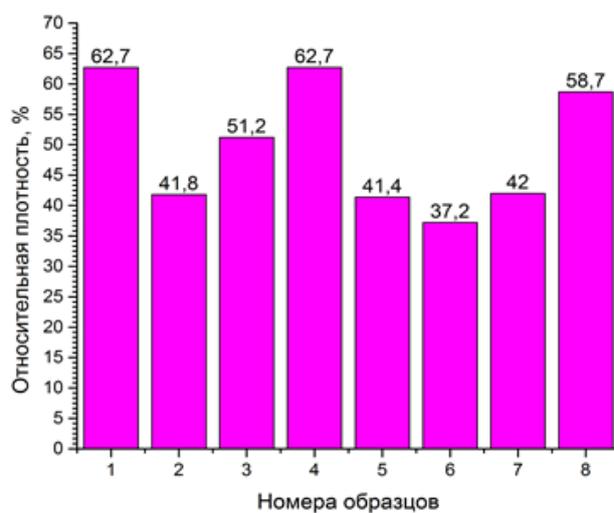
В таблице 8 приведены относительные плотности спеченных образцов, при различных давлениях прессования: 100, 200, 300, 400, 500 Мпа. Все образцы спрессовались и представляли собой цилиндры. Из значений относительной плотности из таблицы 8 можно сделать вывод, что прессование всех образцов прошло успешно.



а)



б)



в)

Рисунок 12 – Диаграммы плотности образцов после прессования:
 а) практическая плотность, б) теоретическая плотность, относительная
 ПЛОТНОСТЬ

Таблица 8 - Относительная плотность образцов после прессования

№	Состав смеси	Давление прессования, МПа				
		100	200	300	400	500
1)	95%ZrO ₂ – 5%Y ₂ O ₃	55,8	63,4	61,3	62,7	61,7
2)	80%Al ₂ O ₃ – 19%ZrO ₂ – 1%Y ₂ O ₃	14,6	23,2	27,9	30,1	33,4
4)	50%AlN – 50%SiO ₂	42,6	46,7	48,8	51,3	50,5
5)	50% Al ₂ O ₃ – 50%BN	36	40	41,4	41,4	42,8
6)	90%SiO ₂ – 10%BN	34,5	36,3	38	37,2	38,6
7)	50%SiO ₂ – 50%BN	36,9	38,6	42	42	42,8
8)	90%Al ₂ O ₃ – 10%BN	49,1	53,5	64,9	58,7	57

На рисунке 13 представлен график зависимости относительной плотности спрессованных образцов от давления прессования для наглядного представления. Все графики, кроме графика образца 8, представляют собой почти прямые линии. Поэтому можно сделать вывод, что относительная плотность напрямую зависит от давления прессования. Изменчивость при давлении прессования в 300 МПа графики образца 8, может служить человеческий фактор, неоднородность подготовленной керамической смеси, несовершенство оборудования.

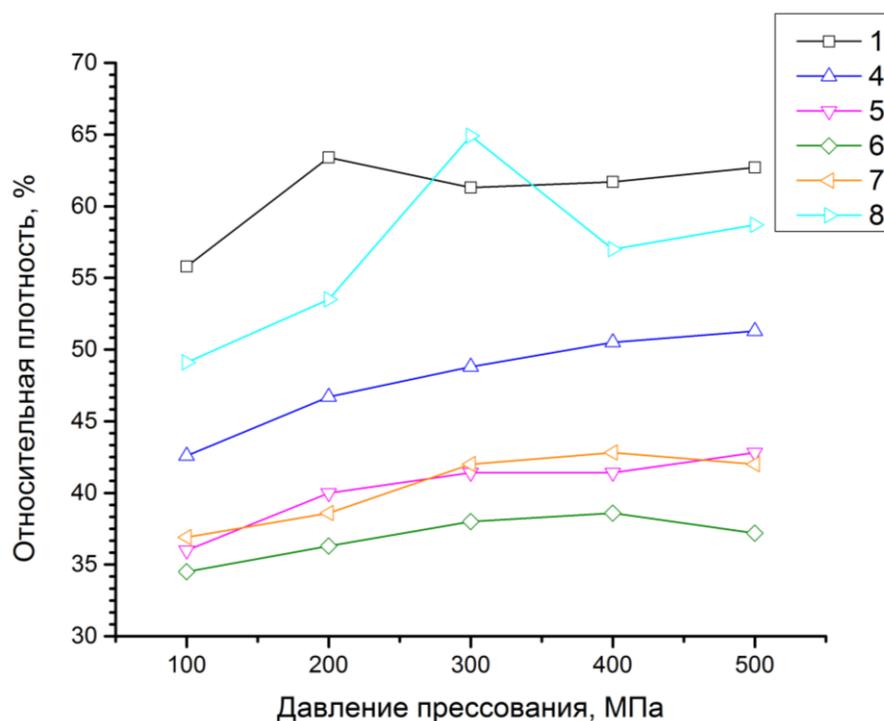


Рисунок 13 – Относительная плотность прессовок при различных давлениях прессования

Спекание образцов 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 проводили высокотемпературной печи сопротивления при температуре 1700°C, а спекание образца 3 проводили методом искрового плазменного спекания в установке SPS-515S «Sumitomo», режим спекания указан в таблице 6.

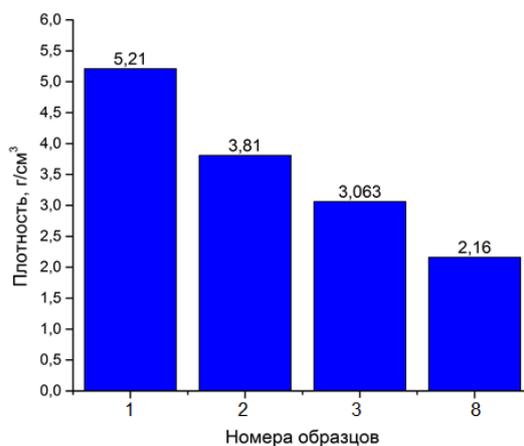
В таблице 9 приведены практическая плотность, теоретическая плотность и относительная плотность спеченных образцов керамики при давлении прессования 400 МПа, кроме образца 3 его консолидировали методом ИПС. Образец 4 после спекания имел бочкообразную форму с высокой пористостью, что сделало невозможным их дальнейшее исследование. Образцы 5, 6, 7 разрушились под действием высокой температуры. Возможно это обусловлено наличием в данных образцах нитрида бора, легколетучего порошка, которой лучше спекать в вакууме или в газовой атмосфере, чем на воздухе. По результатам из таблицы 9 можно сказать, что относительная плотность образцов 1, 2 и 8 после спекания повысилась и сделать вывод, что оно прошло успешно. Консолидация образца 3 в установке SPS-515S «Sumitomo» также прошла успешно, что подтверждает повышения относительной плотности образца после спекания.

Таблица 9 – Плотность спеченных образцов

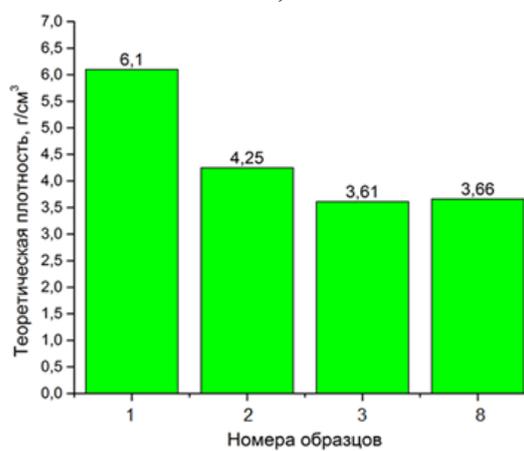
№	Состав, мас. %	ρ , г/см ³	ρ_T , г/см ³	Θ , %
1	95%ZrO ₂ – 5%Y ₂ O ₃	5,21	6,1	85,41
2	80%Al ₂ O ₃ – 19%ZrO ₂ – 1%Y ₂ O ₃	3,81	4,25	89,4
3	50%Al ₂ O ₃ – 50%AlN	3,063	3,61	84,8
4	50%AlN – 50%SiO ₂	-	2,9	-
5	50% Al ₂ O ₃ – 50%BN	-	2,8	-
6	90%SiO ₂ – 10%BN	-	2,2	-
7	50%SiO ₂ – 50%BN	-	2,38	-
8	90%Al ₂ O ₃ – 10%BN	2,16	3,66	59,01

На рисунке 14 представлены диаграммы плотности спеченных образцов: практической, теоретической и относительной плотности. Из

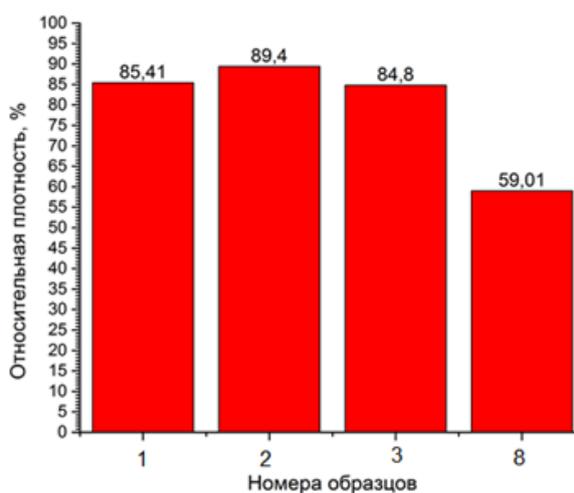
диаграмм видно, что наилучшими показателями обладал образец керамики №1. Также высокими показателями практической плотности обладают образцы под номерами 2 и 3.



а)



б)



в)

Рисунок 14 – Диаграммы плотности спеченных образцов: а) практическая плотность, б) теоретическая плотность, относительная плотность.

В таблице 10 приведены данные относительных плотностей образцов спеченных в высокотемпературной печи в зависимости от давления прессования. Для образца 1, начиная со давления в 200 МПа, значение относительной плотности не растет больше, чем на 1%, следовательно самым оптимальным давлением прессования является 200 МПа. Образец 8 имеет небольшую разность показателей относительной плотности при различном давлении прессования.

