

Приложение Е.1

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки: Материаловедение и технологии материалов

Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование влияния механической обработки порошков глинозема и электрокорунда на их свойства и спекаемость корундовой керамики

УДК 669.71/.712-492.2:666792.22

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б41	Чалый Вячеслав Александрович		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гаврикова Н.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
22.03.01 Материаловедение и технологии материалов	Овечкин Б.Б.	К.т.н., доцент		

Планируемые результаты обучения по ООП 22.03.01

Код результата	Результат обучения
	<i>Общекультурные компетенции</i>
P1	Способность применять основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социально-общественных и профессиональных задач, способность анализировать социально-значимые проблемы и процессы. Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке.
P2	Демонстрировать понимание сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий.
P3	Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, осознавать перспективность интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования, уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки.
P4	Способность эффективно работать в кооперации с коллегами, находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и готовность нести за них ответственность, владеть основами общего и производственного менеджмента и использовать их в профессиональной деятельности.
P5	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, осведомленность в вопросах охраны здоровья, использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически и технически безопасное производство.
	<i>Профессиональные компетенции</i>
P6	Умение использовать базовые знания математических и естественнонаучных дисциплин и дисциплин общепрофессионального цикла в объеме, необходимом для использования в профессиональной деятельности основных законов соответствующих наук, разработанных в них подходов, методов и результатов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности с целью моделирования объектов и технологических процессов в машиностроении.
P7	Умение использовать традиционные и новые технологические процессы, операции, оборудование, нормативные и методические материалы по технологической подготовке производства, качеству, стандартизации и сертификации изделий и процессов, умение выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения.
P8	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, оценке рисков и определении мер по обеспечению экологической и технической безопасности разрабатываемых материалов, техники и технологий.
P9	Умение использовать принципы и методики комплексных исследований, испытаний и диагностики, обработки и модификации материалов, изделий и процессов их производства, включая стандартные и сертификационные испытания; умение применять технические средства для измерения и контроля основных параметров технологических процессов, свойств материалов и изделий из них.
P10	Умение применять современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской и расчетно-аналитической деятельности в области материаловедения и технологии материалов.
P11	Умение использовать на практике современные представления наук о материалах, взаимодействии материалов с окружающей средой, владение навыками сбора данных, изучения, анализа и обобщения научно-технической информации по тематике исследования, разработки и использования технической документации, основных нормативных документов по вопросам интеллектуальной собственности, подготовки документов к патентованию, оформлению ноу-хау.
P12	Способность комплексно оценивать и прогнозировать тенденции и последствия развития науки о материалах, на основании комплексной оценки формулировать научно-техническую проблему в области изготовления, диагностики и применения наноматериалов. Знание внутри- и междисциплинарных связей в сфере профессиональной деятельности.

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Отделение материаловедения
Направление подготовки: *Материаловедение и технологии материалов*

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Б.Б.Овечкин

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
4Б41	Чалый Вячеслав Александрович

Тема работы:

Исследование влияния механической обработки порошков глинозема и электрокорунда на их свойства и спекаемость корундовой керамики
--

Утверждена приказом директора ИШ НПТ	Приказ №1448/с от 02.03.2018
--------------------------------------	------------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2018
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Литература по теме исследования. Порошки глинозема и электрокорунда. Порошок TiO ₂ . Нанопорошок алюминия. Техническое описание лабораторного оборудования.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Обзор литературы Объект и методика исследования Результаты исследования Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Гаврикова Надежда Александровна, ст. преп. Центр качества
Социальная ответственность	Раденков Тимофей Александрович, ассистент кафедры ЭБЖ
Обзор литературы	Матренин Сергей Вениаминович, ст. преп. ОМ ИШНПТ
Объект и методики исследования	Матренин Сергей Вениаминович, ст. преп. ОМ ИШНПТ
Результаты исследования	Матренин Сергей Вениаминович, ст. преп. ОМ ИШНПТ
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат - Abstract	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.02.2018
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОМ ИШНПТ	Матренин С.В.	К.т.н., доцент		16.02.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б41	Чалый Вячеслав Александрович		16.02.2018

Реферат

Дипломная работа изложена на ? страницах, содержит 16 рисунков, 32 таблиц, 32 литературных источников, 21 слайдов графического материала.

Ключевые слова: оксид алюминия, глинозем, электрокорунд, механическая активация, ультрадисперсный порошок TiO_2 , нанопорошки Al_2O_3 и Al , формование, активированное спекание, температура спекания, корундовая керамика.

Объектами исследования являются: порошок электрокорунда марки 25А обычной дисперсности, ультрадисперсный порошок TiO_2 , нанодисперсный плазмохимический порошок Al_2O_3 , нанопорошок Al полученный методом электрического взрыва проводников, спеченные образцы. Последние три порошка использовались в качестве активирующей добавки к порошку белого электрокорунда.

Целью работы является исследование влияния режимов механической активации порошка белого электрокорунда и влияния добавок нано- и ультрадисперсных порошков НП Al , Al_2O_3 , УДП TiO_2 на физико-механические свойства спеченной корундовой керамики.

В процессе работы проводили прессование и последующее спекание образцов в высокотемпературной печи сопротивления. У спеченных образцов были определены плотность, твердость HRA, усадка и пористость, а также зависимость вышеперечисленных характеристик от времени (τ) обработки спеченного электрокорунда при разных частотных режимах ($f = 20$ Гц и $f = 30$ Гц), от крупности частиц и температуры спекания.

Полученные в ходе выполнения работы результаты представляют научный и практический интерес, могут быть использованы при разработке технологических рекомендаций для производства спеченных керамических изделий.

Abstract

Graduation work contains ? pages, 32 tables, 16 figures, 32 references, 21 slides of a graphic material.

Keywords: aluminum oxide, glinozaem, fused, mechanical activation, ultrafine powder TiO_2 , Al_2O_3 nanopowders and Al, molding, activated sintering, the sintering temperature, corundum ceramics.

The objects of study are: fused powder marks 25A normal dispersion, ultrafine powder, TiO_2 , nano-dispersed plasma-chemical powder, Al_2O_3 , Al nanopowder obtained by electric explosion of wires, sintered samples. The last three powder used as an activator to the powder white fused.

The purpose of this paper is a study on the effect of mechanical activation of powder white fused and the influence of additions of nano-and ultrafine powders NP Al, Al_2O_3 , TiO_2 UDP on the physico-mechanical properties of sintered corundum ceramics.

In the course of work carried out pressing and subsequent sintering of the samples in high-temperature resistance furnace. In sintered samples were determined by the density, hardness HRA, shrinkage and porosity, as well as the dependence of these characteristics on time (τ) processing of sintered fused with different frequency modes ($f = 20$ Hz and $f = 30$ Hz) on the particle size and sintering temperature.

Obtained in the course of the results of scientific and practical interest, can be used to develop recommendations for the production process of the sintered ceramics.

Обозначения и сокращения

НП – нанопорошок

УДП – ультрадисперсный порошок

ПХС – плазмохимический синтез

ГК-5 – порошок технического глинозема

ЧДА – чисто для анализа

Оглавление

Введение.....	10
1 Литературный обзор	12
1.1 Структура и свойства оксида алюминия	12
1.2 Свойства, получение и применение электрокорунда.....	16
1.2.1 Свойства электрокорунда.....	16
1.2.2 Технология производства электрокорунда	30
1.3 Технология получения корундовой керамики	34
1.4 Механическая активация оксидных порошков.....	38
1.5 Постановка задач.....	41
2 Экспериментальная часть.....	42
2.1 Материалы и оборудование, методики исследования	42
2.1.1 Исходные материалы	42
2.1.2 Оборудование и методика исследования	42
2.1.3 Оборудование.....	42
2.1.4 Механическое измельчение	45
3. Результаты эксперимента.....	51
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 61	
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	61
4.2 SWOT-анализ.....	61
4.3 Планирование и график НИР.....	64
4.4.1 Определение трудоемкости выполнения работ	66
4.4.2. Техническая готовность НИР	68
4.4.3 Построение графика работ	70
4.4.4 Расчет бюджета затрат на НИР.....	72

4.4.5 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	74
4.4.6 Расчет заработной платы.....	75
5 Социальная ответственность	78
Введение.....	78
5.1 Производственная безопасность	79
5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	79
5.1.2 Расчетная часть искусственного освещения в лаборатории	80
5.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	84
5.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	87
5.4 Экологическая безопасность.....	89
5.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	89
5.4.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	90
5.4.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	92
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	93
5.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	93
5.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	93
5.5.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	93
5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	96

5.6.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	96
5.6.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	96
Заключение	98
Список испрользуемых источников.....	100

Введение

В мире современных материалов керамике принадлежит заметная роль, обусловленная широким диапазоном ее физических и химических свойств. Керамика не окисляется и устойчива в более высокотемпературной области в сравнении с металлами. Модуль упругости керамических материалов на порядок выше, чем у металлов. Среди керамик можно найти материалы как с большими, так и малыми (даже отрицательными) значениями коэффициента термического расширения. Широк спектр керамических материалов с разнообразными электрофизическими свойствами, среди которых есть и диэлектрики, и полупроводники, и проводники (сравнимые по проводимости с металлами), и сверхпроводники.

Перспективность керамики обусловлена исключительным многообразием ее свойств по сравнению с другими типами материалов, доступностью сырья, низкой энергоемкостью технологий, долговечностью керамических конструкций в агрессивных средах. Производство керамики, как правило, не загрязняет окружающую среду в такой мере, как металлургия. Керамические материалы обладают большей биологической совместимостью, чем металлы и полимеры, и это позволяет использовать их в медицине, как для имплантации искусственных органов, так и в качестве конструкционных материалов в биотехнологии и генной инженерии.

Техническая керамика – сравнительно новый вид материалов, и поэтому масштабы ее производства, как по объему, так и по стоимости продукции существенно уступают производству традиционных металлических и полимерных материалов. Вместе с тем темпы роста ее выпуска (от 15 до 25% ежегодно) намного превышают соответствующие показатели для стали, алюминия и других металлов. Керамика на основе оксида алюминия благодаря уникальному сочетанию физико-механических свойств имеет широкий спектр применения. Преимуществами использования данного материала в технике являются высокие показатели твердости,

износостойкости, диэлектрических свойств, способность к эксплуатации в условиях воздействия высоких температур и коррозионно-активных сред.

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 активирования процесса спекания.

Эффективным способом повышения активности исходных порошков является их механическая активация в энергонапряженных планетарных мельницах. Другим методом активирования процесса спекания корундовой керамики является добавление в исходные порошки ультра- и нанодисперсных керамических и металлических порошков.

