

Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов,
металлургии и химической промышленности



Обзор рынка керамических мелющих тел в России

Москва
Апрель, 2015

Демонстрационная версия

С условиями приобретения полной версии отчета можно ознакомиться на странице сайта по адресу: <http://www.infomine.ru/research/29/472>

Общее количество страниц: 80 стр.
Стоимость отчета – 48 000 рублей

Этот отчет был подготовлен экспертами ООО "ИГ "ИНФОМАЙН" исключительно в целях информации. Содержащаяся в настоящем отчете информация была получена из источников, которые, по мнению экспертов ИНФОМАЙН, являются надежными, однако ИНФОМАЙН не гарантирует точности и полноты информации для любых целей. Информация, представленная в этом отчете, не должна быть истолкована, прямо или косвенно, как информация, содержащая рекомендации по инвестициям. Все мнения и оценки, содержащиеся в настоящем материале, отражают мнение авторов на день публикации и подлежат изменению без предупреждения. ИНФОМАЙН не несет ответственность за какие-либо убытки или ущерб, возникшие в результате использования любой третьей стороной информации, содержащейся в настоящем отчете, включая опубликованные мнения или заключения, а также последствия, вызванные неполнотой представленной информации. Информация, представленная в настоящем отчете, получена из открытых источников либо предоставлена упомянутыми в отчете компаниями. Дополнительная информация предоставляется по запросу. Этот документ или любая его часть не может распространяться без письменного разрешения ИНФОМАЙН либо тиражироваться любыми способами.

Copyright © ООО "ИГ "ИНФОМАЙН".

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация	8
Введение	10
1. Сырье для производства керамических мелющих тел и способы их получения, требования к качеству	11
1.1. Общие сведения о керамических мелющих телах, сырье для производства	11
1.2. Технология получения мелющих тел	13
1.3. Требования к качеству выпускаемых в России мелющих тел	17
2. Производство керамических мелющих тел в России	24
2.1. Производство керамических мелющих тел в России в 2007-2014 гг.	24
2.2. Производители керамических мелющих тел из оксида алюминия	26
2.2.1. ЗАО «Кировская керамика» (Калужская обл.)	26
2.2.2. ОАО «Речицкий фарфоровый завод» (Московская обл.)	29
2.2.3. ООО «Электрокерамика» (Московская обл.)	30
2.3. Производители керамических мелющих тел из диоксида циркония	33
2.3.1. АО «Чепецкий механический завод» (Республика Удмуртия)	33
2.3.2. ООО «Научно-производственный центр «ЗКЧ» (Москва)	34
2.3.3. ООО «ТКЕРАМ» (Москва)	36
3. Анализ внешнеторговых операций с керамическими мелющими телами в России в 2007-2014 гг.	38
3.1. Экспорт	40
3.2. Импорт	41
4. Цены на керамические мелющие тела в России в 2007-2014 гг.	48
5. Потребление керамических мелющих тел в России в 2007-2014 гг.	52
5.1. Баланс производства-потребления	52
5.2. Области потребления керамических мелющих тел	54
5.3. Основные потребители керамических мелющих тел	62
5.3.1. ООО «Керама Марацци» (Орловская, Московская обл.)	62
5.3.2. ООО «ЗКС» (Челябинская обл.)	64
5.3.3. ОАО «Стройфарфор» (Ростовская обл.)	65
5.3.4. ООО «Евро-Керамика» (Псковская обл.)	66
5.3.5. ООО «Ласселсбергер» (Респ. Башкортостан)	67
5.3.6. ЗАО «Керамогранитный завод» (Московская обл.)	68
5.3.7. ООО «Самарское объединение керамики»	69
5.3.8. ОАО ПКФ «Воронежский керамический завод»	70
5.3.9. ОАО «Нефрит-Керамика» (Ленинградская обл.)	71
5.3.10. ООО «Самарский Стройфарфор» (Самарская обл.)	72

6. Прогноз развития рынка керамических мелющих тел до 2020 гг.	73
Приложение 1. Адресная книга производителей керамических мелющих тел в России	77
Приложение 2. Адресная книга основных потребителей керамических мелющих тел в России	78