Таблица 10 - Относительные плотности спеченных образцов

№	Состав смеси	Давление прессования, МПа				
		100	200	300	400	500
1)	95%ZrO ₂ – 5%Y ₂ O ₃	82,95	86,39	85,74	85,9	85,41
8)	90%Al ₂ O ₃ – 10%BN	81,17	85,5	91,17	88,65	89,91

На рисунке 15 представлены графики зависимости относительной плотности спеченных образцов при различных давлениях прессования. График образца 1 имеет наибольший ровный участок, что свидетельствует о том, что прессование можно производить при давлении в 200 МПа, что значительно снижает затраты на производство керамики данного состава. Показатели относительной плотности образца 8 имеют более широкий интервал значений, чем у образца 1. Самым оптимальным давлением прессования является 400 МПа.

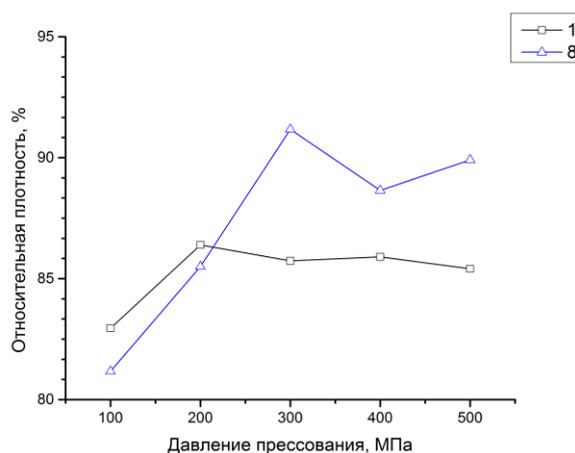


Рисунок 15 – Относительная плотность спеченных образцов

В таблице 11 и рисунке 16 приведено сравнение результатов относительных плотностей спрессованных и спеченных образцов в зависимости от давления прессования. После спекания относительная плотность повысилась у образцов 1 и 8 примерно в 1,5 раза, что подтверждает, что спекание прошло успешно.

Таблица 11 - Сравнение относительных плотностей образцов после прессования и после спекания.

№	Состав смеси	Давление прессования, МПа				
		100	200	300	400	500
1)	95%ZrO ₂ – 5%Y ₂ O ₃	82,95	86,39	85,74	85,9	85,41
8)	90%Al ₂ O ₃ – 10%BN	81,17	85,5	91,17	88,65	89,91
1)	95%ZrO ₂ – 5%Y ₂ O ₃	55,8	63,4	61,3	61,7	62,7
8)	90%Al ₂ O ₃ – 10%BN	49,1	53,5	64,9	57	58,7

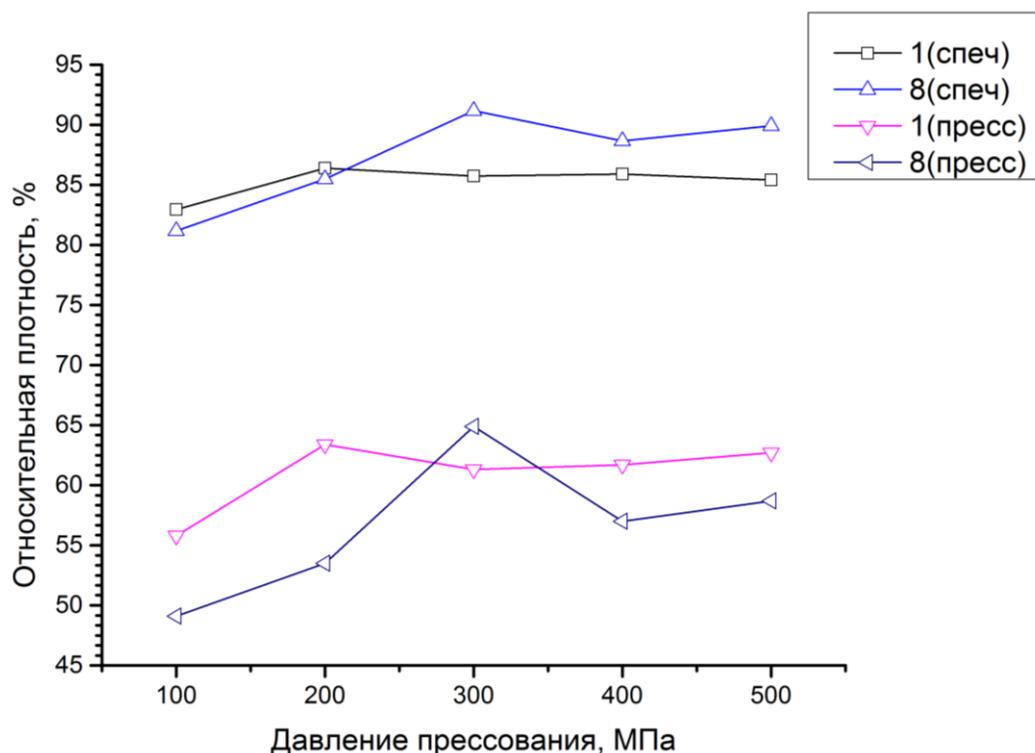
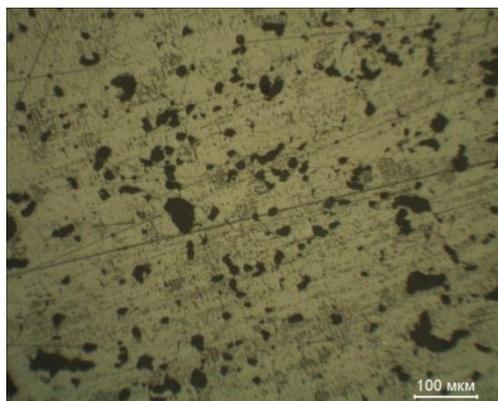
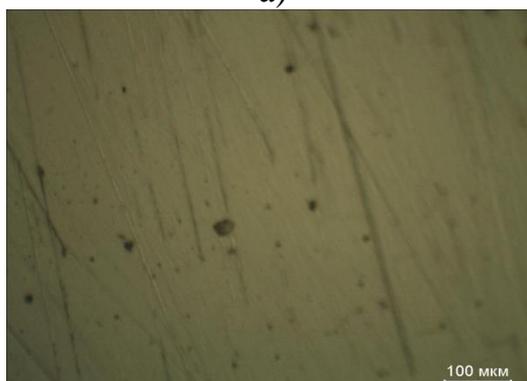


Рисунок 16 – Сравнение относительной плотности образцов

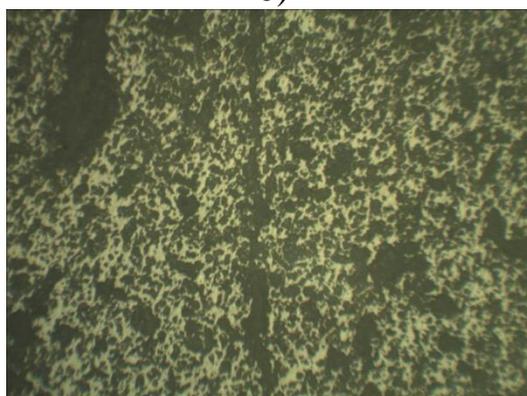
На рисунке 17 приведены фотографии микроструктуры спеченных образцов. Обращает на себя внимания значительная остаточная пористость образца 8 (90%Al₂O₃ – 10%BN).



а)



б)



в)

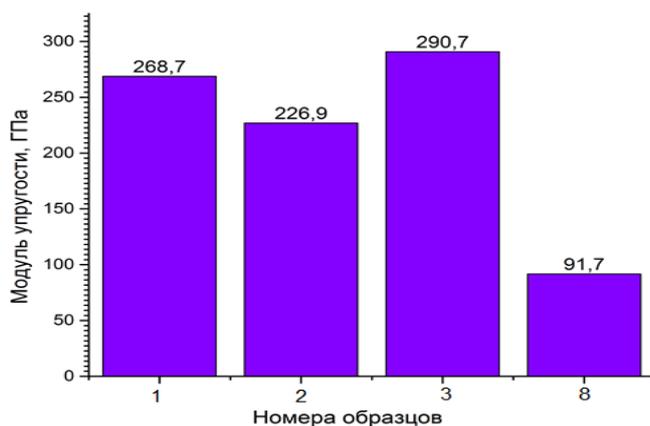
Рисунок 17 – Фотографии микроструктуры спеченных образцов:
а) $95\%ZrO_2 - 5\%Y_2O_3$, б) $80\%Al_2O_3 - 19\%ZrO_2 - 1\%Y_2O_3$, в) $90\%Al_2O_3 - 10\%BN$

Следующим шагом в исследовании было наноиндентирование, для этого подготовили микрошлифы образцов. Наноиндентирование проводилось на приборе Nano Indenter G200. Было проведено по 4 укола каждого образца, с шагом 50 нм. В таблице 12 приведены результаты индентирования.

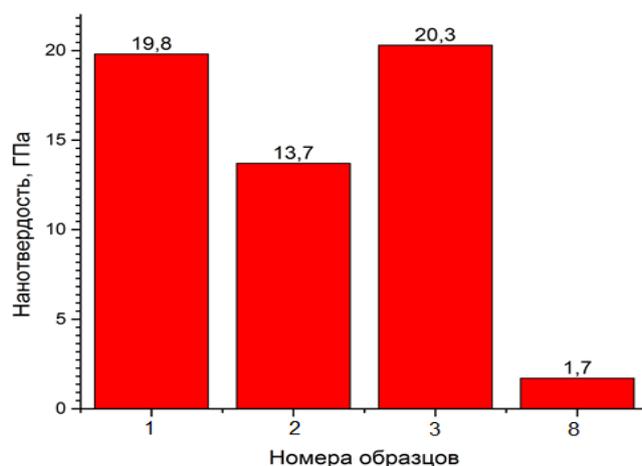
В таблице 12 и рисунке 18 приведены результаты наноиндентирования образцов 1, 2, 3 и 8. У образца 8 очень низкие показатели модуля упругости и нанотвердости. Следствием этого факта является наличие нитрида бора, который желательно спекать в газовой атмосфере или вакууме. Результаты образцов 1, 2, 3 нельзя назвать отличными, но их можно оценивать, как выше среднего.