Целью данной работы являлось исследование влияния режимов механической активации порошка белого электрокорунда и влияния добавок нано- и ультрадисперсных порошков НП Al, Al₂O₃, УДП TiO₂ на физико-механические свойства спеченной корундовой керамики.

1 Литературный обзор

1.1 Структура и свойства оксида алюминия

Оксид алюминия – глинозем – является тугоплавким химическим соединением с ионно–ковалентным типом связи кристаллической решетки. Он имеет несколько кристаллических модификаций. Установлены α –, β – и γ – модификации глинозема, причем α – и γ – Al_2O_3 представляют собой чистый оксид алюминия, а β – модификация – соединение оксида алюминия со щелочными и щелочно–земельными оксидами.

В природных условиях встречается только α – Al_2O_3 в виде минералов корунда, рубина, сапфира, который кристаллизуется в тригональной сингонии, α – Al_2O_3 обладает высокими электрическими, механическими и тепловыми свойствами. Кубический γ – и гексагональный β – Al_2O_3 являются нестабильными модификациями, которые при нагреве свыше 1500°C переходят в α – Al_2O_3 . Корундовой технической керамикой называется керамика, содержащая более 95% α – Al_2O_3 , остальную часть составляет стеклофаза. Твердость корунда по минералогической шкале равна 9 и уступает лишь твердости алмаза и некоторых карбидов. Температура плавления его находится в интервале 2015 – 2050°C .

В настоящее время разработана корундовая керамика с содержанием до 99,8% Al_2O_3 , получившая название: алюминооксид, корундиз, синоксоль, миналунд, М–7, 22ХС, микролит, сапфирит, поликор, ГМ, А–995. и другие материалы, обладающие большой плотностью. Беспористая прозрачная керамика поликор. (за рубежом люкалос) имеет высокое значение коэффициента пропускания света, электрических и механических характеристик. Поликор содержит 99,7 – 99,8% Al_2O_3 и 0,3 – 0,2% окиси магния. В отличие от обычной корундовой керамики поликор прозрачен, поэтому его применяют для изготовления колб некоторых специальных источников света. Поликор проявляет особо высокую нагревостойкость и сохраняет электрические характеристики до температуры 400°C , механические – до 1600°C . Благодаря высокой плотности $3,97 \text{ г/см}^3$,

практически равной плотности Al_2O_3 можно обеспечить высокую чистоту обработки поверхности. Поэтому поликор применяется для осаждения пассивных элементов гибридных интегральных микросхем, в качестве нагревостойких диэлектрических подложек микросхем, в том числе микроволновых подложек в запоминающих устройствах, а также для изготовления окон, подверженных высоким температурам и давлениям, линз в инфракрасных головках ракет, лазерных устройствах, колб металлгалогенных ламп. В таблице 1 представлены химический и фазовый составы некоторых видов корундовой керамики.

Таблица 1 – Химический и фазовый составы некоторых видов корундовой керамики, %

Материал	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	Cr_2O_3	MnO_2	TiO_2	CaO	MgO	BaO
кристаллическая	стекловидная								
Миналунд22 ХЦ	93,96	3,94	0,03	–	–	–	–	–	–
	95,64	2,50	0,03	0,48	1,96	1	–	–	–
Микролит. ГБ–7	99,4	–	0,03	–	–	–	–	0,57	–
	97,07	0,92	0,08	–	–	–	0,9	–	0,9
Корунд	98,8	0,2	0,05	–	–	1	–	–	–
Сапфирит	97,6	–	–	–	–	–	–	0,7	1,7
Поликор	99,7	–	–	–	–	–	–	0,3	–

Все эти виды технической корундовой керамики отличаются составом и содержанием вводимых добавок. В состав сырья входят технический глинозем и электрокорунд, используются добавки MgO (до 1,5%), тормозящие рост кристаллитов, TiO_2 (до 1%). Содержание пор в этой керамике минимальное (около 1%), и их присутствие отрицательно влияет на свойства материала [1].

Стремление реализовать в корундовой керамике максимально возможные значения тех или иных эксплуатационных характеристик и

вызвало появление многочисленных видов корундовой керамики. Технология различных видов корундовой керамики может существенно отличаться. Используются как достаточно традиционные керамические технологии с применением природного сырья, так и передовые технологические методы, в особенности для производства высокопрочных керамик.

Следует отметить, что прочностные характеристики корундовой керамики в решающей мере определяются свойствами исходного порошка (чистота, дисперсность, активность) и технологией получения материала и варьируются в широких пределах. Так, предел прочности при изгибе корундовой керамики, полученной из технического глинозема путем прессования и спекания, не превышает 450 МПа. В то же время прочность горячепрессованной керамики из ультрадисперсных порошков Al_2O_3 достигает 650 МПа. Трещиностойкость корундовой керамики в меньшей степени зависит от технологии изготовления и не превышает $3 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{0,5}$

Корунд отличается исключительно высокой химической стойкостью в отношении кислот и щелочей. При нормальной температуре на него практически не действует плавиковая кислота. Корунд устойчив к действию большинства расплавов щелочных металлов.

В таблице 2 представлены основные физико–механические характеристики спеченной корундовой керамики.

Таблица 2 – Свойства корундовой керамики

Плотность, г/см ³	3,96
Температура плавления, °С	2050
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·град	30,14(100°С) 6,4(1000°С)
Удельное электросопротивление, Ом·м	$3\cdot 10^{12}$ (100°С) $9\cdot 10^{-2}$ (1300°С)
ЛКТР, $\alpha\cdot 10^6$ град ⁻¹	8(20–1400°С)
Модуль упругости, ГПа	374(20°С) 315(1000°С)
Предел прочности при изгибе, Мпа	до 650(20°С) 50(1500°С)
Микротвердость, ГПа	до 26(20°С)

Корунд является основным материалом в технологии минералокерамики. Минералокерамические инструментальные материалы обладают высокой твердостью, тепло- и износостойкостью. Они используются для чистовой обработки чугунов и некоторых сталей. Основой минералокерамики является Al_2O_3 или его смесь с карбидами, нитридами и др. Основные характеристики и области применения различных марок минералокерамики приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-механические свойства инструментальной керамики на основе Al_2O_3

Марка керамики	Предел прочности при изгибе, МПа	Теплостойкость, °С
ЦМ-332	475	1400
В-3	650	1100
ВОК-60	675	1100
ОНТ-20(кортинит)	700	1200

Кроме традиционных марок оксидной керамики и керметов широко применяется оксидно-нитридная керамика, например, керамика марки "кортинит" (смесь корунда с нитридом титана) [2].

1.2 Свойства, получение и применение электрокорунда

1.2.1 Свойства электрокорунда

Электрокорунд представляет собой синтетический корунд с различным содержанием примесей, получаемый плавкой высокоглиноземистых материалов, боксита или технического глинозема, в электрической дуговой печи при температуре около 2500°C. Электрокорунд выпускается обычно с содержанием 91 – 99% Al_2O_3 , плотность 3,93 – 4,01 г/см³, микротвердость 1800 – 2600 кгс/мм²; твердость по шкале Мооса 8,9 – 9,1. По твердости корунд уступает только алмазу, кубическому нитриду бора, карбиду бора и карбиду кремния.

Таблица 4 – Сравнительная твердость минералов по шкале Мооса

Единица твердости	Эталонный минерал	Сравнительная характеристика
1	Тальк	Скоблится ногтем
2	Гипс	Царапается ногтем
3	Кальцит	Царапается медной монетой
4	Флюорит	Легко царапается ножом
5	Апатит	С трудом царапается ножом
6	Ортоклаз	Царапается напильником
7	Кварц	Царапает стекло
8	Топаз	Легко царапает кварц
9	Корунд	Легко царапает топаз
10	Алмаз	Не царапается ни чем (легко царапает корунд)

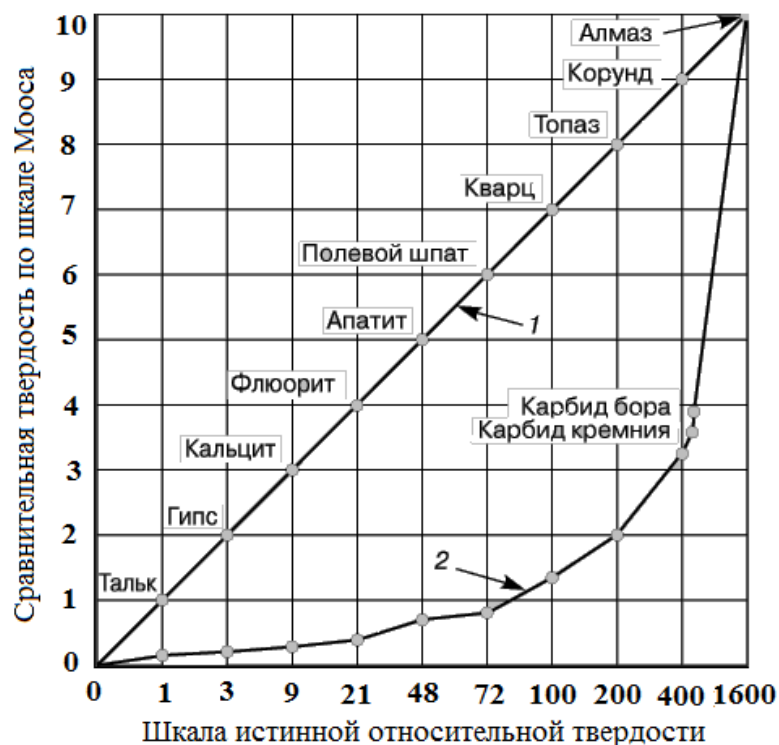


Рисунок 1. – Сравнительная твердость по шкале Мооса (качественная оценка) (1) и по шкале истинной относительной твердости (количественная оценка) (2).

По кривой 2 видно, насколько алмаз тверже наиболее твердых материалов [3].

Такие свойства электрокорунда, как прочность, твердость, хрупкость, термостойкость, могут регулироваться в процессе получения материала. Введением в расплав различных химических элементов, образующих с ним твердые растворы, получают материалы с заданными свойствами. Такой электрокорунд называют легированным. В качестве легирующих элементов используют титан, хром, цирконий и другие, вводимые чаще всего в виде оксидов.

Промышленность выпускает следующие четыре разновидности электрокорунда, которые в зависимости от содержания двуокси алюминия (Al_2O_3) и примесей имеют различный цвет, структуру и свойства: электрокорунд нормальный, электрокорунд белый, легированные электрокорунды, содержащие элементы, существенно изменяющие их

свойства, например, титан, хром и др., монокорунды, содержащие 97 – 98% Al_2O_3 [4].