Список таблиц

- Таблица 1. Свойства корундовой керамики
- Таблица 2. Технические характеристики керамических шариков из диоксида циркония стабилизированного церием
- Таблица 3. Основные свойства керамических шариков из диоксида циркония стабилизированного иттрием
- Таблица 4. Технические характеристики высокопрочных шариков из циркониевой керамики
- Таблица 5. Основные характеристики керамических шариков из силиката циркония
- Таблица 6. Основные характеристики керамических шариков из оксида алюминия 95%
- Таблица 7. Основные характеристики керамических шариков из оксида алюминия 92%
- Таблица 8. Физико-химические свойства циркониево-алюминиевых композитных шариков (75-80% Al_2O_3)
- Таблица 9. Физико-химические свойства керамических шариков
- Таблица 10. Физико-химические свойства керамических шариков из оксида алюминия шарика (60% Al_2O_3)
- Таблица 11. Физико-химические свойства керамических шариков (45% Al_2O_3 , 40% SiO_2)
- Таблица 12. Выпуск керамических мелющих тел в России в 2007-2014 гг., тыс. т
- Таблица 13. Физические, химические свойства и размеры глиноземистых высокопрочных мелющих тел ЗАО «Кировская керамика»
- Таблица 14. Финансовые данные ЗАО «Кировская керамика» в 2007-2013 гг., млн руб., %
- Таблица 15. Стандартные размеры и допуски мелющих шаров ОАО «Речицкий фарфоровый завод»
- Таблица 16. Стандартные размеры и допуски мелющих шаров для ультрамелкого помола ООО «Электрокерамика»
- Таблица 17. Стандартные размеры мелющих цилиндров ООО «Электрокерамика»
- Таблица 18. Технические параметры и свойства мелющих цилиндров ООО «Электрокерамика»
- Таблица 19. Характеристики материалов для производства циркониевой керамики ООО «НПЦ «ЗКЧ»
- Таблица 20. Показатели износа мелющих тел из различных материалов производства ООО «НПЦ «ЗКЧ»
- Таблица 21. Внешняя торговля керамическими мелющими телами в России в 2007-2014 гг., т, тыс. \$
- Таблица 22. Поставщики и потребители керамических мелющих тел, поставляемых из России в 2012-2014 гг., т

- Таблица 23. Страны-поставщики керамических мелющих тел в Россию в 2007-2014 гг., т
- Таблица 24. Основные поставщики импортных мелющих тел в Россию в 2007-2014 гг., т
- Таблица 25. Основные потребители импортных мелющих тел в России в 2007-2014 гг., т
- Таблица 26. Средние импортные цены на керамические мелющие тела по основным странам в России в 2007-2014 гг., \$/т
- Таблица 27. Импортные цены основных поставщиков на керамические мелющие тела в России в 2007-2014 гг., \$/т
- Таблица 28. Баланс производства-потребления керамических мелющих тел в России в 2007-2014 гг., тыс. т, %
- Таблица 29. Производство облицовочной плитки по федеральным округам России в 2007-2014 гг., тыс. м²
- Таблица 30. Производство плитки для полов по федеральным округам России в 2007-2014 гг., тыс. м²
- Таблица 31. Производство фасадной плитки по федеральным округам России в 2007-2014 гг., тыс. м²
- Таблица 32. Производство санитарных керамических изделий по федеральным округам России в 2007-2014 гг., тыс. шт.
- Таблица 33. Объем поставок керамических мелющих тел в ООО «Керама Марацци» в 2010-2014 гг., т
- Таблица 34. Объем поставок керамических мелющих тел в ООО «ЗКС» в 2007-2014 гг., т
- Таблица 35. Объем поставок керамических мелющих тел в ОАО «Стройфарфор» в 2007-2014 гг., т
- Таблица 36. Объем поставок керамических мелющих тел в ООО «Евро-Керамика» в 2007-2014 гг., т
- Таблица 37. Объем поставок керамических мелющих тел в ООО «Ласселсбергер» в 2011-2014 гг., т
- Таблица 38. Объем поставок керамических мелющих тел в ЗАО «Керамогранитный завод» в 2011-2014 гг., т
- Таблица 39. Объем поставок керамических мелющих тел в ООО «Самарское объединение керамики» в 2011-2014 гг., т
- Таблица 40. Объем поставок керамических мелющих тел в ОАО ПКФ «Воронежский керамический завод» в 2007-2014 гг., т
- Таблица 41. Объем поставок керамических мелющих тел в ОАО «Нефрит-Керамика» в 2010-2014 гг., т
- Таблица 42. Объем поставок керамических мелющих тел в ООО «Самарский Стройфарфор» в 2010-2014 гг., т