Таблица 12 – Наноиндентирование спеченных образцов керамики

№	Состав смеси	E_{IT} , МПа	H_{IT} , МПа
1	95% ZrO_2 – 5% Y_2O_3	268738	19802
2	80% Al_2O_3 – 19% ZrO_2 – 1% Y_2O_3	226890	13708
3	50% Al_2O_3 – 50% AlN	290663	20269
8	90% Al_2O_3 – 10% BN	91668	1652



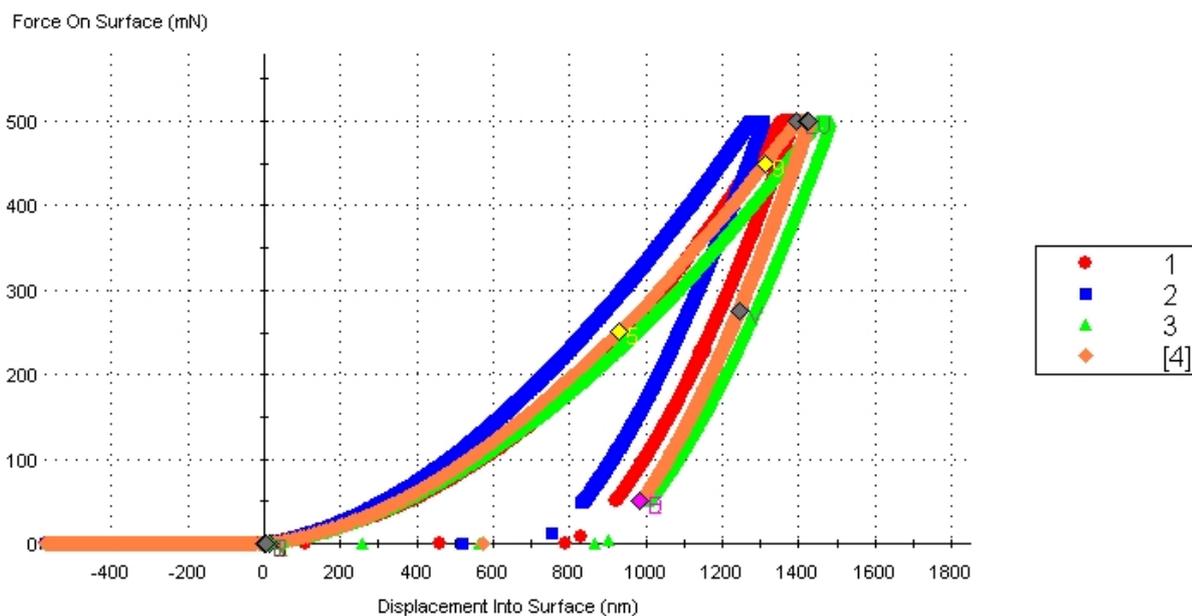
а)



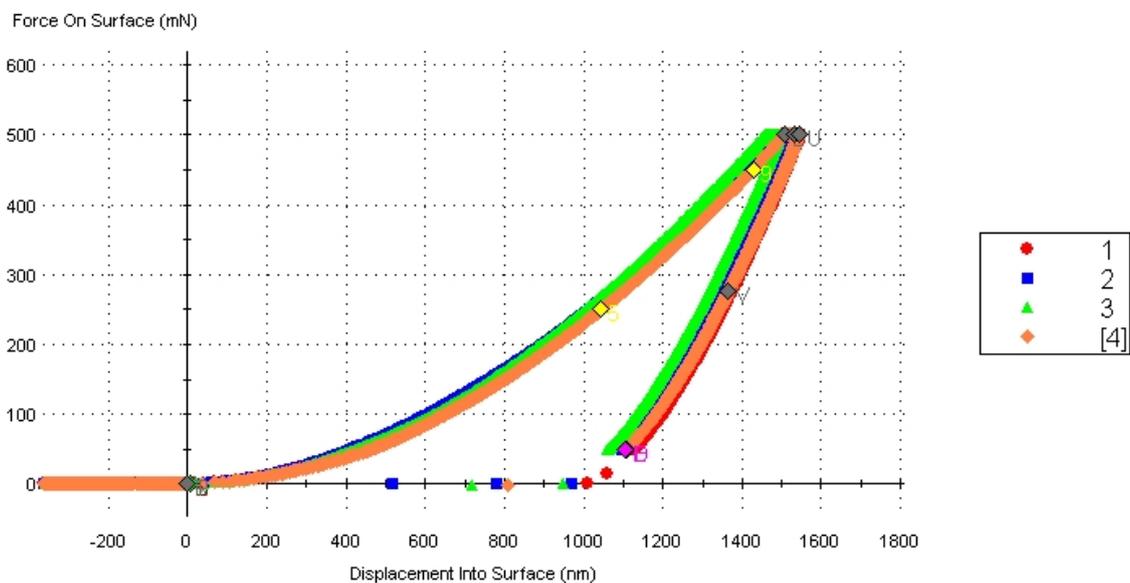
б)

Рисунок 18 – Диаграммы результатов измерений на приборе Nano Indenter G200, а) Модуль упругости, б) Нанотвердость

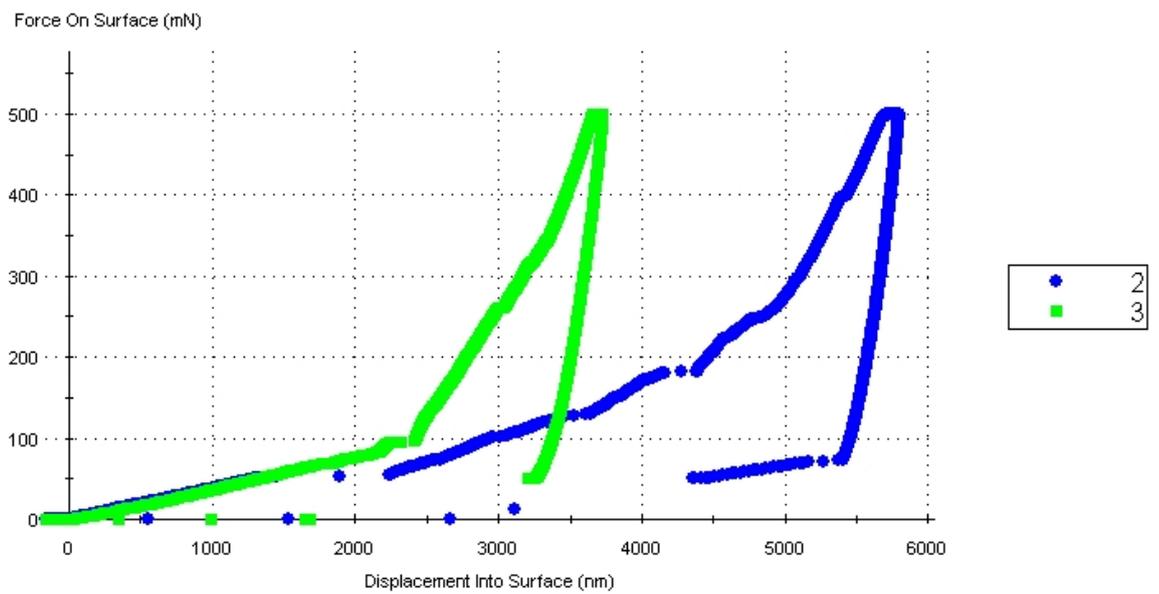
На рисунке 19 приведены кривые нагружения спеченных образцов при проведении nanoindentирования. Образец $95\%ZrO_2 - 5\%Y_2O_3$ имеет достаточно однородную структуры, так как из рисунка 19 а) видно, что разброс кривых невелик. Образец $80\%Al_2O_3 - 19\%ZrO_2 - 1\%Y_2O_3$ обладает лучшей однородностью, потому что все кривые нагружения имеют малый разброс. У образца $90\%Al_2O_3 - 10\%BN$ было выполнено всего два отпечатка микрошлифа, т.к. образец имеет высокопористую структуру и не может применяться, как высокопрочный материал.



a)



б)



В)

Рисунок 19 – Кривые нагружения спеченных образцов при
наноиндентировании, а) Образец $95\%ZrO_2 - 5\%Y_2O_3$, б) Образец $80\%Al_2O_3 - 19\%ZrO_2 - 1\%Y_2O_3$, в) Образец $90\%Al_2O_3 - 10\%BN$

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

Студенту:

Группа	ФИО
4Б31	Лисица Артём Александрович

Институт	Физики Высоких Технологий	Кафедра	Материаловедения в машиностроении
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Материаловедение и технологии материалов

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Материально-технические ресурсы: компьютер (40000р); энергетические ресурсы: электрическая энергия (1048,5р); информационные ресурсы: научные журналы, монографии, учебники и статьи по теме исследований; человеческие ресурсы: студент (инженер-дипломник), научный руководитель (1 человек).
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Научно-исследовательская работа ранее не проводилась, поэтому нормы и нормативы расходования ресурсов отсутствуют
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Согласно п.3 п.п.16 ст. 149 НК РФ данная НИР не подлежит налогообложению. На основании п. 1 ст. 58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году вводится пониженная ставка для расчета отчислений во внебюджетные фонды – (20 – 22) % от фонда оплаты труда.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Данная научно-исследовательская работа финансируется за счет средств государственного бюджета и по характеру получаемых результатов относится к поисковым работам. Результаты данных работ, как правило, не заканчиваются созданием и промышленным внедрением новых видов материалов и средств изготовления продукции. Они лишь выясняют технические, организационные и экономические возможности их получения. При положительных результатах выводы поисковых работ могут быть
---	---

	использованы в научно-исследовательских работах прикладного характера. По поисковым НИР, которые не заканчиваются достижением положительных результатов, определяется лишь сумма производственных затрат и капитальных вложений на их выполнение.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Согласно расчетам бюджет затрат на проведение НИР составляет 306807,26., включая затраты на заработную плату (135232р.), страховые отчисления (45437,96р.), электроэнергию (1048,5р.), и прочие накладные расходы (121708,8 р.).
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	По результатам НИР были выполнены поставленные задачи. Однако, поскольку данная НИР относится к поисковым работам, то оценивать её эффективность преждевременно. Эффективность может быть определена только после проведения прикладных исследований, результатом которых будет получение конечного продукта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Меньшикова Е. В.	К. ф. н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б31	Лисица А.А.		