1. Электрокорунд нормальный содержит до 95% Al_2O_3 и небольшое количество шлака и ферросплава. В зависимости от состава электрокорунда и количества в нем примесей цвет электрокорунда нормального изменяется от светло– до темно–коричневого. Микротвердость 1900–2000 кгс/мм², плотность 3,85–3,95 г/см³, обладает высокой шлифующей способностью (до 0,06 г). Электрокорунд нормальный выпускается в соответствии с ГОСТ 28818–90 или ТУ 2–036–00221066–020–99, марки 12А–16А. Химический состав некоторых марок электрокорунда нормального представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Химический состав электрокорунда нормального

Марка	Массовая доля, %			
	Al_2O_3 , не менее	Fe_2O_3 , не более	TiO_2 , не менее	CaO , не более
15А	95,0	0,5	1,8	0,6
14А	93 – 94,5	0,5 – 0,7	1,8	0,8 – 1,1
13А	93 – 94,0	1,3	1,8	1,0 – 1,3

Электрокорунд нормальный обладает повышенной вязкостью, поэтому используется при изготовлении абразивного инструмента для шлифования вязких материалов с большим сопротивлением разрыву, для абразивной обработки с переменными нагрузками, а так же для тяжелых обдирочных работ и для пескоструйного шлифования. Для изготовления разнообразного абразивного инструмента из электрокорунда нормального производятся шлифзерно, шлифпорошки и микропорошки различных размеров. Электрокорунд нормальный используется в изготовлении абразивного инструмента на керамической и бакелитовой связках. Электрокорунд нормальный используется так же для производства огнеупорных изделий и неформованных огнеупоров.

2. Электрокорунд белый содержит от 98,0 до 99,5% Al_2O_3 и сравнительно мало примесей (1–2%) в виде высокоглиноземистого

алюмината натрия и других минералов. Зерна бесцветные и прозрачные, иногда слабо – розового или другого оттенка вследствие присутствия незначительных количеств изоморфных примесей ионов – красителей.

По свойствам и химическому составу белый электрокорунд более однороден, чем нормальный. Микротвердость его выше, чем у нормального электрокорунда – 2000–2100 кгс/мм², плотность 3,9–4,0 г/см³. Электрокорунд белый выпускается в соответствии с ГОСТ 28818–90 или ТУ 2–036–00221066–019–97, марки 23А, 24А, 25А. В таблице 6 приведен химический состав электрокорунда марки 25А.

Таблица 6 – Химический состав электрокорунда белого

Марка	Массовая доля, %, не более		
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O
25А	99.1	0.1–0.2	0.2–0.3

Абразивные изделия из белого электрокорунда отличаются стабильными свойствами, обладают хорошей самозатачиваемостью и обеспечивают высокую чистоту обрабатываемой поверхности.

Электрокорунд белый перерабатывают на шлифзерно и микропорошки, которые используются для изготовления абразивного инструмента на различных связках и шлифовальной шкурки.

Электрокорунд белый применяется при изготовлении абразивного инструмента для обработки закаленных твердых сталей, для шлифования труднообрабатываемых сталей и сплавов, для изготовления абразивных паст, керамики, для обработки деталей из различных материалов – стекла, кожи, дерева и т.д. [5].

3. Электрокорунд циркониевый, марка 38А, содержит 23–25 % оксида циркония (ZrO₂) Плотность циркониевого электрокорунда 4,05–4,15 г/см³, микротвердость 2300–2400 кгс/мм², выпускается в соответствии с ТУ 3988–023–0221841–94 или ТУ 3988–001–83301976–2009.

Циркониевый электрокорунд будем рассматривать как продукт кристаллизации двойной системы. В этой системе, по данным Г. Вартерберга

, при массовой доле ZrO_2 , равной примерно 40 %, появляется эвтектика с температурой плавления 2193 К. Р.Ф. Геллер определил наличие эвтектического сплава при массовой доле в нем ZrO_2 , равной 55 %, с температурой плавления 2158 К. По данным японских исследователей температура плавления эвтектики составляет 2163 К. А.С. Бережной, исследуя систему $Al_2O_3-ZrO_2$, построил расчетную диаграмму состояния (Рисунок 2), согласно которой массовая доля ZrO_2 в эвтектическом сплаве составляет 36 %, а температура его плавления 2183 К.

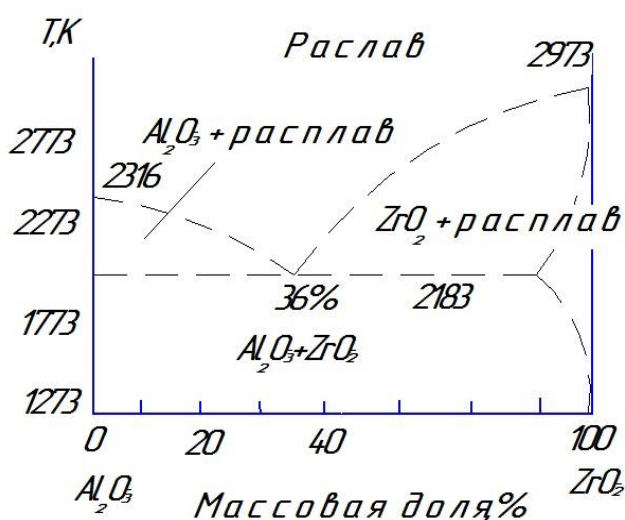


Рисунок 2 – Диаграмма состояния системы $Al_2O_3-ZrO_2$

Характерной чертой системы $Al_2O_3-ZrO_2$, содержащей 20—25 % ZrO_2 , является присущая корунду высокая твердость в сочетании с повышенной вязкостью разрушения. При этом наиболее эффективное повышение вязкости разрушения достигается при использовании в композиции тетрагональной формы ZrO_2 , стабилизируемой введением в материал 2—3 % (по массе) оксида иттрия Y_2O_3 . Стабилизация кубической формы диоксида циркония более высокими концентрациями (5-6 % Y_2O_3 по массе), напротив, приводит не к повышению, а к снижению вязкости разрушения материала. Моноклинная форма ZrO_2 в циркониевом электрокорунде также повышает прочность и вязкость разрушения корунда, но в меньшей степени, чем тетрагональная форма. Это обстоятельство чрезвычайно важно учитывать при получении циркониевого электрокорунда,

применяемого для силового шлифования, где роль прочности, ударной вязкости и трещиностойкости абразивного зерна для его эксплуатационных характеристик существенно возрастает. В зависимости от условий кристаллизации существенно изменяются свойства циркониевого корунда (таблица 7). Изменение прочностных показателей зерен циркониевого электрокорунда связано с дефектами его микроструктуры, определяемой наличием микротрещин между корундом и бадделеитом, обусловленных различием коэффициентов термического расширения этих минералов и возможными модификационными переходами диоксида циркония. С уменьшением размеров кристаллов циркониевого электрокорунда возрастает их сопротивляемость разрушению. Например, уменьшение кристаллов, образующих эвтектические участки со 150 до 30 мкм, увеличивает сопротивление разрушению зерен крупностью 125 мкм более чем в два раза. Таблица 7 – Некоторые свойства зерен циркониевого электрокорунда в зависимости от скорости охлаждения расплава (по данным лаборатории ЮРАЗ).

Скорость охлаждения, °С/мин	Прочность единичного зерна № 125, Н/зерно	Прочность совокупности зерен, %	Насыпная масса, кг/м ³	Износостойкость, мин/мм
8	163	66,0	1910	412
16	197	79,3	1930	470
60	249	83,1	1990	535
170	287	87,0	1970	614
2000	351	87,0	2030	1200

Размер кристаллов циркониевого электрокорунда зависит от условий охлаждения расплава. Так, по данным полученным в лаборатории ЮРАЗ, с увеличением скорости охлаждения расплава от 12 – 20 до 1000 – 2000 °С/мин размер первичных кристаллов уменьшается с 300 – 400 до 30 – 10 мкм и

растет число участков эвтектического строения. Скорость охлаждения расплава можно изменять, разливая его в металлическую изложницу, аналогичную изложнице такой же емкости, но с металлическими шарами, ускоряющими охлаждение расплава, и на валках–кристаллизаторах. В последнем случае расплав из печи поступает в зону формирования ленты, образуемую усилием прижима двух охлаждаемых валков, вращающихся навстречу друг другу.

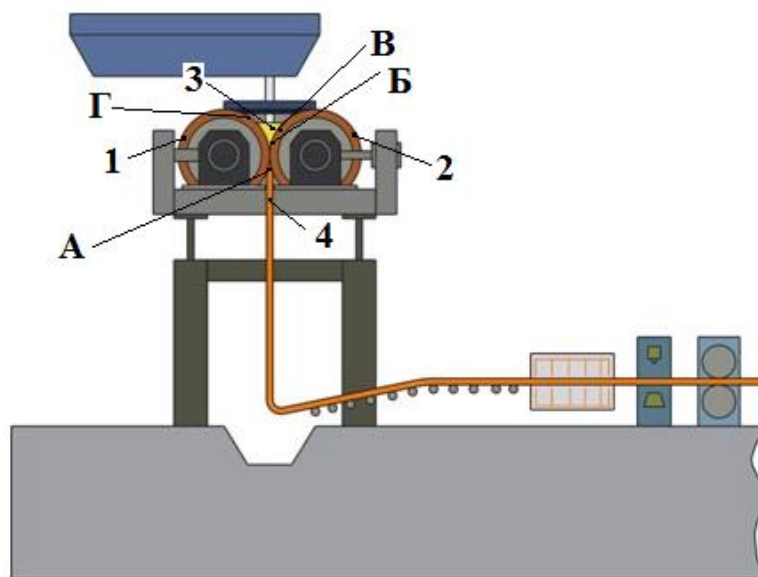


Рисунок 3 – Разливка электроплавленного корунда в изложницы с изменяемой скоростью охлаждения расплава при помощи металлических валков – кристаллизаторов.

На поверхности каждого из вращающихся валков 1 и 2 образуются твердые "корочки" расплава, которые, встречаясь в точке А (рисунок 3), сливаются (свариваются) в одну общую "корочку" — твердую полосу циркониевого электрокорунда. Температура расплава в печи при этом составляет 2323 – 2373 К, в струе – 2173 – 2253 К, а в зоне формирования полосы 4 в клине расплава 3 между валками – 2123 – 2163 К. Оптимальная скорость формирования электрокорундовой полосы в этих условиях составляет 0,17 м/с, а ее толщина 2,5 – 3,5 мм. Выход крупного шлифзерна (размер частиц 2–1 мм) из такой полосы составляет 65,3 %, а насыпная масса его изменяется в пределах 2010 – 1920 кг/м³. Сравнительная характеристика

химического состава и некоторых свойств зерен циркониевого электрокорунда, полученного из различных шихтовых материалов и охлажденного в валках – кристаллизаторах, по сравнению с зарубежными аналогами приведена в таблице 8

Таблица 8 – Сравнительная характеристика зерна циркониевого электрокорунда, полученного из различных шихтовых материалов в валках – кристаллизаторах.