Список рисунков

- Рисунок 1. Принципиальная технологическая схема производства керамических изделий на основе диоксида циркония в ОАО «Чепецкий механический завод»
- Рисунок 2. Динамика производства керамических мелющих тел в России в 2007-2014 гг., тыс. т
- Рисунок 3. Динамика производства керамических мелющих тел ЗАО «Кировская керамика» в 2007-2014 гг., тыс. т
- Рисунок 4. Динамика экспорта-импорта керамических мелющих тел в России в 2007-2014 гг., тыс. т
- Рисунок 5. Динамика средних импортных цен на керамические мелющие тела в России в 2007-2014 гг., \$/т
- Рисунок 6. Динамика производства, импорта и «кажущегося» потребления керамических мелющих тел в России в 2007-2014 гг., тыс. т
- Рисунок 7. Динамика производства керамической плитки в России в 2007-2014 гг., млн м²
- Рисунок 8. Структура производства облицовочной плитки по федеральным округам России в 2014 г., %
- Рисунок 9. Структура производства плитки для полов по федеральным округам России в 2014 г., %
- Рисунок 10. Структура производства фасадной плитки по федеральным округам России в 2014 г., %
- Рисунок 11. Динамика производства санитарных керамических изделий в России в 2007-2014 гг., млн шт.
- Рисунок 12. Структура производства санитарных керамических изделий по федеральным округам России в 2014 г., %
- Рисунок 13. Прогноз потребления керамических мелющих тел в России до 2020 г., тыс. т

Аннотация

Цель исследования – анализ текущего состояния и прогнозная оценка развития российского рынка керамических мелющих тел.

Объектами исследования являются керамические мелющие тела (шары, стержни, цельпессы, бисер).

Данное исследование базируется на проведении как кабинетных исследований (работа экспертов с официальными источниками статистической и др. информации) путем аналитической работы, так и на проведении интервью с представителями предприятий и основными участниками рынка. В качестве источников информации использовались данные Федеральной таможенной службы РФ, официальной статистики железнодорожных перевозок РФ, статистические материалы различных организаций и ведомств, отраслевой и региональной прессы, годовых и квартальных отчетов эмитентов ценных бумаг, а также интернет-сайтов производителей и потребителей керамических мелющих тел в России.

Хронологические рамки исследования: 2007-2014 гг., прогноз до 2020 г.

География исследования: Российская Федерация.

Отчет состоит из 6 частей, содержит 80 страниц, в том числе 42 таблицы, 13 рисунков, 2 приложения.

В первой главе отчета приведены сведения о сырье, требуемом для производства керамических мелющих тел, его характеристиках. Также рассмотрена технология производства керамических мелющих тел.

Во второй главе отчета приводятся оценочные данные по объемам выпуска керамических мелющих тел в России с 2007 г. по 2014 г. Также в этой главе описано текущее состояние предприятий, имеющих мощности по производству керамических мелющих тел.

В третьей главе отчета приводятся данные о внешнеторговых операциях с керамическими мелющими телами в России за период 2007-2014 гг.

В четвертой главе приведены сведения об уровне цен на керамические мелющие тела на российском рынке в 2007-2014 гг.

В пятой главе отчета рассматривается потребление керамических мелющих тел в России в 2007-2014 гг. В данном разделе приведен баланс производства-потребления этой продукции, описаны основные области-потребители продукции, приведены основные потребители продукции и их текущее состояние.

В шестой главе отчета приводится прогноз развития российского рынка керамических мелющих тел на период 2015-2020 гг.

В приложениях приводится контактная информация основных производителей и потребителей керамических мелющих тел в России.

Целевая аудитория исследования:

- участники рынка строительной керамики – производители, потребители, трейдеры;
- потенциальные инвесторы.

Предлагаемое исследование претендует на роль справочного пособия для служб маркетинга и специалистов, принимающих управленческие решения, работающих на рынке данной продукции.

Введение

Во многих отраслях промышленности необходимо получение субстанций с мелким размером частиц. Для измельчения различных веществ применяется помольное оборудование, в комплектацию которого входят мелющие (помольные) тела.

В качестве мелющих тел используются шары, выполненные из различных материалов: металлические, керамические и стеклянные.

Мелющие тела из керамики применяются в шаровых мельницах с целью создания тонкого и супертонкого помола, который необходим в фармацевтической, химической, горно-химической и горнорудной отраслях промышленности.

Керамические шары используются как для жидкого, так и для сухого типов измельчения.

Керамические шары используются при изготовлении силикатных изделий, цемента, стекла, краски, лака, а также для получения концентрата необходимого для производства различных металлов, например, меди, золота, свинца, титана, железа и т.д. Мелющие тела из керамики имеют преимущества: у них большая износостойчивость и они минимально загрязняют измельченный продукт при высокой интенсивности мелющих работ.

1. Сырье для производства керамических мелющих тел и способы их получения, требования к качеству

1.1. Общие сведения о керамических мелющих телах, сырье для производства

Мелющие тела, в зависимости от их назначения, могут изготавливаться из различных материалов, в том числе керамики. Керамические мелющие тела отличаются прочностью и низкой степенью истираемости. Поэтому их, в первую очередь, применяют в тех производственных циклах, где необходимо получение сырья высокой степени чистоты: в фармацевтической, пищевой, парфюмерной промышленности. Но керамические мелющие тела с успехом применяют также в цементной промышленности, при изготовлении керамогранита, керамической плитки и пр.