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Предпроектный анализ

Потенциальные потребители результатов исследования

В настоящее время на кафедре ММС, ИФВТ НИ ТПУ исследуются различные методы создания функциональной керамики на основе оксинитридов алюминия и кремния (механическая активация, одноосное прессование применение искрового плазменного спекания), структура и физико-механические свойства керамик на основе Al_2O_3 и SiO_2 .

Керамика на основе оксинитридов алюминия и кремния устойчива к высокой температуре и агрессивной среде, является качественным изолятором и экологически чистым материалом. Изделия могут подвергаться механической обработке, на них можно напылять металлы, что расширяет область применения технической керамики. Преимуществами использования данного материала в технике являются высокие показатели твердости, износостойкости. Однако керамика является хрупким материалом, ее применению зачастую препятствуют сложность формирования однородной бездефектной структуры, низкое сопротивление распространению трещин. Поэтому для достижения высоких физико-механических свойств керамики необходим поиск новых технологических решений и подходов к выбору исходных материалов и разработка эффективных методов формования процесса спекания.

В результате выполнения научно-исследовательской работы были разработаны эффективные методы получения высокопрочной керамики из Al_2O_3 . Данная технология может эффективно использоваться для создания огнеупоров на основе этих керамических материалов.

Благодаря возможности работать при высоких температурах, изделия из материалов на основе Al_2O_3 и SiO_2 могут использоваться в качестве футеровочных плит, облицовки рабочих камер печей, и другого

оборудования, где необходимо снижение температуры для нормальной работы оборудования.

За многолетнюю практику работы человека с печами предназначенными для высокотемпературного нагрева различных материалов, выработались основные требования к материалам облицовки рабочих камер печей. Прежде всего облицовочный материал должен выдерживать температуру рабочей камеры при работе печи. Во – вторых эффективно отводить тепло. В третьих – иметь достаточную прочность, т.к. материал хорошо отводящий тепло имеет более высокопористую структуру по сравнению с обычными материалами.

Возможность использования керамик на основе оксидов алюминия и кремния в облицовке печей весьма перспективно. В связи с этим можно выделить несколько предприятий, которым будут весьма интересны результаты исследований:

1. Фирма «Термокерамика» – одна из ведущих российских компаний по производству электротермического оборудования, расположенная в Московской области г.Химки – производство печей различного назначения и комплектующих к ним.

2. ОАО «Сибэлектротерм» – завод электротермического оборудования, расположенный в Новосибирске. Главные направления деятельности завода сегодня – разработка, производство, реализация, гарантийное и сервисное обслуживание, модернизация и ремонт различных типов металлургических печей .

3. НПО «Группа компаний машиностроения и приборостроения – предприятие» - расположенное в Москве и Брянске одно из российских предприятий специализирующихся на производстве электротермического оборудования.

Так же является перспективным использование керамических материалов как огнеупоров не только в печах, но и в других областях науки и техники. На территории Российской Федерации достаточно много

предприятий специализирующихся на производстве огнеупоров различных типов. :

1. Богдановичское ОАО "Огнеупоры" – производитель алюмосиликатных, глиноземистых, углеродистых огнеупоров. Предприятие расположено в г.Богдановичи Свердловская область. производит и поставляет различные виды огнеупорных материалов.

2.Группа «Магнезит» — одно из старейших предприятий, расположенных в Москве, других городах России и за рубежом, с более чем 115 – летним опытом работы в области производства огнеупоров.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Традиционно для изготовления облицовки печей используют шамотный, пеношамотный, и другие виды огнеупорных кирпичей. Для удобства классификации и простоты в выборе этого строительного материала, была разработана маркировка, благодаря которой можно сразу определить свойства материала.

Она отражает размеры изделий, температурные свойства и технические характеристики. Наиболее популярные марки шамотного кирпича: ША, ШБ, ШАК, ШУС, ШВ, ПВ и ПБ.

В критически важных технических применениях часто ограничены возможности для использования деталей машин, изготовленных из обычных материалов. В целях гарантированного обеспечения продолжительного срока эксплуатации, огнеупоры, в том числе облицовка рабочей камеры печи, должны быть изготовлены из материалов, которые отличаются способностью работать при высоких температурах, отводить тепло и иметь особую прочность изделий.

Ф- Метод одноосного статического прессования и спекания в окислительной атмосфере

К1-Метод литья термопластичных шликеров и последующего спекания

К2-Метод горячего прессования

Таблица 13 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Плотность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
2. Рабочая температура	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
3. Коэффициент теплового расширения	0,1	5	4	4	0,4	0,5	0,4
4. Коррозионная стойкость	0,05	4	5	4	0,25	0,2	0,2
5. Электроизоляционные свойства	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
6. Надежность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
2. Уровень проникновения	0,05	3	5	4	0,15	0,25	0,2
3. Стоимость производства данным методом	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
4. Предполагаемый срок	0,1	3	4	3	0,3	0,4	0,3
5. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
6. Срок выхода на рынок	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
Итого:	1	49	52	47	4,07	4,25	3,85

$$K = \sum V_i B_i, \quad (2)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i-го показателя.

SWOT-анализ

Таблица 14 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Низкая стоимость исходного сырья.</p> <p>С2. Высокий уровень физико и термомеханических свойств продукции.</p> <p>С3. Взаимосвязи НИ ТПУ с потенциальными заказчиками.</p> <p>С4. Экологичность технологии.</p> <p>С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки.</p> <p>Сл2. Не высокие объемы производства</p> <p>Сл3. Риск нарушения правил безопасности и возникновения различных непредвиденных ситуаций.</p> <p>Сл4. Вероятность получения брака.</p> <p>Сл5. Большой срок поставок материала, используемые при проведении научного исследования.</p>
--	---	---

Продолжение таблицы 14

<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование оборудования ИФВТ, НИ ТПУ</p> <p>В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p> <p>В3. Возможность внедрения технологии в производство</p> <p>В4. Участие в грантах</p> <p>В5. Выход на зарубежные рынки</p>	<p>В2С2 - Высокий уровень физико и термомеханических свойств продукции позволит расширить спрос</p> <p>В3С2С4 - Высокий уровень физико и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии являются основанием для внедрения технологии в производство.</p> <p>В4С2С4 - Высокий уровень физико и термомеханических свойств продукции и экологичность</p>	<p>В1Сл4 – Новейшее оборудование, позволит на ранних стадиях исследование, выявить и предотвратить появление брака</p>
---	---	--

	технологии позволит участвовать в грантах B5C1C2 - Низкая стоимость исходного сырья и высокий уровень физико-механических свойств продукции является хорошим основанием для выхода на зарубежные рынки.	
Угрозы: У1. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок У2. Разработка новых технологий конкурентами и снижение цен.	У1C1C2 – Более ускоренные темпы разработки и производства и поиск технологического решения для ускорения технологического процесса.	У1Сл2 - Разработка новых технологий для увеличения объёма производства. У1Сл4 - Введение систем совершенствования производственных процессов, для снижения брака.

Таблица 15 – Интерактивная матрица проекта

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

B2C1C2, B3C2C4, B4C2C4, B5C1C2

Таблица 16 – Интерактивная матрица проекта

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

B1Сл4

Таблица 17 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны и угрозы					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	+	+	-	-

У1C1C2

Таблица 18 – Интерактивная матрица проекта

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

У1Сл2, У1Сл4

Оценка готовности проекта к коммерциализации

Таблица 19 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел.	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела.	4	3

Продолжение таблицы 19

3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке.	4	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок.	3	2
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав.	4	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности.	3	2
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта.	4	4
8.	Разработан бизнес план коммерциализации научной разработки.	3	2
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок.	4	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки.	4	3
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок.	2	1

12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот.	2	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки.	3	2
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки.	3	3
15.	Проработан механизм реализации научного проекта.	3	2
	ИТОГО БАЛЛОВ:	50	41

По полученным данным видно, что степень проработанности научного проекта на уровне выше среднего, что в первую очередь обусловлено достаточно большим научно-исследовательским заданием разработки и возможностями финансирования за счет большой актуальности продукции исследования. Уровень знаний у разработчика находится на среднем уровне.

Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок.

1. Торговля патентными лицензиями.
2. Передача ноу-хау.
3. Инжиниринг.
4. Франчайзинг.
5. Организация собственного предприятия.
6. Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.
7. Организация совместного предприятия.
8. Организация совместных предприятий.

Из всех перечисленных методов коммерциализации, инжиниринг и торговля патентными лицензиями поможет успешному продвижению разрабатываемого проекта.

Инициация проекта

Цели и результат проекта

Таблица 20 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Университет	Отчет о НИР, публикации научных статей
Студент	Защита выпускной бакалаврской работы. Получение высшего образования
Предприятия, занимающиеся изготовлением деталей и механизмов	Сокращение времени на производство. Снижение себестоимости
Потребители	Высокое качество, долговечность продукции
Государство	Возможность импортозамещения

В таблице 20 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 20 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Создание функциональной керамики на основе оксинитридов алюминия и кремния.
Ожидаемые результаты проекта:	Активация процессов спекания за счет введение нанодисперсных добавок, применение механической активации и метода искрового плазменного спекания позволит получить продукцию с повышенными физико-механическими свойствами.
Критерии приемки результата проекта:	В виде отчета с предоставлением графического материала
Требования к результату проекта:	Требование:
	1. Требование к оформлению отчета и графического материала по ГОСТ 7.32-2001 2. Требование к определенному количеству образцов: Получение функциональной оксинитридной керамики с заданными свойствами.

Таблица 21 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Матренин С.В.,	Руководитель	Отвечает за	256

	к.т.н., доцент каф. ММС ИФВТ		реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта.	
2	Лисица А.А., студент НИТПУ	Исполнитель по проекту	Отвечает за выполнение отдельных работ по проекту.	640
ИТОГО:				896

Ограничения и допущения проекта.