Состав шихты	Массовая доля компонентов						Прочность единичного зерна Н/З	Прочность совокупности зерен, %	Хрупкость, %	Насыпная масса, кг/м ³	Примечания
	ZrO ₂	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO					
Al ₂ O ₃ + ZrO ₂ + TiO ₂	24,0	0,48	3,50	0,46	0,47	0,08	300	83,0	12,7	2050	Лабораторные образцы
Al ₂ O ₃ + бадделеит + TiO ₂	23,0	0,45	3,42	0,56	–	0,34	395	83,0	11,0	2150	
Глинозем + бадделеит + 3% TiO ₂	24,7	0,42	3,12	0,17	0,71	0,34	390	85,0	13,2	2170	Промышленная партия
Зерно фирмы „Тиролит“	21,63	0,27	1,45	0,55	0,17	0,34	390	85,0	14,1	2030	Зерно из зарубежных абразивных кругов
Зерно фирмы „Нортон“	20,00	0,10	1,95	0,25	0,34	0,19	376	86,0	16,0	2230	

Анализ данных таблицы 8. показывает, что используя различного состава шихты, можно получать материалы с высокими физико-механическими свойствами. При этом зарубежные аналоги, несмотря на более низкое содержание в них ZrO_2 , отличаются более высокими значениями насыпной массы, что, по-видимому, можно объяснить различием в технологии получения зерна. Особенность зарубежной технологии заключается в том, что кристаллизация циркониевого электрокорунда осуществляется в формах с добавлением в них в ходе слива расплава металлических шаров или кусков циркониевого электрокорунда предыдущих плавок, ускоряющих процесс охлаждения расплава. После этого измельчение материала производится в шаровых или стержневых мельницах, обеспечивающих более изометричную форму зерна и более высокую его насыпную массу по сравнению с зерном, полученным из материала, закристаллизованного в валках.

Недостатком способа кристаллизации циркониевого электрокорунда в валках – кристаллизаторах является малая их удельная производительность и низкая стойкость.

Так, непрерывнолитые заготовки, полученные на валках-кристаллизаторах, имеют улучшенную микроструктуру и обеспечивают более высокое качество абразивного зерна (изделий). В опытах расплав циркониевого электрокорунда на основе технического глинозема и нормального электрокорунда разливали со скоростью формирования слитка-ленты 0,16 м/с. Ввиду хрупкости слитков, попадая в приемный короб, разламывался на куски различных размеров. Раздельное охлаждение кусков на воздухе позволяло иметь более высокую скорость снижения температуры по сравнению с охлаждением кусков в стопке в коробе. Исследования показали, что минералогический (фазовый) состав и разрушаемость фракции < 1600 и < 1250 мкм шлифзерна циркониевого электрокорунда зависят от применяемого в шихте глинозем содержащего материала (технического глинозема или нормального электрокорунда), количества фазы ZrO_2 и

условий охлаждения слитка–ленты. Разрушаемость шлифзерна X определяли по выражению, %

$$X = (1 - G/P) 100,$$

где G — масса остатка шлифзерна после испытания и отсева на сите с размером стороны ячейки 100 мкм;

P — масса исходной навески шлифзерна 100 г.

Таблица 9 – Химический и фазовый состав циркониевого электрокорунда и разрушаемость шлифзерна.

Исходный глинозем-содержащий материал	Массовая доля, %							Массовая доля фаз слитков, %				Разрушаемость зерна, %	
	Al ₂ O ₃	ZrO ₂	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	стойка			Кусок, ZrO ₂	Из слитка-ленты со стопки	Из отдельно охлажденных кусков
								α-Al ₂ O ₃	эвтектика	ZrO ₂			
Технический глинозем (плавка А)	74,7	24,5	0,25	–	0,21	–	0,34	23,8	69,5	12,0	15,0	23,5	21,7
Нормальный электрокорунд (плавка Б)	72,94	23,8	0,48	1,6	0,53	0,65	–	24,3	69,5	14,0	27,0	13,3	11,4
Нормальный электрокорунд (плавка В)	72,1	24,22	0,96	2,0	0,15	0,57	–	25,6	68,8	20,0	65,0	14,7	10,3

В таблице 9 приведены данные, характеризующие изменение фазового состава циркониевого электрокорунда, полученного на основе технического глинозема (плавка А), нормального электрокорунда без присадки алюминия (плавка Б) и с присадкой алюминия (плавка В). Количество α - Al_2O_3 и эвтектики относятся к случаю охлаждения кусков слитка – ленты каждой плавки в стопке, а количество фазы ZrO_2 для обоих случаев – для охлаждения в стопке и в виде отдельных кусков на воздухе. К сожалению, авторы не привели полный фазовый состав сплавов с указанием количества сопутствующих фаз, как-то: Na_2O - $11\text{Al}_2\text{O}_3$ (для плавки А), CaO - $6\text{Al}_2\text{O}_3$, анортита, титановых минералов и др. (для плавки Б и В).

Из данных таблицы 9 следует, что присадка 0,3% Al в расплав (плавка В) повышает количество фазы ZrO_2 с 14% (плавка Б, без присадки А) до 20% в слитках, охлажденные в стопке. Авторы связывают это только с присадкой алюминия.

По-видимому, следует учитывать также и тот факт, что в (плавке В) более высокая концентрация оксидов титана (2,0 против 1,4% в плавке Б) в пересчете на TiO_2 , что приводит также к большему выходу стабилизированной фазы ZrO_2 . С этим, очевидно, связано и большее количество фазы ZrO_2 в плавке Б (14,9%) в сравнении с плавкой А (12,0%) на основе технического глинозема, в которой оксиды титана отсутствовали. Поэтому большее количество фазы ZrO_2 в сплаве плавки В (2,0 % TiO_2) в сравнении со сплавами плавки Б (1,6% TiO_2) и А (TiO_2 отсутствует), очевидно, связано не только с присадками в расплав алюминия, но и наибольшим для данной серии плавки содержанием оксидов титана. В связи с этим при выборе оптимального содержания стабилизирующей добавки необходимо учитывать концентрации других оксидов, присутствующих в расплаве циркониевого электрокорунда. Предметом дальнейших исследований должно быть установление функциональной связи количества ZrO_2 в слитках от полного химического состава электрокорунда, поскольку

разрушаемость, хрупкость зерна тем ниже, чем выше (в изученных пределах) содержание тетрагональной модификации диоксида циркония (фазы ZrO_2).

Циркониевый электрокорунд имеет очень высокую прочность [6].

Шлифовальные материалы из циркониевого электрокорунда используют в производстве обдирочных кругов. Коэффициент шлифования инструмента из циркониевого электрокорунда на обдирочных операциях не менее чем в 10 раз превышает этот показатель для инструмента из нормального электрокорунда.

4. Электрокорунд хромотитанистый, марки 93А – 95А, содержит оксиды хрома и титана. Легирование двумя компонентами позволяет улучшить качества материала. Благодаря высоким абразивным свойствам шлифовальные материалы из хромотитанистого электрокорунда вытеснили материалы из хромистого электрокорунда, который в настоящее время не производится.

Хромотитанистый электрокорунд используется для изготовления инструмента на керамических и бакелитовых связках для шлифования стальных закаленных и незакаленных заготовок, для шлифования с большим съемом металла и обдирочного шлифования. Выпускается в соответствии с ТУ 2 – 036 – 849 – 85 или ТУ 2 – 036 – 0221066 – 007 – 90.

5. Монокорунд, состоящий из плоскогранных изометричных зёрен монокристаллического корунда с небольшим содержанием примесей (2 – 3%), получают путём сплавления боксита с сернистым железом. Абразивные инструменты из монокорунда используются для шлифования труднообрабатываемых жаропрочных, конструкционных и других легированных сталей и сплавов.

6. Сферокорунд получают из расплавленного оксида алюминия в виде полых корундовых сфер (плотность его $2,2 \text{ г/см}^3$); содержит небольшое ($\leq 1\%$) количество примесей. Абразивные инструменты из сферокорунда эффективно применяются для обработки труднообрабатываемых материалов

(жаропрочных сплавов, нержавеющей стали), а также мягких и вязких материалов (цветных металлов, пластмасс, резины, кожи) [7].

1.2.2 Технология производства электрокорунда

1. Электрокорунд нормальный получают восстановительной плавкой в дуговых печах шихты, состоящей из бокситового агломерата, малозольного углеродистого материала и железной стружки. В процессе плавки примеси, содержащиеся в боксите, восстанавливаются и переходят в ферросплав, за исключением окиси кальция (CaO), которая почти целиком переходит в электрокорунд, создавая вредные минеральные образования, снижающие его качество. Поэтому содержание CaO в боксите должно быть минимальным.

В процессе плавки происходит восстановление окислов, главным образом, железа, кремния и титана. Образующийся комплексный ферросплав отделяется от обогащенного глиноземом расплава и осаждается на дне печи. Плавка ведется непрерывным способом с периодическим отдельным выпуском ферросплава и высокоглиноземистого расплава, содержащего 94-95% Al_2O_3 . Электрокорунд образуется в результате кристаллизации сливаемого в изложницы высокоглиноземистого расплава и состоит в основном из $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ и некоторого количества примесей. Благодаря хорошей отсадке, весь ферросплав при плавке получается в чистом виде и может быть полностью реализован.

Для лучшей отсадки ферросплава при высоком содержании окиси кремния в агломератах печь загружают некоторое количество железной стружки. Расплавленное железо растворяет восстанавливающийся кремний с образованием твердого раствора в $\alpha -$ феррите, что способствует его лучшему отделению от электрокорунда.

Основными реакциями, протекающими в ванне печи, являются реакции восстановления. При температуре 250°C начинается восстановление оксида железа, которое полностью завершается при $1200-1300^\circ\text{C}$.

Восстановление оксида кремния в смеси с Fe_2O_3 и заметное восстановление TiO_2 начинается при 1000°C . Восстановление оксидов CaO и MgO начинается при температурах, превышающих температуры восстановления оксида алюминия. По этой и другим причинам полное выделение их из боксита невозможно.

Для выплавки электрокорунда нормального допускается использование только низкокальциевых бокситов [8].

Основным элементом технологической схемы процесса получения электрокорунда нормального является руднотермическая печь (РТП). Режим работы печи определяет эффективность всего производства.

Технологический процесс плавки электрокорунда в РТП условно можно разделить на две стадии: стадию плавления шихты и стадию доводки расплава. На первой стадии идет плавление шихты и одновременно как твердое, так и гетерогенное восстановление оксидов, присутствующих в агломерате и антраците. На второй стадии происходит только рафинирование расплава и его перегрев для придания ему жидкотекучего состояния.

Ферросплав сливают в изложницу после каждой третьей плавки через 1 ч после выпуска электрокорунда, охлаждают и разбивают на копре.

Готовый расплав электрокорунда сливают в изложницы и охлаждают, затем разбивают на копре. С помощью магнитного сепаратора отделяют часть продукта, загрязненную ферросплавом вследствие плохой отсадки. Затем очищенный продукт сортируют по крупности зерен, пропуская через систему грохотов [9].

2. Электрокорунд белый получают из высокоглиноземистого расплава, выплавляемого в дуговых электропечах.

Основным сырьем для электрокорунда белого является глинозем, представляющий собой окись алюминия с незначительным количеством примесей.

Физико – механические свойства электрокорунда белого зависят от его химического и минералогического состава, обусловленного химическим

составом исходного глинозема. Поэтому к глинозему предъявляются определенные технические требования (ГОСТ 6912 – 64). Глинозем применяется двух марок: ГЭБ (глубокопрокаленный) или Г – 1 (рядовой), различающиеся лишь содержанием влаги и потерями при прокаливании. Немаловажным фактором при выплавке электрокорунда белого является гранулометрический состав глинозема, который обуславливает технико – экономические показатели плавки. Чем меньше в этом составе мелких фракций, тем меньше безвозвратных потерь (пылегазовые выделения при плавке) и тем стабильнее ход процесса плавки. Обычно применяемый на заводах глинозем по гранулометрическому составу относится к мелкодисперсным с содержанием фракции с размером частиц 40–25 мкм до 50%.

Подвергаемый плавке глинозем имеет высокую степень чистоты, особенно по содержанию оксидов щелочных металлов, и представляет собой мелкодисперсный порошок двух модификаций: $\gamma - Al_2O_3$ и $\alpha - Al_2O_3$. В зависимости от содержания в исходном проплавляемом глиноземе этих модификаций различают рядовой (содержание $\alpha - Al_2O_3$ менее 40%) и глубокопрокаленный (содержание $\alpha - Al_2O_3$ более 80%) глиноземы. Последний образуется при прокалке рядового глинозема в специальных печах при температуре 1000-1100°C.

Плавка электрокорунда белого осуществляется в дуговых трехфазных электропечах непрерывным способом с периодическим выпуском расплава в специальные изложницы. Печь состоит из сварного стального кожуха, металлического свода, электрододержателей, механизма передвижения электродов, механизма наклона печи, системы водоохлаждения, трансформатора и защитной футеровки – гарнисажа. Загрузка глинозема в печь производится пневмотранспортом из глиноземного цеха в печные бункеры, установленные над каждой печью. Емкость одного бункера составляет, как правило, суточную норму. Из бункера глинозем самотеком поступает на автоматические весы и далее поступает в печь. Плавка ведется

под закрытым колошником. В дуговой печи $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$ превращается в $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$. Наклоном печи осуществляется слив в изложницу, где расплав остывает и поступает на дальнейшую обработку

3. Легированные электрокорунды выплавляют в электрических дуговых печах из глинозема с добавлением легирующих компонентов.

4. Для получения хромотитанистого электрокорунда в состав исходной шихты добавляют оксиды хрома и титана.

5. При выплавке циркониевого электрокорунда используется смесь глинозема с чистым оксидом циркония или бадделеитовым концентратом.

Технологический процесс промышленной плавки циркониевого электрокорунда аналогичен плавке белого и легированного электрокорунда способом "на выпуск" и производится в таких же электрических трехфазных дуговых печах. При этом в качестве глиноземсодержащего сырья используют шлифматериалы белого и нормального электрокорундов, взятых, как правило, из избыточных номеров зернистостей, находящих ограниченное применение в производстве абразивного инструмента. В качестве второго компонента применяют диоксид циркония, содержащий порядка 98 % ZrO_2 или циркониевый концентрат. Для получения мелкокристаллической структуры циркониевого корунда в России и за рубежом выпуск расплава корунда производят в изложницу, 50 % объема которой заполняется стальными шарами, или применяют специальные изложницы, обеспечивающие охлаждение расплава в виде пластин толщиной 20–50 мм; применяют также охлаждение в валках–кристаллизаторах, о чем было изложено выше [10].

1.3 Технология получения корундовой керамики

Исходными материалами в технологии корундовой керамики являются порошки оксида алюминия, получаемые различными способами.

Технический глинозем (технический оксид алюминия) традиционно является одним из основных видов сырья для производства корундовой керамики. Его получают путем разложения минерала боксита, представляющего собой смесь гидроксидов алюминия раствором едкой щелочи с образованием алюмината натрия, который переходит в раствор. Раствор алюмината очищают от примесей, после чего выделяют чистый гидроксид алюминия, который прокаливают при температуре 1150–1200°C. В результате образуется порошок технического глинозема. Полученные порошки представляют собой шарообразные (сферолитные) агломераты кристаллов $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$ размером менее 0,1мкм. Средний размер сферолитов составляет 40–70мкм. В технологии керамики на основе Al_2O_3 широко применяют белый электроплавленный корунд. Белый электрокорунд (корракс, алунд) получают путем плавки в электрических дуговых печах технического глинозема. Содержание $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ в белом электрокорунде составляет 98% и более [11].

Порошки оксида алюминия получают также термическим разложением некоторых солей алюминия, например азотнокислого алюминия. Средний размер получаемых частиц составляет 0,1мкм, вследствие чего обладает большой химической активностью.

Для получения ультрадисперсных порошков Al_2O_3 , которые используются в технологии конструкционной и инструментальной керамики, широкое распространение получил способ совместного осаждения гидроксидов (СОГ) и плазмохимического синтеза (ПХС). Сущность метода СОГ заключается в растворении солей алюминия, например AlCl_3 в растворе аммиака и последующем выпадении образующихся гидратов в осадок. Процесс ведут при низких температурах и больших сроках выдержки. Полученные гидроксиды сушат и прокаливают, в результате образуется

порошок Al_2O_3 с размером частиц 10–100нм. В технологии ПХС водный раствор $Al(NO_3)_3$ подается в сопло плазмотрона. В каплях раствора возникают чрезвычайно высокие температурные градиенты, происходит очень быстрый процесс синтеза и кристаллизации Al_2O_3 . Частицы порошка имеют сферическую форму и размер 0,1–1мкм.

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

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

Формование корундовых изделий производят путем литья из водных суспензий, литья под давлением, одноосного статического прессования, гидростатического прессования, горячего прессования [12].

В технологии шликерного литья первой операцией является подготовка водной суспензии – шликерас требуемыми литейными свойствами, которые определяются его рН. Глиноземистые шликеры разжижаются как в кислой, так и в щелочной среде, причем имеются определенные интервалы значения рН, которым соответствует наибольшее разжижение. Перед литьем приготовленный шликер вакуумируют при остаточном давлении 15–20мм рт.ст. Изделия отливают в гипсовых формах как сливным, так и наливным способом. Усадка отлитых изделий в форме по мере их высыхания составляет 1–1,5%. Отлитые изделия сушат при комнатной температуре. Литье используется для формования тонко-стенных корундовых изделий сложной формы, не испытывающих в процессе эксплуатации значительных механических воздействий.

Для производства изделий из Al_2O_3 достаточно простой формы, например, втулок, режущих вставок, форсунок, фильер используется одноосное статическое прессование в металлических пресс-формах. В этом случае в порошок добавляется пластификатор, чаще всего каучук, в количестве 1–2% масс. [13].

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

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

Спекание корундовой керамики в большинстве случаев является твердофазным. Температура спекания зависит от дисперсности и активности исходных порошков, условий спекания, вида и количества добавок. Дисперсность порошков корунда оказывает решающее влияние не только на температуру спекания, но и вообще на возможность спекания корунда. Максимальный размер частиц порошка Al_2O_3 не должен превышать 3–5 мкм. Для порошков Al_2O_3 с дисперсностью 1–2 мкм без введения добавок температура спекания находится в пределах 1700–1750°C. При этом достигается плотность 3,7–3,85 г/см³, или относительная плотность 0,94–0,96.

Для подобного уплотнения при дисперсности 2мкм требуется уже температура 1750–1800°C, а при дисперсности около 5мкм даже при 1850°C плотность составляет всего 0,82–0,84 от теоретической. Ультра- и нанодисперсные порошки Al_2O_3 вследствие высокой поверхностной энергии и дефектности кристаллического строения являются весьма активными. Корундовые прессовки из таких порошков могут спекаться до высокой плотности (0,95) при температуре 1600°C без существенного увеличения размера зерна.

Во многих случаях в корундовую шихту вводятся различные добавки в виде оксидов или солей. Это делается с целью снижения температуры спекания и изменения характера кристаллизации при спекании.

Добавка TiO_2 снижает температуру спекания корунда до 1500–1550°C. При этом образуется твердый раствор TiO_2 в Al_2O_3 , что вызывает искажение кристаллической решетки корунда и, как следствие, более активное спекание и рекристаллизацию. Добавка TiO_2 вызывает интенсивный рост зерна корундовой керамики до 200–350мкм.

Ряд добавок задерживает рост кристаллов корунда. Наиболее сильно этот эффект проявляется при введении MgO . При введении в шихту 0,5–1% MgO размер кристаллов спеченной керамики не превышает 2–10мкм. Это объясняется образованием на поверхности корунда микронных прослоек магнезиальной шпинели, задерживающих рост кристаллов. Мелкозернистая структура корунда с добавкой MgO улучшает механические свойства корунда. Снижение температуры спекания корунда при введении MgO не наблюдается.

Кроме добавок оксидов, часто применяют добавки, действие которых основано на образовании стекловидного вещества. Такие добавки снижают температуру обжига и одновременно вызывают сокращение роста кристаллов, уменьшение пористости. Стеклообразующие добавки в большинстве случаев представляют собой щелочно-земельное алюмосиликатное стекло самого различного состава [14].

1.4 Механическая активация оксидных порошков

Современные представления о внутренней сущности механохимических превращений веществ при тонком измельчении опираются на понятия об активации твердых реагентов механическими силами (механохимическая активация, механоактивация). Понятие «механоактивация» введено в литературу А.В.Смекалом. Этот процесс определяется как изменение энергетического состояния, физического строения и химических свойств веществ под действием механических сил при диспергировании, причем изменение энергетического состояния относится к гетерофазной системе, твердые компоненты которой подвергались механическому воздействию.