Таблица 22 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Бюджет проекта	306807,26 руб
Источник финансирования	НИ ТПУ
Сроки проекта	113 дней
Дата утверждения плана управления проектом	06.02.2017
Дата завершения проекта	21.06.2017
Прочие ограничения и допущения	_____

Планирование управления научно-техническим проектом

Иерархическая структура работ проекта

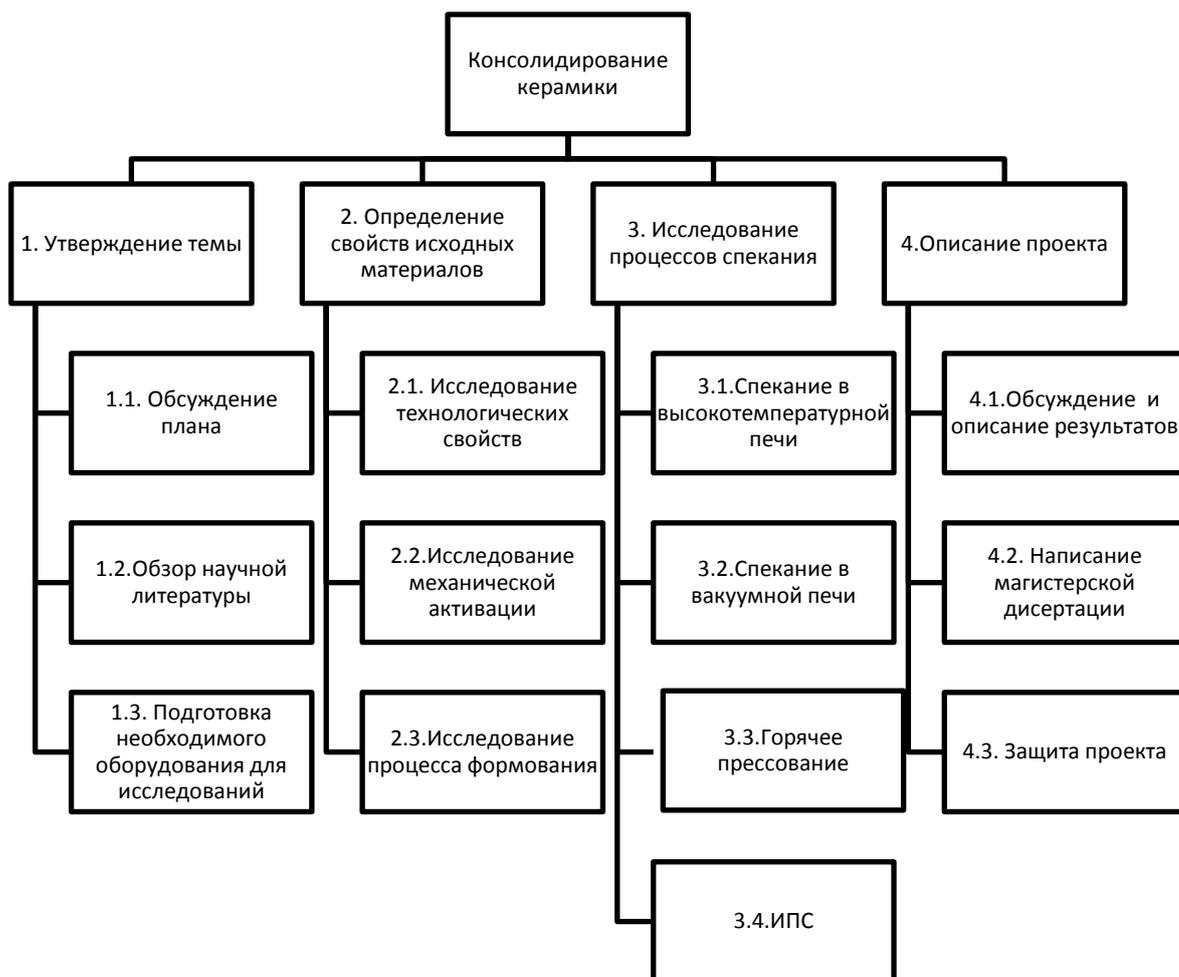


Рисунок 20 – Иерархическая структура работ по проекту

Контрольные события проекта

Таблица 23 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Обсуждение плана проект	06.02.17	Утверждение участников исследования
2	Обзор литературы(сбор необходимой информации)	13.02.17	Отчет по изученной литературе.
3	Проведение механической активации и формование порошков	20.02.17	Получение образцов
4	Исследование полученных образцов	03.03.17	Исследуемые образцы, иллюстрации(графики, картинки)

5	Описание результатов	20.03.17	Отчет
6	Спекание	10.04.2017	Спеченные образцы
7	Исследование полученных образцов	20.04.17	Исследуемые образцы, иллюстрации(графики, картинки)
8	Описание результатов	10.05.17	Отчет
9	Отчет по исследовательской работе	03.06.17	Отчет
10	Защита диплома	19.06.17	ВКР

План проекта

Таблица 24 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, раб. дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1-1.2	Утверждение темы, обсуждение плана и обор научной литературы	2	06.02.17	08.02.17	Матренин С.В. Лисица А.А.
1.3	Подготовка необходимого оборудования для исследований.	3	10.02.17	13.02.17	Лисица А.А.

2-2.2	Определение свойств исходных материалов, исследование технологических свойств и механической активации	8	15.02.17	25.02.17	Лисица А.А.
2.3	Исследование процессов формования	8	01.03.17	13.03.17	Матренин С.В. Лисица А.А.
3,3.1	Исследование процессов спекания, спекание образцов в высокотемпературной печи	3	18.03.17	21.03.17	Лисица А.А.
3.2	Спекание в вакуумной печи и обработка полученных данных	3	25.03.17	28.03.2017	Лисица А.А.
3.3, 3.4	Консолидирование методом горячего прессования и ИПС, обработка полученных данных	5	03.04.17	06.04.17	Лисица А.А.
4	Описание проекта	10	21.04.17	2.05.17	Матренин С.В. Лисица А.А.
4.1	Обсуждение и описание результатов	12	2.05.17	17.05.17	Матренин С.В. Лисица А.А.
4.2,4.3	Написание выпускной бакалаврской работы и защита	26	30.05.17	21.06.17	Лисица А.А.
И т о г о:		80/32			

Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице (табл. 25).

Таблица 25 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	Основная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Накладные расходы	Затраты на электроэнергию	Итого плановая себестоимость
	3380	87959,68	26387,90	167,76	1048,50	118943,84

Таблица 26 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Порошок Al_2O_3	0,1 кг.	2570	257
Порошок Y_2O_3	0,2кг.	1713	343
Порошок AlN	0,1кг.	5000	500
Порошок BN	0,15кг	3428	514
Порошок ZrO_2	0,1кг	2856	286
Порошок SiO_2	0,05кг	1142	57
Алмазные пасты для полировки образцов	4 шт.	73	292
КМЦ	1 пачка	80	80
Канцелярские пакеты	1 уп.	240	240
Канцелярские принадлежности (бумага)	2 пачки	200	400

Канцелярские принадлежности (ручки)	5шт	50	250
Всего за материалы			3219
Транспортно-заготовительные расходы (5%)			161

Амортизационные отчисления

$H_a = (1/T) \cdot 100\%$ – норма амортизации

$A = S \cdot H_a \cdot t$

Таблица 27 – Амортизационные отчисления

Наименование оборудования	Цена ед., (руб.)	Срок службы, Т, дни	Время эксплуатации, t, дни	Амортизационные отчисления, руб
Микроскоп ЛабоМет - И	98000	5475	5	88.2
Камерная вакуумная печь типа СНВЭ	3697000	3650	3	2994.57
Муфельные печи сопротивления ЭКПС (тип СНОЛ)	1760000	5475	3	950.4
Наноиндентор G200	2978000	3650	3	2412.18
Планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL»	400000	3650	5	540
Итого:				7042.61

Заработная плата рабочим рассчитана по тарифным ставкам и отработанному времени

Расчет основной заработной платы.

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (3)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника; T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

$$Z_{\text{осн}} = 1416,64 \cdot 32 = 45332,48 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{осн}} = 532,84 \cdot 80 = 42627,2 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} M) / F_{\text{д}}, \quad (4)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

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. (табл. 4.15).

$$Z_{\text{дн}} = (34190 \cdot 10,4) / 251 = 1416,64 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{дн}} = (12860 \cdot 10,4) / 251 = 532,84 \text{ руб.}$$

Таблица 28 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер-технолог
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) k_{\text{р}}, \quad (5)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, (определяется положением об оплате труда); $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда); $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 29 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _б ,руб	k _{пр}	k _д	k _р	З _м , руб	З _{дн} ,руб	T _р	З _{осн} , руб
Научный руководитель	26300	-	-	1,3	34190	1416,64	32	45332,48
Инженер-технолог	9893	-	-	1,3	12860,9	532,84	80	42627,2

В таблице 30 приведена форма расчёта основной заработной платы.

Таблица 30 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Научный руководитель	Инженер-технолог
Основная зарплата	45332,48	42627,2
Итого по статье С _{зп}	26387,90	

Отчисления на социальные нужды. Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (6)$$

где $K_{\text{внеб}}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 87959,68 = 26387,90 \text{ руб.}$$

Накладные расходы.

$$C_{\text{накл}} = 0,16 \cdot \mathcal{E}_{\text{об}}$$

$$C_{\text{накл}} = 0,16 \cdot 1048,5 = 167,76 \text{ руб.} \quad (7)$$

Расчет затрат на электроэнергию. Затраты 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:

$$\mathcal{E}_{\text{об}} = P_{\text{об}} \cdot \text{Ц}_э \cdot t_{\text{об}}, \quad (8)$$

где $\mathcal{E}_{об}$ – затраты на электроэнергию потребляемую оборудованием, руб.; $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $\mathcal{C}_э$ – тарифная цена за 1кВт·час, $\mathcal{C}_э = 5,80$ руб.; $t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{уст. об} \cdot K_c, \quad (9)$$

где $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт; $P_{уст. об}$ – установленная мощность оборудования, кВт; K_c – коэффициент спроса, зависит от количества загрузки групп электроприемников, для технологического оборудования малой мощности, $K_c = 1$

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 31.