Особый интерес представляет механическая активация твердых тел и реакций с их участием, так как установлено, что часть механической энергии, подведенной к твердому телу во время активации, усваивается им в виде новой поверхности, линейных и точечных дефектов. Кроме того, известно, что химические свойства кристаллов определяются наличием в них дефектов, их природой и концентрацией. С помощью механической активации удастся использовать в химии ряд физических явлений, происходящих в твердых телах при больших скоростях деформации. К ним относятся: изменение структуры твердых тел; ускорение процессов диффузии при пластической деформации; образование активных центров на свежесформированной поверхности; возникновение импульсов высоких локальных температур и давлений.

Указанные эффекты можно получить с использованием измельчительного оборудования. В результате совершенствования этого оборудования появились аппараты с высокой интенсивностью подвода энергии, и роль этих эффектов при измельчении сильно возросла. Технической основой для проведения работ в области сверхтонкого измельчения служит скоростная измельчительная техника. Малогабаритная и быстроходная, с большой частотой воздействия на измельчаемый материал и

высокой концентрацией энергии в единице рабочего объема, работающая как в ударном, так и в истирающем режиме, эта техника позволяет исследовать и использовать на практике эффекты, обусловленные сверхтонким измельчением веществ (например, планетарная мельница периодического действия – рисунок 4).



Рисунок 4 – Фотография планетарной мельницы периодического действия

Физико–химические явления, обусловленные механическим воздействием на твердые тела, особенно ярко проявляются при измельчении материалов. Известно, что вещества в тонкодисперсном состоянии характеризуются не совсем обычными свойствами — они становятся более химически активными, бурно, иногда со взрывом, реагируют с другими веществами, плавятся при более низких температурах, лучше спекаются, дают более прочные спеки и т. д. Так же известно, что вещества изменяют свой состав или строение под действием механических сил.

Таким образом, чисто физические процессы трения или измельчения, связанные с приложением механических сил, становятся причиной химических реакций или изменения реакционной способности твердых веществ.

Нельзя не учитывать влияние размеров частиц измельчаемого вещества на его физическое состояние и химические свойства. Рассуждая абстрактно, представим такой вид измельчения, при котором происходит разрушение вещества строго по кристаллографическим плоскостям и при

этом не создается никаких дефектов кристаллической решетки, а в частицах не остается остаточных напряжений. Даже при таком виде измельчения существует некоторый предел в размерах частиц, по достижении которого неизбежно должны произойти изменения измельчаемого вещества. Как только поперечные размеры частиц станут соизмеримы с параметрами кристаллической решетки, так сразу кристаллическое вещество изменит свою структуру, оставаясь кристаллическим телом, но с меньшими параметрами решетки, либо превратившись в аморфное вещество с поглощением энергии, равной энергии кристаллической решетки, либо произойдет деструкция вещества (механолиз, механокрекинг, диссоциация и т. п.).

Размеры частиц при диспергировании веществ являются одной из причин глубоких изменений вещества наряду с другими причинами, такими, как дефекты кристаллической решетки и остаточные напряжения. Кроме того, оно дает возможность определить границы между тонким и сверхтонким измельчением. Тонким измельчением следует считать такую степень дисперсности, при которой еще не наблюдается глубоких изменений структуры и элементного состава исходного вещества. При сверхтонком измельчении исходный материал перестает существовать в своей изначальной структуре или химическом составе, превращаясь в новое вещество с иными свойствами, структурой и даже элементным составом [15].

1.5 Постановка задач

На основании проведенного литературного обзора установлено, что оксидная керамика на основе Al_2O_3 является перспективным материалом конструкционного и функционального назначения.

В технологии корундовой керамики широко используется белый электрокорунд. Тем не менее, показано, что проблемы активирования спекания корундовой керамики имеет важное практическое значение вследствие того, что температура обжига плотной корундовой керамики составляет 1800–1850 °С. При снижении температуры спекания значительно уменьшаются энергозатраты при эксплуатации энергоустановок.

Эффективным способом повышения активности исходных порошков является их механическая активация в энергонапряженных планетарных мельницах. Другим методом активирования процесса спекания корундовой керамики является добавление в исходные порошки ультра- и нанодисперсных керамических и металлических порошков.

Таким образом, целью настоящей работы являлось исследование влияния режимов механической активации порошка белого электрокорунда и влияния добавок нано- и ультрадисперсных порошков НП Al, Al_2O_3 , УДП TiO_2 на физико-механические свойства спеченной корундовой керамики.

2 Экспериментальная часть.

2.1 Материалы и оборудование, методики исследования

2.1.1 Исходные материалы

В работе использовались следующие исходные материалы:

1. Электрокорунд марки 25А состав, которого приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Химический состав электрокорунда белого.

Марка	Массовая доля, %, не более			
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
25А	99,1	0,1	0,26	0,06

2. Нанодисперсный плазмохимический порошок Al₂O₃.
3. Нанопорошок Al полученный методом электрического взрыва проводников, средний поверхностный диаметр частиц составляет 100нм.
4. Ультрадисперсный порошок TiO₂ с размером частиц 0,5 – 2 мкм. Порошки №2, 3, 4 использовались в качестве активирующей добавки к порошку белого электрокорунда в соотношениях 1,5 – 10 % по массе.

2.1.2 Оборудование и методика исследования

2.1.3 Оборудование

1. Энергонапряжённая планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL».

Планетарная мельница «Активатор 2SL» предназначена для тонкого помола твердых веществ и проведения механохимических реакций. На мельнице установлен электродвигатель, 1380 об/мин, 2.4 кВт, включаемый, через комплект контроля скорости вращения (инвертор Toshiba VFS11–4022 PL, 400В, 3ф.), который обеспечивает плавное регулируемое повышение оборотов двигателя до номинального, предохраняет от перегрузки при старте и позволяет производить помол материала при различных ускорениях мелющих тел. Мельница управляется от персонального компьютера при

помощи программы «Активатор» через USB интерфейс.

Мельница снаряжается двумя стальными барабанами по 270 мл каждый (с комплектами шаров).

Технические характеристики:

скорость вращения центральной оси – 1000 об/мин (макс.);

скорость вращений барабанов – 1500 об/мин (макс.);

соотношение радиусов (центрального и барабанов) – 1,57;

радиус планетарного вращения – 62,76 мм;

внутренний радиус барабанов – 40 мм;

объем 1 барабана – 270 мл (стальной барабан без футеровки),

– 200 мл (с футеровкой);

потребляемая мощность – 2,4 кВт, 380 В/3фазы;

время разгона до максимальной скорости – 30 сек.;

масло – И-40 (0,5–0,6 л);

загрузка барабанов: шары – 370 г. (сталь ШХ15, $D=6-12$ мм)

порошок – 30–100 г. (зависит от плотности порошка)

2. Весы лабораторные электронные «ВЛЭ-250».

Весы предназначены для статического взвешивания грузов на предприятиях различных отраслей промышленности, сельского хозяйства, в научно – исследовательских организациях. Весы предназначены для работы в помещениях при температуре $20\pm 5^{\circ}\text{C}$, относительной влажности не более 80% и атмосферном давлении от 84 до 107 кПа (от 630 до 800 мм рт. ст.).

Таблица 11 – Основные технические характеристики весов

Наименование параметра
Пределы взвешивания, г –наибольший –наименьший
Дискретность отсчета (dd), г
Цена поверочного деления(e), г
Класс точности по ГОСТ. 24104–88
Пределы допускаемой погрешности, мг
Непостоянство показаний ненагруженных весов, $\pm \theta$
Диапазон выборки массы тары, г
Диапазон автоматической установки на нуль, г
Время работы без корректировки „нуля”, не более, мин
Время измерения, не более, секунд
Диапазон рабочих температур, °С
Потребляемая мощность, не более, В А
Время готовности весов к работе после включения, не более, мин
Размер грузоприемной платформы, не менее, мм
Масса, не более, кг

3. Вибропривод ВП–С/220 с системой управления частотой и таймером.

Предназначен для сообщения колебаний установленным на него изделиям вибрационного технологического оборудования. Система управления частотой позволяет регулировать частоту колебаний, таймер – задавать время работы вибропривода. Вибропривод относится к вибрационному оборудованию с электромеханическим приводом. Климатическое исполнение вибропривода – УХЛ – 4 по ГОСТ 15150–69.

Вибропривод не должен применяться для работы с радиоактивными и взрывоопасными материалами.

Таблица 12 – Технические характеристики вибропривода

№ п/п	Параметры, единицы измерения	Значения параметров
1	2	3
1	Суммарная масса технологического оборудования, устанавливаемого на плите вибропривода (включая пробы материалов), не более, кг	10
2	Амплитуда (полуразмах) колебаний плиты вибропривода (в зависимости от массы установленного на плите оборудования), мм	0,25...1,5
3	Частота напряжения на выходе системы управления, Гц	30...70
4	Частота вращения вала электродвигателя, об/мин	760...1760
5	Диапазон регулирования времени (с шагом 1 мин) непрерывной работы вибропривода, мин	1...81
6	Максимальное число рабочих периодов	9
7	Максимальное время работы в периоде, мин	9
8	Максимальное время паузы в периоде, мин	9

4. Гидравлический пресс (номинальное усилие 20 тонн).
5. Высокотемпературная печь сопротивления .
6. Твердомер Роквелла.
7. Шлиф – машина для изготовления шлифов.

2.1.4 Механическое измельчение

Механическая обработка порошка электрокорунда была проведена в энергонапряженной планетарной мельнице «Активатор–2SL» (Рисунок 5) Порошок молили до необходимой степени дисперсности при различных режимах, частота вращения барабанов f составляла 20 и 30 Гц, время обработки τ – 10, 20, 30 и 40 минут при каждой частоте.



Рисунок 5 – Фотографии энергонапряжённой планетарной шаровой мельницы «Активатор 2SL»

Ситовый анализ

Для проведения ситового анализа сита устанавливаются друг над другом. (Рисунок 6) Наверху помещается сито с самыми крупными ячейками, а внизу – с самыми мелкими и дно. Для анализа берется навеска порошка в 120 г, которая насыпается на верхнее сито и просеивается с помощью вибропривода в течение 27 мин. После просева каждая фракция порошка взвешивается. Вычисляется процентное содержание каждой фракции по формуле:

$$\sum_{i=1}^7 m_i = \frac{m_i}{\sum m_i} * 100\% ,$$

где m_i – масса определенной фракции.

Для каждого порошка ситовый анализ проводят не менее двух раз и считают среднее арифметическое результатов параллельных измерений.

Определение гранулометрического состава порошков методом ситового анализа было проведено на виброприводе с использованием набора сит с размером ячеек 40, 63, 100, 140 и 200 мкм. по ГОСТ 3584–53, время просева 27 минут, частота 70 Гц.



Рисунок 6 – Вибропривод ВП–С/220 с системой управления частотой и таймером

Формование

Для повышения прессуемости и формуемости порошка электрокорунда в него добавляли пластификатор. В качестве пластификатора использовали каучук и КМЦ (корбооксиметил целлюлоза). После сушки пластифицированную смесь подвергали протирке через сито 500 мкм, в результате получили гранулы, которые представляют собой агломераты отдельных частиц порошка.

Подготовленные формовали методом одноосного статического прессования. Этот технологический вариант формования деталей из порошков представляет собой прерывистый процесс, при котором гидравлическая площадь прессуемого изделия остается постоянной в течение всего процесса прессования, плотность увеличивается за счёт уменьшения высоты, а давление непрерывно возрастает до определенной заданной максимальной величины или по достижении заданной высоты или плотности изделия. Процесс протекает в закрытой со всех сторон пресс-форме при комнатной температуре и атмосферном давлении (рисунок 7). При этом происходит уплотнение порошка за счет уменьшения объема пор, повышения удельной поверхности соприкосновения частиц, увеличения

текучести порошка, происходят упруго–пластические деформации или хрупкое разрушение частиц и их агломератов на поверхностях контакта. Вследствие чего, деформируемое порошковое тело упрочняется. В общем случае процесс холодного прессования состоит из трёх стадий (рисунок 8). На первой стадии в полость матрицы засыпается необходимое количество порошка, затем в зависимости от выбранного метода прессования (одностороннее или двухстороннее), к пуансонам прикладывается давление, последней стадией холодного прессования является выпрессовка.

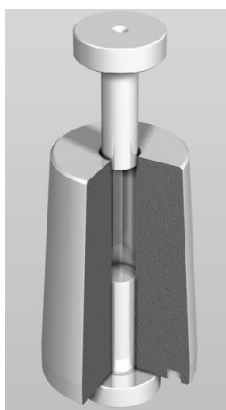


Рисунок 7 – Пресс – форма для одноосного прессования

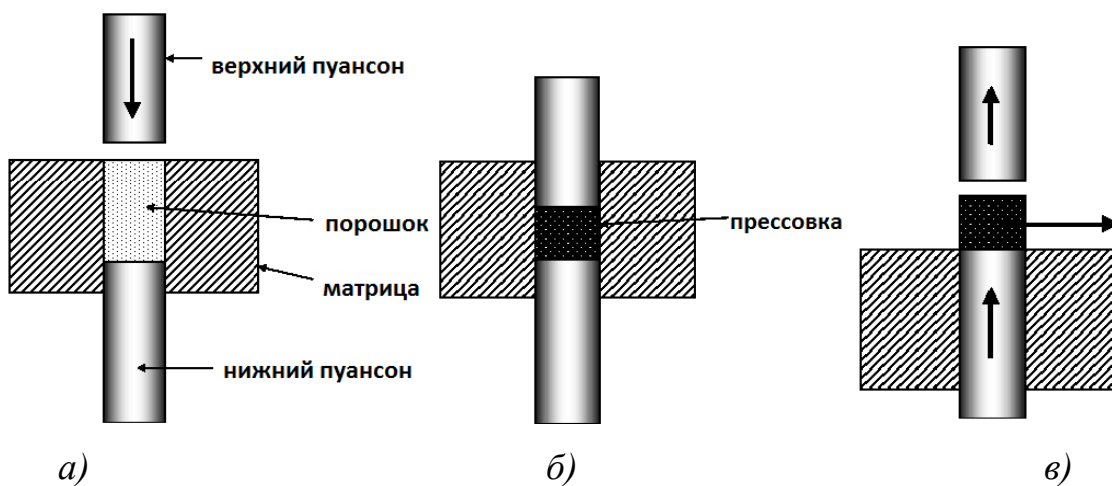


Рисунок 8 – Стадии холодного прессования: а) засыпка порошка, б) прессование, в) выпрессовка

В результате холодного прессования в закрытых пресс–формах получается прессовка, по форме и соотношению размеров соответствующая готовой детали с припусками, необходимыми для прохождения последующих операций.

Было проведено холодное статическое одноосное прессование в жесткой пресс-форме, при давлении 200 – 600 МПа для керамических порошков из белого электрокорунда (гидравлический пресс Р – 20, номинальное усилие 20 тонн), получили серии образцов: 32 образца $d=10$ мм и $h=7$ мм и 11 образцов $d=26,4$ мм и $h=11$ мм.

Спекание

Спекание керамических прессовок было проведено при температуре 1600°C в высокотемпературной печи сопротивления по следующему термическому режиму (нагрев – 7 ч., выдержка – 1 ч., охлаждение с печью), указанному на рисунке 9.

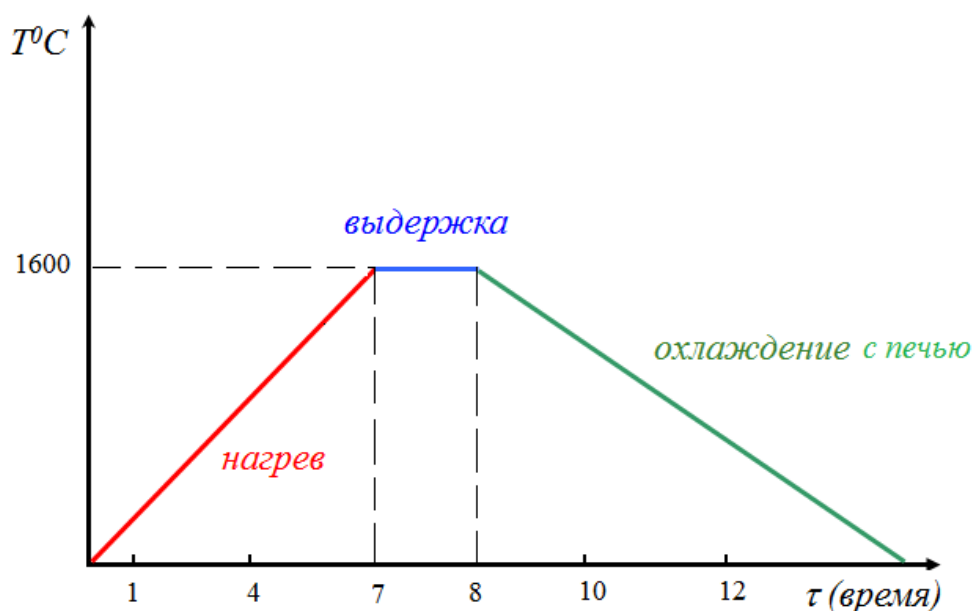


Рисунок 9 – Термический режим спекания керамических прессовок в высокотемпературной печи сопротивления.

Спеченные образцы взвешивали и измеряли размеры, рассчитывали плотность и усадку.

Плотность спеченных образцов определяли по следующей формуле:

$$\rho_i = \frac{m_i}{V_i},$$

где m_i – масса спеченного образца, г,

V_i – объем спеченного образца, см^3 .

Усадку спеченных образцов определяли по следующей формуле:

$$y_d = \frac{d_{\text{п}} - d_{\text{сп}}}{d_{\text{п}}} \cdot 100\%,$$

где $d_{\text{п}}$ и $d_{\text{сп}}$ – диаметры спрессованного и спеченного образцов соответственно.

Определение твёрдости по Роквеллу

Твёрдость спеченных образцов HRA, определяли по стандартной методике с помощью твердомера Роквелла, общая нагрузка составляла 60 кг, индентором являлся алмазный конус.

Шлифование

Шлифовка и полирование керамических образцов были проведены при помощи алмазных паст, с целью получения микрошлифов для последующего изучения микроструктуры и пористости.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Проект выполнен в рамках научно-исследовательской работы для НИТПУ ИШНПТ. Проект обладает потенциалом, выраженным в механической обработке порошков глинозема и электрокорунда, в следствии чего после спекания образцов мы получаем большую плотность керамических изделий с использованием печей высокого сопротивления при 1600 °С. Данная технология является актуальной для предприятий, выпускающих керамические изделия, применяемые в инженерных отраслях, керамика полученная из порошков обработанных механическим методом требует более простого оборудования для спекания, конечный продукт получается с меньшим процентом порообразований. Данный метод обработки может заинтересовать производителей керамики тем что он требует более дешевого оборудования. Потенциальными потребителями данного метода являются предприятия корпорации, фирмы, машиностроительной отрасли, расположенные на территории Российской Федерации и зарубежных стран, включающие в себя авиакосмические, оборонно-промышленные комплексы и т.д.

4.2 SWOT-анализ

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

SWOT – анализ НИР позволяет оценить факторы и явления, способствующие или препятствующие продвижению метода на рынок. Для анализа метода составлена таблица 19

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

Таблица 19 – SWOT–анализ НИР

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
<p>С1. Повышение эффективности производственных процессов;</p> <p>С2. Уменьшение пористости, увеличение твердости</p> <p>С3. Наличие необходимых установок для проведения испытаний;</p> <p>С4. Меньшие затраты на выпуск изделия</p>	<p>В1. Появление дополнительного спроса на конечный продукт;</p> <p>В2. Возможность использования на мировом уровне;</p> <p>В3. Использование во многих отраслях;</p> <p>В4. Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p>
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
<p>Сл1. Малое количество предприятий по распространению и производству технической керамики.</p> <p>Сл2. Отсутствие квалифицированных работников для применения концепции в различных отраслях.</p>	<p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Повышение стоимости оборудования</p>

Следующим этапом является выявление соответствия сильных и слабых сторон проекта условиям внешней среды. Данный анализ соответствий (или несоответствий) необходим для оценки необходимости каких-либо стратегических изменений. В табл. 19 представлены корреляции сильных сторон проекта и возможностей его реализации.

Таблица 20 – Сильные стороны проекта и возможности

Возможности проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	+	+	+	+
	В2	+	+	+	+
	В3	+	+	+	+
	В4	+	+	+	+

Из таблицы 20 следует, что сильные стороны проекта соответствуют возможностям реализации по параметрам: В1С1С2С3С4; В2С1С2С3С4; В3С1С2С3С4.

Таблица 21 – Слабые стороны проекта и возможности

Возможности проекта		Сл1	Сл2
	В1	+	+
	В2	+	-
	В3	0	-
	В4	-	0

Из таблицы 21 следует, что слабые стороны проекта коррелируют с возможностями реализации по параметрам: В1Сл1; В2Сл2

Таблица 22 – сильные стороны проекта и угрозы

Угрозы		С 1	С 2	С 3	С 4
	У 1	+	+	0	+
	У 2	0	+	-	-

Из таблицы 22 следует, что сильные стороны проекта соответствуют угрозам реализации по параметрам: У1С1; У1С2; У1С4; У2С2.