Таблица 31 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования, час, $t_{об}$	Потребляемая мощность, $P_{об}$, кВт	Затраты, $\mathcal{E}_{об}$, руб.
Микроскоп ЛабoМет - И	8	0.22	10,20
Камерная вакуумная печь типа СНВЭ	20	4,4	510,4
Муфельные печи сопротивления ЭКПС (тип СНОЛ)	16	4,4	408.32
Наноиндентор G200	12	0.22	15,31
Планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL»	4	4.4	102,08
Лабораторные весы типа Вул-250	2	0,22	2,55
Итого			1048,50

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

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}} = \Phi_{pi} / \Phi_{\text{max}}$$

$$I_{\text{финртп}} = \Phi_{\text{тп}} / \Phi_{\text{max}} = 118944 / 162937 = 0,73$$

$$I_{\text{финр1}} = \Phi_{p1} / \Phi_{\text{max}} = 162937 / 162937 = 1$$

$$I_{\text{финр2}} = \Phi_{p2} / \Phi_{\text{max}} = 154970 / 162937 = 0,95$$

где $I_{\text{финр}}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (10)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы.

Таблица 32 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Сложность технологии	0,15	3	3	3
2. Физико - химические свойства	0,35	5	5	4
4. Энергосбережение	0,25	5	5	5
5. Материалоемкость	0,25	5	2	2
ИТОГО	1			

$$I_{\text{тп}} = 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,25 = 4,7$$

$$I_1 = 3 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,35 + 5 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,25 = 3,95$$

$$I_2 = 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,35 + 5 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,25 = 3,6$$

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

$$I_{\text{исп.тп}} = I_{\text{тп}} / I_{\text{финртп}} = 4,7 / 0,73 = 6,43$$

$$I_{\text{исп.п1}} = I_1 / I_{\text{финрп1}} = 3,95 / 1 = 3,95$$

$$I_{\text{исп.п2}} = I_2 / I_{\text{финрп2}} = 3,6 / 0,95 = 3,78$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (Θ_{cp}):

$$\Theta_{cp1} = I_{исп.тп} / I_{исп.p1} = 6,43 / 3,95 = 2,39$$

$$\Theta_{cp2} = I_{исп.тп} / I_{исп.p2} = 6,43 / 3,78 = 1,7$$

Таблица 33 Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Тп	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,73	1	0,95
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	3,95	3,6
3	Интегральный показатель эффективности	6,43	3,95	3,78
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения		2,36	1,7

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

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4БЗ1	Лисица Артёму Александровичу

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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) 	<p>В качестве вредных факторов на рабочем месте рассмотрены: микроклимат; шум; освещение; вибрация, вредные вещества;</p> <p>В качестве опасных факторов на рабочем месте рассмотрены: электробезопасность; пожарная безопасность; механические опасности (движущие машины, механизмы).</p> <p>На производительность труда инженера-исследователя, могут влиять следующие вредные производственные факторы: неблагоприятные условия микроклимата, повышенный уровень электромагнитных излучений. Кроме того, работник может подвергаться действию опасных факторов: поражение электрическим током, возникновение пожаров в результате короткого замыкания, термические опасности. Негативное воздействие на окружающую среду в процессе работы практически отсутствует.</p>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>ГОСТ 12.1.005-88; СНиП II-4-7; СанПиН 2.2.2/4.1340-03; ГОСТ 12.0.003-74; ГОСТ 12.1.038-82; ГОСТ 12.1.030-8;1; ГОСТ 12.2.032-78; СН 245-7; СП 2.2.1.1312-03; СНиП 2.01.02-85</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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) 	<p>Работа проводилась в помещении с нормальным уровнем освещения (люминесцентные лампы с суммарным уровнем освещенности не ниже 300 люкс в соответствии со СНиП 23-05-95). Возможен повышенный уровень шума при превышении номинального режима работы прессы (более 5-7 ДБА, ГОСТ 12.1.003-83). Уровень вибраций снижен до допустимого минимума (установка находится на виброизоляционной подставке с резиновыми ножками).</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> - механические опасности (источники, средства защиты); - термические опасности (источники, средства защиты); - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); - пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>При выполнении работ возможно короткое замыкание электропроводки (внешняя электропроводка с ПВХ изоляцией в ПВХ оболочке). В связи с этим в электрическую цепь установлены автоматические выключатели, имеющие все необходимые механизмы для разрыва цепи (электромагнитный, тепловой и др. расцепители), а также в помещении имеется углекислотный огнетушитель. Вся электрическая цепь помещения оснащена заземлительным контуром, выполненным в</p>

	<i>соответствии с ГОСТ 12.2.020-76.нагретых поверхностей.</i>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> - защита селитебной зоны - 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. 	<p><i>В качестве источника влияния на окружающую среду рассмотрена утилизация отработанных люминесцентных ламп.</i></p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 	<p><i>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.</i></p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<p><i>Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть "План эвакуации людей при пожаре", регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники.</i></p>
Перечень графического материала:	
<p><i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров).</i></p>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры	Раденков Тимофей Александрович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б31	Лисица Артём Александрович		

4. Социальная ответственность

Основной целью управления безопасностью труда является организация работы по обеспечению безопасности, снижению аварийности и травматизма, профессиональных заболеваний, улучшению условий труда сотрудников на основе комплекса задач по созданию безопасных и безвредных условий труда.

Безопасностью труда называют состояние условий труда, при котором исключено воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов. Условия труда – это совокупность факторов производственной среды, оказывающих влияние на здоровье и работоспособность человека в процессе труда.

Работа выполнялась в лаборатории порошковой металлургии (НИ ТПУ корпус №8). Рабочей зоной являлось помещение лаборатории площадью 24 м², в котором находился пресс (Разрывная машина Р-20) для прессования металлических порошков.

В данной бакалаврской выпускной работе рассмотрены безопасность и экологичность рабочего места. Безопасность включает в себя влияние опасных и вредных факторов, их анализ и меры их профилактики, охраны окружающей среды и защита в ЧС.

Анализ вредных факторов

Микроклимат на рабочем месте

Под метеорологическими условиями производственной среды согласно ГОСТ 12.1.005-88 понимают сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Перечисленные факторы оказывают большое влияние на функциональную деятельность человека, его самочувствие и здоровье, а также на надежность работы.

С целью создания нормальных условий для персонала установлены нормы производственного микроклимата (ГОСТ 12.1.005-88). Эти нормы рекомендуют оптимальные и допустимые величины температуры, влажности

и скорости движения воздуха для рабочей зоны производственных помещений с учетом избытка явного тепла, тяжести выполняемой работы и сезонов года.

Работы делятся на 3 категории тяжести на основании общих энергозатрат организма. Работа, относящаяся к инженерам – разработчикам, относится к категории легких работ 1а. оптимальные значения микроклимата для этого случая представлены в таблице 34.

Таблица 34. – Допустимые параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Период года	Категория работы	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Опти	Допуст	Оптим	Допуст	Оптим	Допуст
Холодный	Легкая 1а	20-22	24-25	40-60	15-75	0,1	0,1
Теплый	Легкая 1а	21-23	25-28	40-60	15-75	0,1	0,2

Для обеспечения нормальных условий труда санитарные нормы СанПин 2.2.1/2.1.1.1031-01 устанавливают, что на одного рабочего должно приходиться 4,5 м² площади помещения 20 м³ объема воздуха.

Помещение лаборатории имеет следующие параметры:

- длина помещения - 6 м;
- ширина - 4 м;
- высота - 3 м.

Исходя из этих параметров, площадь данного помещения составляет:

$$S = 6 \cdot 4 = 24 \text{ м}^2;$$

объем:

$$V = 6 \cdot 3 \cdot 4 = 72 \text{ м}^3.$$

В лаборатории работает 2 человека. Значит, на каждого человека приходится 12 м² рабочей площади и 36 м³ объема воздуха. Это удовлетворяет санитарным нормам.

Шум на рабочем месте

Шум является одним из наиболее распространенных факторов внешней среды, неблагоприятно воздействующих на организм человека и на его нервную систему. У человека ослабляется внимание, ухудшается память. Все это приводит к значительному снижению производительности труда, росту количества ошибок в работе.

При работе в данной лаборатории шум возникает при воздействии внешних факторов – пресс.

Уровни шума в помещениях не должны превышать значений установленных СН 2.2.4/2.1.8.562-92, замер шума проводится не реже двух раз в год.

Общие требования безопасности для некоторых мест приведены в таблице 35.

Таблица 35. – Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука.

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Помещения лабораторий для проведения экспериментов	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

Шумовая нагрузка прессы, не более, 75дБ

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 уровень шума в помещениях лабораторий для проведения экспериментов должен составлять 75 дБА.

Снижение шума, создаваемого на рабочем месте прессом, а также шума, проникающего извне, осуществляется следующими методами: рациональная планировка помещения и уменьшением шума по пути его распространения, акустическая обработка помещения, при повышении шума выше допустимых норм работникам следует надевать шлемофоны. Общие требования безопасности шума предусматриваются ГОСТ 12.1.003-83.

Вибрация на рабочем месте.

При работе в данной лаборатории вибрация возникает при воздействии внешнего фактора - пресс.

Вибрация относится к факторам, обладающим высокой биологической активностью. Выраженность ответных реакций обуславливается главным образом силой воздействия и биомеханическими свойствами человеческого тела как сложной колебательной системы.

Нормирование вибраций и классификация средств защиты от них осуществляются в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90. «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования».

Общие требования безопасности для некоторых мест приведены в таблице 36.

Таблица 36. – Гигиенические нормы уровней виброскорости.

Вид вибрации	Допустимый уровень виброскорости, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
В служебных помещениях, конструкторских бюро, лабораториях	-	91	82	76	75	75	75	-	-	-	-

В качестве средств защиты от вибрации в лаборатории использована виброизоляция (установка находится на виброизоляционной подставке с резиновыми ножками), также применено рациональное размещение работающего оборудования.

Вредные вещества

В данной работе в технологические процессы вовлекаются такие вещества, как порошки вольфрама молибдена, никеля и кобальта.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны указаны в таблице 37.

Таблица 37. – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Алюминия нитрид	-/6	4
Алюминий и его сплавы	6/2	3
Никель	0,05	1
Кобальт	0,05/0,01	1

Порошки вольфрама не образуют токсичных соединений на воздухе и в воде, но возможно раздражение кожного покрова, глаз, может вызвать бронхиальную астму и расстройство кишечного тракта.

Порошки кобальта и никеля способны вызывать аллергические заболевания в производственных условиях.

При работе с порошками необходимо использовать защитную одежду (резиновые перчатки, фартук, очки).

Освещение на рабочем месте

В связи с тем, что проведение экспериментов занимает длительное время, работать в помещении лаборатории приходится как при дневном свете, так и в темное время суток, что неизбежно обуславливает необходимость использования искусственного освещения.

Основными показателями, определяющими выбор ламп при проектировании светильной установки, следует считать:

- а) конструктивное исполнение ламп с учетом условий среды;
- б) светораспределение ламп;
- в) экономичность ламп.

Основными источниками света являются люминесцентные лампы. В помещении лаборатории используются лампы белого цвета.

ЛБ-для нормальных помещений с хорошим отражением потолка и стен, допускаются при умеренной влажности и запыленности.

Основные требования и значения нормируемой освещенностей рабочих поверхностей изложены в строительных нормах и правилах СНиП 23-05-95, выбор освещенности осуществляется в зависимости от размера объекта различения, контраста объекта с фоном, характеристики фона. Для того, чтобы установить в каждом конкретном случае все перечисленные предметы, необходимо знание особенностей зрительной задачи на данном рабочем месте.

Работа инженера-исследователя имеет третий разряд точности, т.е. при выполнении работ происходит большая нагрузка на органы зрения человека. Согласно нормам СНиП 23-05-95 регламентируется максимальная искусственная освещенность рабочих мест в 400 лк при общем освещении. Разряд зрительной работы 1г.

Получение из СНиП П-4-79 величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, т.к. со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп снижается освещенность. Значения коэффициента запаса K_3 , выбираемого для помещения с малым выделением пыли (лаборатории имеются сита, которые не используются каждый день). При люминесцентных лампах $K_3 = 1,5$.

Анализ опасных факторов

Механические опасности

К самостоятельной работе при работе на прессах допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр, а также вводный инструктаж, инструктаж по пожарной безопасности, первичный инструктаж на рабочем месте, обучение безопасным методам и приемам труда не менее чем по 10 часовой программе.

Для предотвращения механических опасностей во время работы необходимо:

Быть внимательным, не отвлекаться на посторонние дела и разговоры, не отвлекать других. Включать пресс на рабочий ход только после того, как заготовка будет правильно уложена в штамп, а руки выведены из опасной зоны.

Конструкция штампа должна обеспечивать устойчивое положение заготовки и устойчивое положение штампа при его хранении и транспортировке. При движении ползуна прессы не поправлять заготовку, даже если она неправильно уложена, в этом случае быстро выключить пресс. При укладке заготовок, снятии штампованных деталей и отходов с помощью пинцета держать пинцет возможно ближе к концу рукоятки, чтобы рука находилась за пределами опасной зоны штампа. При укладке заготовок и снятии деталей массой 20 кг и более пользоваться специальными грузоподъемными механизмами. При укладке заготовок и снятии деталей со штампа не держать ногу на педали включения прессы. Следить, чтобы педаль прессы была ограждена, и не произошло самовключения прессы от случайно упавших на нее деталей или инструмента. Включение пусковой кнопки или педали прессы производить до отказа, так как небрежное включение может вызвать сдвоенный ход ползуна. Укладку заготовок в штампы производить только при полной остановке ползуна в верхнем положении.

Не производить самостоятельно наладку и исправления при работе прессы. Смазку рабочих частей штампа и листового металла производить только специальными кистями или устройствами для этих целей, смазку производить при выключенном прессе.

Уборка отходов от прессы должна производиться регулярно и только при выключенном двигателе и полной остановке приводного механизма. На время работы прессы не открывать и не снимать кожухов, ограждений и предохранительных устройств.

Выполняя работы совместно с несколькими лицами, согласовывать свои действия с действиями других рабочих.

Не прикасаться к токоведущим частям оборудования, электрораспределительным щитам, шкафам, арматуре общего освещения; не наступать на переносные электрические провода, шланги, лежащие на полу.

В лаборатории для защиты механического травмирования используется оградительное устройство.

Электрическая безопасность

Одной из особенностей поражения электрическим током является отсутствие внешних признаков грядущей опасности, которые человек мог бы заблаговременно обнаружить с помощью органов чувств.

Ток приводит к серьезным повреждениям центральной нервной системы и таких жизненно важных органов как сердце и легкие. Поэтому второй особенностью воздействия тока на человека является тяжесть поражения.

Третья особенность поражения человека электрическим током заключается в том, что токи промышленной частоты силой в 10-15 мА способны вызвать резкую интенсивные судороги мышц.

Окружающая среда (влажность и температура воздуха, наличие заземленных металлических конструкций и полов, токопроводящей пыли и др.) оказывает дополнительное влияние на условия электробезопасности. Степень поражения электрическим током во многом зависит от плотности и площади контакта человека с токоведущими частями.

По условиям электробезопасности установки, используемые при выполнении магистерской диссертации, относятся к категории установок, работающих с напряжением до 1000 В. Устройства относятся к 1 классу, так как имеет рабочую изоляцию и место для заземления. В системе, в соответствии с ГОСТ 12.1 009-76, применяется рабочая изоляция.

Безопасность эксплуатации при нормальном режиме работы установок обеспечивается следующими защитными мерами:

1. применение изоляции;
2. недоступность токоведущих частей;

3. применение малых напряжений;
4. изоляция электрических частей от земли.

Зануление электрооборудования произведено медным проводом сечением 1,5 мм, покрытым изоляционным слоем лака для защиты от окисления.

Согласно ГОСТ 12.1.038-82 предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов, воздействию которых человек может подвергаться в процессе работы с электрооборудованием, составляют для установок в нормативном режиме: для постоянного тока - не более 0,8 В и 1 мА соответственно, для переменного тока (частота 50 Гц) - не более 2,0 В и 0,3 мА соответственно.

Пожарная безопасность

Помещение лаборатории по степени пожарной опасности (ППБ-03) относится к категории Д (производства связанные с обработкой негорючих веществ и материалов в холодном состоянии). Взрывопожароопасность лаборатории по ПЭУ относится к категории помещения без повышенной опасности.

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

- а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);
- б) самовоспламенение и самовозгорание веществ.

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, статическое электричество и т.п.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны производиться следующие мероприятия:

- а) сотрудники лаборатории должны пройти противопожарный инструктаж;

б) сотрудники обязаны знать расположение средств пожаротушения и уметь ими пользоваться;

в) необходимо обеспечить правильный тепловой и электрический режим работы оборудования;

г) пожарный инвентарь и первичные средства пожаротушения должны содержаться в исправном состоянии и находиться на видном и легкодоступном месте.

Согласно требованиям противопожарной безопасности СНиП 2.01.02-85 предусмотреть средства пожаротушения: огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом и ящик с песком (в коридоре).

Охрана окружающей среды

В лаборатории используются люминесцентные лампы. Выбрасывать их в общие контейнеры с мусором категорически запрещено, так как это наносит непоправимый урон окружающей среде.

Люминесцентные энергосберегающие лампы дневного света содержат ртуть, поэтому они требуют тщательной утилизации. Ртуть относится к первому классу опасности, а в энергосберегающих лампах она находится в парообразном состоянии. Поэтому если разбить такую лампу, то ртуть легко распространится по воздуху и попадет в организм человека, где она будет накапливаться и наносить непоправимый вред здоровью.

Для вывоза ртутьсодержащих лампочек обычно используются специализированные фургоны, часто оснащенные специальным гидравлическим лифтом.

Для утилизации ламп применяется, как правило, способ демеркуризации (мокрое измельчение ламп с одновременной их отмывкой в специальном растворе). Также утилизация отработанных ламп может осуществляться и другими способами: термическим, гидromеталлургическим, термовакуумный или вибро-механическим методом.

Правильная утилизация люминесцентных ламп благоприятно влияет на экологическую ситуацию и дает гарантию, что наши родные и близкие не пострадают от выброшенной в мусор лампочки.

Защита в чрезвычайных ситуациях.

В лаборатории порошковой металлургии наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера.

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

- рассредоточение и эвакуация;
- укрытие людей в защитных сооружениях;
- обеспечение индивидуальными средствами защиты;
- 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 лаборатории порошковой металлургии 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.

Помещение лаборатории по степени пожарной опасности (ППБ-03) относится к категории Д (производства связанные с обработкой негоряемых веществ и материалов в холодном состоянии). Взрывопожароопасность лаборатории по ПЭУ относится к категории помещения без повышенной опасности.

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:

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

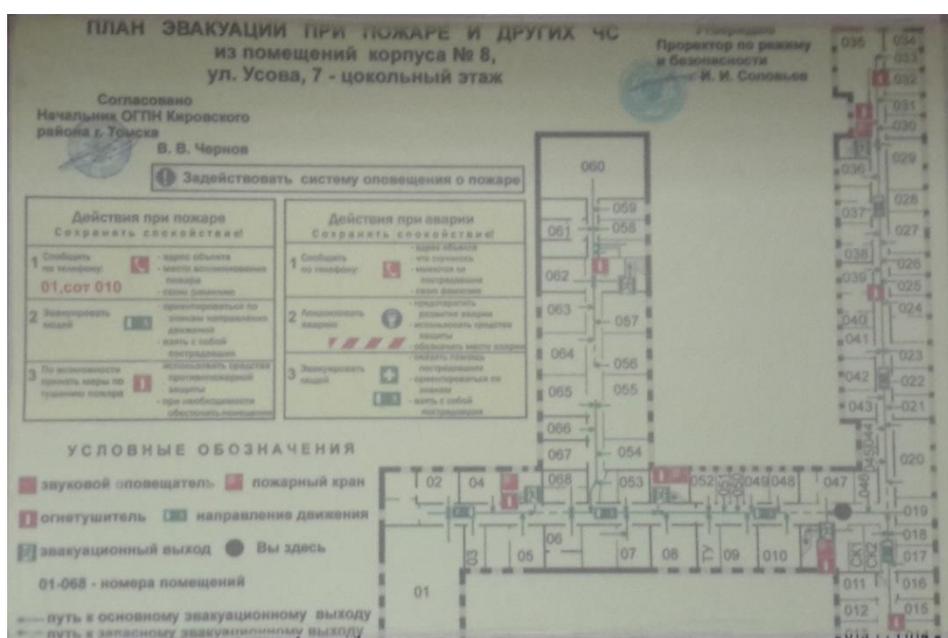


Рисунок 21 – План эвакуации при пожаре

Организационные мероприятия

Рабочая зона – пространство высотой до 2 м от уровня пола или площадки, на котором находятся места постоянного или временного пребывания работников.