Проанализировав полученные данные, можно сказать, что наибольшую угрозу проекту предоставляет увеличение цены на оборудование и отсутствие спроса на новые технологии

4.3 Планирование и график НИР

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Разделим исследование на этапы, представленные в таблице 23

Таблица 23 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, Инженер
Выбор	2	Изучение литературы по теме НИР	Инженер
	3	Составление плана	Инженер

направления исследований		работ	
	4	Выбор направления исследований	Руководитель, Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Выбор порошков, проведение ситового анализа	Инженер.
	6	Измерение насыпной плотности порошков	Руководитель, Инженер.
	7	Изготовление навесок	Инженер
	8	Помол порошков в шаровой планетарной мельнице	Руководитель, Инженер
	9	Добавление к помолотым порошкам КМЦ	Руководитель, Инженер
	10	Холодное одностороннее прессование при давлении 200-600 МПа	Инженер
	11	Спекание образцов в печи высокого сопротивления при 1600°C с выдержкой 1 ч.	Инженер

	12	Определение твердости по Роквеллу	Инженер
	13	Построение графиков, диаграмм, таблиц	Инженер
	14	Сравнительный анализ полученных образцов	Инженер
	15	Научное обоснование результатов	Руководитель, Инженер
Обобщение и оценка результатов	16	Анализ полученных результатов	Руководитель, Инженер
	17	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Инженер
Оформление отчета, по ВКР (комплекта документации)	18	Сдача отчета по ВКР	Инженер

4.4.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения трудоёмкости работ используется опытно-статистический метод расчёта ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5},$$

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

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

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

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

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

$t_{ожi}$ -ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ -численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, человек

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k,$$

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

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

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

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{КГ}}{T_{КГ} - T_{ВД} - T_{ПД}},$$

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

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

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

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{КГ}}{T_{КГ} - T_{ВД} - T_{ПД}} = \frac{365}{365 - 108 - 10} = 1,48$$

Длительность этапов в рабочих днях. Следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ T_K нужно округлить до целых чисел.

4.4.2 Техническая готовность НИР

Техническая готовность исследования отражает то, насколько выполнены запланированные этапы или работа. Численно показатель технической готовности выражается как отношение продолжительности работ, выполненных на момент исчисления этого показателя, к общей запланированной продолжительности работ, при этом следует учесть, что период исследования составляет примерно 6 месяцев, студент-дипломник выступает в качестве основного исполнителя.

Для выделения удельного значения отдельной работы из общей продолжительности работ используется формула:

$$Y_i = \frac{T_{pi}}{T_p} \cdot 100\% ,$$

где Y_i – удельное значение каждой работы в%;

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

T_p – суммарная продолжительность работ, раб.дн.

Техническую готовность индивидуальной работы определим по формуле:

$$G_i = \frac{\sum_{i=1} T_{pi}}{T_p} \cdot 100\% ,$$

где $\sum_{i=1} T_{pi}$ – нарастающая продолжительность на момент выполнения i-той работы.[17]

Результаты расчетов приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Временные показатели проведения НИР

№ Работы	Исполнители	Продолжительность работ				
		t _{min} , чел.-дн.	t _{max} , чел.-дн.	t _{ож} , чел.дн.	T _p , раб.дн.	T _к , кал.дн.
1	Руководитель, Инженер.	1	3	2	1	2
2	Инженер	20	30	18	18	27
3	Инженер	2	4	3	3	4
4	Руководитель, Инженер	1	3	2	1	2
5	Инженер.	2	10	8	8	12
6	Руководитель, Инженер	5	2	4	4	6
7	Инженер.	1	20	9	9	13
8	Руководитель, Инженер	10	2	7	7	10
9	Руководитель, Инженер	1	6	3	3	4
10	Инженер	4	2	4	4	6
11	Инженер	1	2	2	2	3
12	Инженер	1	5	3	3	4
13	Инженер	3	6	4	4	6
14	Инженер.	4	3	4	4	6

15	Руководитель, Инженер	1	1	1	1	2
16	Руководитель, Инженер	2	14	6	3	4
17	Руководитель, Инженер	2	2	2	1	2
18	Инженер	2	6	4	4	6
ИТОГО						119

По данным таблицы 24 видно, что в исследовании для данной работы задействовано два человека (руководитель и инженер), а на выполнение НИР требуется 119 календарных дней.

4.4.3 Построение графика работ

В качестве графика можно использовать диаграмму Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в рамках таблицы 25 с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) за период времени всех работ. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за тот или иной этап работы.

Таблица 25- Диаграмма Ганта

Этапы	Вид работы	Исполнитель и	T_k	Ошибка!	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение технического задания	Доцент, Инженер	2					
2	Изучение литературы по теме НИР	Инженер	27					
3	Составление плана работ	Инженер	4					

4	Выбор направления исследований	Доцент, Инженер.	4																								
5	Выбор порошков, проведение ситового анализа	Инженер	12																								
6	Измерение насыпной плотности порошков	Доцент, Инженер	6																								
7	Изготовление навесок	Инженер	13																								
8	Помол порошков в шаровой планетарной мельнице.	Доцент, Инженер.	10																								
9	Добавление к помолотым порошкам КМЦ	Доцент, Инженер	4																								
10	Холодное одностороннее прессование при давлении 200-600 МПа	Инженер.	6																								
11	Спекание образцов в печи высокого сопротивления при 1600°C с выдержкой 1 ч.	Инженер	3																								
12	Определение твердости по Роквеллу	Инженер.	4																								

Себестоимость работы формируется из затрат, которые, в свою очередь, группируются по следующим экономическим элементам:

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ат.техн}} + I_{\text{ЗП}} + I_{\text{соц.отг.}} + I_{\text{накл.расх.}} + I_{\text{прочие}}$$

Здесь $I_{\text{мат}}$ – материальные затраты, включающие стоимость материалов и сырья, необходимого при изготовлении продукции.

Отражает стоимость материалов с учетом транспортно-заготовительных расходов (1% от стоимости материалов), используемых при разработке программного обеспечения. Данные по расходным материалам представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена ед.,(руб.)	Количество	Сумма, (руб.)
Порошок Al, Al ₂ O ₃ , УДП TiO ₂	1800	0,5 кг	900
Флеш-карта 29 GB	350	1 шт.	350
Бумага формата А4	250	1 уп.	250
Картридж для принтера	500	1 шт.	500
Канцтовары	100	1 шт.	100
Тетрадь	20	1 шт.	20
Итого			2120

Согласно таблице 26 расходы на материалы составляют $C_{\text{мат}}=900+350+250+500+100+20.=2120$ рублей.

4.4.5 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

Для проведения научно-исследовательской работы проекта требуются следующие виды оборудования: Шаровая мельница «МШ-2», гидравлический пресс, Муфельная печь, Твердомер Роквелла. Оборудование имеется в наличии НИТПУ ИШНПТ.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$Z_{об} = (Ц * F_{ф}) / (F_{н} * F_{сс}),$$

где Ц – цена оборудования, р.; $F_{н}$ – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч; $F_{сс}$ – срок службы оборудования, год; $F_{ф}$ – фактическое время занятости оборудования в НИР, ч.

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 27. Данные взяты на основе отчета лаборатории.

Результаты расчетов представлены в таблице 27

Таблица 27 – Расчет величины амортизационных отчислений

Наименование оборудования	Цена, Ц, руб.	Срок службы, $F_{сс}$, год	Время эксплуатации, $F_{ф}$, дн.	Затраты, $Z_{об}$, руб.
энергонапряжённая планетарная шаровая мельница «Активатор 2SL»	100000	15	10	183
Гидравлический пресс	120000	15	6	132
высокотемпературная печь сопротивления	4000000	10	3	3288

Твердомер роквелла	100000	15	4	73
Итого	3676.			

Амортизация рассчитана на оборудование стоимостью более 100 тысяч рублей. Итоговые затраты на амортизацию оборудования составили 8392 рублей.

4.4.6 Расчет заработной платы

Для выполнения данной работы требуется 2 исполнителя: руководитель (доц.) и инженер (инж). Исходными нормативами заработной платы данных категорий, работающих является оклад, определяющий уровень месячной заработной платы в зависимости от объема и ответственности работ. Месячный оклад руководителя составляет 33664 руб.,

Средняя заработная плата рассчитывается следующим образом:

Дневная з/плата = Месячный оклад/ 21 день.

Соответственно дневной оклад руководителя равен 1294 руб., а инженера-технолога –452 руб.

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 10 При расчете учитывалось, что в году 250 рабочих дней и, следовательно, в месяце 21 рабочий день, а затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю брались из таблицы 28. Коэффициент, учитывающий коэффициент по премиям $K_{пр}=50\%$, районный коэффициент $K_{рк}=30\%$. ($K = K_{пр} * K_{рк} = (1 + 0,5) *(1+0,3) = 1,95$);

Таблица 28 – Расчет основной заработной платы

Ошибка! этапов	Исполнитель и по категориям	Трудовое мкость, чел.- дн.	Заработная плата по тарифу (окладам) с учётом РК, руб.	Заработная плата, приходящаяс я на один чел.-дн., руб.	Итогова я з/п
1-18	Инженер	80	9489	9489/21=452.	55234
Ошибка!	Руководите ль	25	33664	Ошибка!	69069
ИТОГО					124303

Таблица 29 – Расчет бюджета затрат

Наименование	Сумма, руб.	Порядок расчета
Материальные затраты	2120	Таблица 4.9
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	8392	Таблица 4.10
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	124303	Таблица 4.11
Затраты по	11524	(осн.З.П.)·0,12

дополнительной заработной плате исполнителей темы		95618*0,12
Отчисления на социальные нужды	29035.	(осн.З.П. + доп.З.П.) · 0,271 (95618+11524)*0,271
Затраты на научные и производственные командировки.	-	-
Контрагентские расходы	-	-
Накладные расходы	22626.	(сумма пунктов 1-7)*0,16 (2120+8392+95618+29035+0+0)*0,16
Бюджет затрат НИР	169315.	сумма всех затрат 2120+8392+95618+11524+29035+0+0+22626

*Для расчета отчислений на социальные нужды использован процент для ТПУ 27,1% (0,271).

В целом по главе можно сделать следующие выводы:

1) Рассчитана длительность этапов проектирования и построен сетевой график. Время проведения НИР – 119 дней.

2) Рассчитана смета затрат на НИР. Расходы на данную НИР составляют 176159 рублей.