Находясь на своем рабочем месте, т.е. в производственной среде, человек может подвергаться действию целого ряда опасных и (или) вредных производственных факторов, от действия которых он должен быть максимально защищен. В соответствии с ГОСТ 12.2.061-81 «Оборудование производственное».

Для нормального проектирования трудового процесса инженера-исследователя необходимо выполнение комплекса гигиенических требований (микроклимат, достаточная освещенность, отсутствие шума на рабочем месте, соответствующая температура и относительная влажность воздуха), приведенных в таблице.

Одним из факторов комфортности рабочей среды является организация рабочего места. Рабочее место должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-7.

Среди технических требований к рабочему месту инженера - исследователя особенно важным является требование к освещенности, которая значительно влияет на эффективность трудового процесса. Поэтому необходимо обеспечить оптимальное сочетание общего и местного освещения. Естественное освещение должно удовлетворять СНиП 23-05-95.

В соответствии с характером выполняемых работ, освещенность рабочего места СНиП 23-05-95 должна быть 200 лк – общая освещенность и 300 лк – комбинированное освещение.

Серьезное влияние на работоспособность инженера-исследователя оказывает шум в рабочем помещении, источниками которого могут быть вентиляторы охлаждения приборов, двигатели вытяжной вентиляции и т. п. В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.003-83 для удовлетворительной работы допускается уровень звукового давления <99 дБ (для частоты 63Гц) и <74 дБ (для 8 кГц).

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

С точки зрения электробезопасности (ГОСТ 12.1.030-81), оборудование, запитываемое напряжением выше 42В, должно быть заземлено или занулено. Кроме того, обязательно должна быть предусмотрена возможность быстрого отключения напряжения с распределительного щита.

Заключение

1. В результате исследования процессов прессования керамических порошков было установлено, что оптимальное давление прессования для всех исследованных составов 400 МПа. Поэтому дальнейшее увеличение давления прессования представляется нецелесообразным. Прессовки имели правильную форму без осыпания кромок и расслоенных трещин.

2. Результаты спекания в атмосфере воздуха показали, что образцы, содержащие нитридную фазу, не спеклись. Это можно объяснить окислением нитридов и образованием легкоплавких эвтектик. Наибольшую плотность имел образец заэвтектического состава композиции $80\%Al_2O_3 - 19\%ZrO_2 - 1\%Y_2O_3$.

3. Композиция $50\%Al_2O_3 - 50\%AlN$ спекается только в инертной атмосфере. Методом ИПС получен образец данного состава с относительной плотностью 84,8%.

4. Результаты наноиндентирования показали, что наибольшими значениями модуля нормальной упругости и нанотвердости обладает композиция состава $50\%Al_2O_3 - 50\%AlN$: $E_{IT} = 290663$ МПа, $H_{IT} = 20269$ Мпа. Оксинитридную керамику данного состава можно рекомендовать, как материал для изготовления высокопрочных керамических изделий, эксплуатируемых в условиях высоких температур.

5. Результаты исследования показали, что нитрид бора при взаимодействии с оксидом алюминия и оксидом кремния при высоких температурах в атмосфере воздуха не может образовывать высокопрочную керамику.

6. Композиции на основе оксидов циркония и алюминия, стабилизированные оксидом иттрия спекаются в высокотемпературной печи в воздушной атмосфере до высокой плотности и имеют достаточно высокие механические характеристики.

7. Метод искрового плазменного спекания является наиболее эффективным способом консолидирования оксинитридных керамических материалов, обладающих высоким уровнем физико-механических характеристик.

8. В работе рассмотрены вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также социальной ответственности.

Список используемых источников

1. Матренин С.В., Слосман А.И. Техническая керамика: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.–75 с.
2. Шевченко, А.В. Высокотехнологичная керамика на основе диоксида циркония / А.В. Шевченко, А.К. Рубан, Е.В. Дудник // Огнеупоры и техническая керамика. 2000. №9. С. 2-8.
3. Гаршин, А.П. Керамика для машиностроения / А.П. Гаршин, В.М. Гропянов, Г.П. Зайцев и др. – М.: ООО Изд-во «Научтехлитиздат», 2003. 384 с.
4. Дубок, В.А. Биокерамика – вчера, сегодня, завтра // Порошковая металлургия. 2000. №7/8. С. 69-88.
5. Филиппенко, В.А. Различные пары трения эндопротезов тазобедренного сустава // Ортопедия, травматология и протезирование. 2013. №3. С. 66-69.
6. Chevalier, J. What future for zirconia as a biomaterial? // Biomaterials. 2006. V. 27. P. 535-543.
7. Lughì, V/ Low temperature degradation – aging of zirconia: A critical review of the relevant aspects in dentistry / V. Lughì, V. Sergo // Dental materials. 2010. V. 26. P 807-820.
8. Эйтель В. Физическая химия силикатов. Пер. с англ. М., ИЛ, 1962. 1055 с. с ил.
9. Роусон Г. Неорганические стеклообразующие системы. Пер. с англ. М., «Мир», 1970. 312 с. с ил.
10. Прянишников В.П. Справочник по производству стекла, т. 1. М., Госстройиздат, 1963. 680 с. с ил.
11. Ботвинкин О. К., Запорожский А.И. Кварцевое стекло. М., Стройиздат, 1965, 259 с. с ил.
12. Schulle W. Ulbricht J. – «Silikattechnik», 1962, Bd. 13, № 7, S. 229 – 232.

13. Попильский Р.Я., Нишанова И.Е. – «Труды МХТИ им Д.И. Менделеева, вып 50 М., 1966, с. 194-195, с ил.
14. Нишанова И.Е., Попильский Р.Я., Гузман И.Я. – «Высокоогнеупорные материалы», М., «Металлургия», 1966, с. 82-91 с ил.
15. Чуракова Р.С. – «Труды ВИО», вып. 42. М., «Металлургия», 1971, с. 181-187 с ил.
16. Попильский Р.Я., Кондрашов Ф.В. Прессование керамических порошков. М., «Металлургия», 1968. 272 с. с ил.
17. Голубева Н.В., Елькина С.А. – «Оптико-механическая промышленность», 1967, №6, с. 38-41 с ил.
18. Weckesser J. W., Suess S. P., Hallendorf R. H. – «J. of Spaceaircraft and Rockets», 1968, 5, № 7, p. 762-769.
19. «L'onde Electrique», 1968, v. 48, № 491, p. 129-133.
20. «Space Aeronautics», 1968, v. 50, №1, p. 48-49.
21. Соломин Н.В. Жаростойкость материалов и деталей под нагрузкой. М., Стройиздат, 1969, 112 с. с ил.
22. Handbook of Chemistry and Physics, Cleveland, Ohio, Chemical Rubber Publishing Co., 1960. 61 p.
23. Documentation of Molecular Spectroscopy, Butter Worths Sci. Publ. London, 1968. 330 p.
24. Оптические материалы для инфракрасной техники. М., «Наука», 1965. 335 с. с ил. Авт.: Воронкова Е. М., Гречишников Б. Н., Дистлер Г. И., Петров И. П.
25. Briegleb F., Geuther A. – Libigs Ann., 1962, p. 123,238.
26. Mellor I.W. A Comprehensive treatise on inorganic and theoretical chemistry, 1928. – p. 111.
27. Joseph M. Wahl et al. Recent Advances in ALONTM Optical Ceramic, Surmet.
URL:http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_oxynitride#cite_note-r2-3.

28. Yamaguchi G. "Refractive Power of the Lower-Valent Aluminum Ion (Al^+ or Al^{++}) in the Crystal," Bull. Chem. Soc. Jpn., 1950. 23. p. 89-90.
29. Yamaguchi G. and Yanagida H. "The Reducing Spinel: A new Spinel Formula $AlN - Al_2O_3$ Instead of the Previous One Al_3O_4 ," Bull. Chem. Soc. Jpn., 1959. 32. p. 1264-1265.
30. McCauley J. W. and Corbin N. D. "Phase-Relations Sintering of Transparent Cubic Aluminum Oxynitride Spinel (ALON)," J. Am. Ceram. Soc., 1979, 62. p. 476-479.
31. McCauley J. W. and Corbin N. D. "High Temperature Reactions and Microstructures in the Aluminum Oxide-Aluminum Nitride System," NATO ASI Series E, Vol. 65 Nitrogen Ceramics. ed., F. L. Riley. ASI. Falmer. UK. 1983. p. 111-118.
32. Yawei L. Nan L. and Runzhang Y. "The Formation and Stability of γ -Aluminum Oxynitride Spinel in the Carbothermal Reduction and Reaction Sintering Processes," J. Mater. Sci., 1997. p. 979-982.
33. Yawei L. Nan L. and Runzhang Y., "Carbothermal Reduction Synthesis of Aluminum Oxynitride Spinel Powders at Low Temperatures," J. Mater. Sci. Lett., 1997, p. 185-186.
34. Yasumasa Takao, Mutsuo Sando. Al-System Non-Oxide Spherical Powder Synthesis by liquefied Petroleum Gas Firing. J. Am. Ceram. Soc., 2005, p. 450-452.
35. Shinichi Kikkawa, Naoya Hatta, and Takashi Takedaz. Preparation of Aluminum Oxynitride by Nitridation of a Precursor Derived from Aluminum-Glycine Gel and the Effects of the Presence of Europium. J. Am. Ceram. Soc., 2008. p. 924-928.
36. Ускокович Д. П., Самсонов Г. В., Ристич М. М. Активированное спекание. – Белград: Факультет электроники. НИИ и Международный институт науки о спекании, 1974. 395 с.