Срок службы керамических мелющих тел определяется их составом, а также технологическими особенностями изготовления. Например, шары из *диоксида циркония* по твердости соответствуют сапфиру и применяются в непрерывных циклах помола густых и вязких веществ. При изготовлении шариков из *силиката циркония* производится тщательная зачистка поверхности. В результате зачистки получают шарики с очень гладкой, блестящей поверхностью. Благодаря такой структуре поверхности и химическому составу, многократно снижается износ шариков в процессе работы мельницы. Шарики из силиката циркония применяют для измельчения сырья при изготовлении красок, чернил, различных химикатов.

Особой прочностью отличаются шарики, изготовленные из *оксида циркония* с добавлением *оксида алюминия*. Эти мелющие тела обладают всеми достоинствами как оксида алюминия (высокая жесткость и упругость), так и оксида циркония (высокая стойкость к истираемости). Шарики из оксида циркония с добавлением оксида алюминия применяются в тех технологических циклах, где необходима высокая ударостойкость мелющих тел.

Среди мелющих керамических тел высокую распространенность получили шарики и цельпесы изготовленные из *оксида алюминия*. Твердость и прочность таких мелющих тел зависит от процентного содержания этого вещества. Шарики с содержанием оксида алюминия от 92 до 95% применяются для измельчения особо прочных материалов, например, различных минералов. Их также используют в производстве типографских и других видов красок, при изготовлении косметики, химикатов, удобрений и пр.

Керамические мелющие тела могут различаться не только по составу, но и по форме. Существует два вида мелющих тел – **шарики и цилиндры (цельпесы)**. Цельпесы представляют собой цилиндры с закругленными краями. Преимущество цельпесов перед мелющими телами шарообразной формы состоит в том, что у них больше площадь соприкосновения с измельчаемой субстанцией. Эта особенность позволяет ускорить процесс измельчения.

Также к числу мелющих тел мы решили отнести керамический **бисер**. Такой бисер, в основном, используется в бисерных или шаровых мельницах для измельчения пигментов при производстве краски.

В России в основном используются керамические мелющие тела из оксида алюминия. При этом выпускаются в России шарики и цельпессы, импортируются шарики и в небольшом объеме керамический бисер.

1.2. Технология получения мелющих тел

Керамика из оксида алюминия

Керамику, состоящую в основном из оксида алюминия, принято называть корундовой керамикой в соответствии с названием природного минерала корунда, представляющего собой чистый оксид алюминия $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Так как искусственно изготовленная техническая корундовая керамика содержит не только Al_2O_3 , а в ряде случаев – некоторые введенные добавки и сопутствующие сырью примеси, то условно принято называть корундовой керамикой такую, которая содержит 95% и более Al_2O_3 и основной кристаллической фазой которой является корунд.

Технический глинозем (смесь α -, β - и γ -модификаций, Al_2O_3) – один из основных видов сырья для производства корундовой и других видов высокоглиноземистой керамики. Сырьем для получения глинозема служат главным образом породы, содержащие естественные гидраты оксида алюминия, среди которых наибольшее значение имеет боксит, представляющий собой сочетание всех трех видов гидратов в переменном количестве при преимущественном содержании гидраргиллита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) и бёмита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Метод получения технического глинозема (метод Байера) основан на разложении исходного глиноземистого сырья раствором едкой щелочи с образованием алюмината натрия, который переходит в раствор, в то время как сопутствующие бокситу примеси (SiO_2 , Fe_2O_3 и др.) остаются в нерастворенном остатке. Раствор алюмината очищают от примесей, после чего путем соответствующей обработки выделяют чистый гидроксид алюминия. Последний прокаливают во вращающихся печах при 1150-1200 °С, в результате чего образуется однородный белый сыпучий порошок, который и называют техническим глиноземом, а в керамической технологии – сырым или необожженным глиноземом.

В процессе производства изделий технический глинозем дополнительно обжигают при более высоких температурах для перевода его в α -форму. Гранулометрический состав глинозема при этом изменяется. Вследствие происходящей усадки $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и частичного спекания количество мелких фракций, как правило, растет. Со степенью обжига технического глинозема связана его насыпная масса. Насыпная масса необожженного глинозема 0,85, обожженного дополнительно при 1500 °С – 1,1-1,2, при 1750 °С – 1,5-1,6 г/см³.

Промышленность выпускает два основных вида электрокорунда – белый и так называемый нормальный. Белый электрокорунд получают путем плавки в электрических дуговых печах технического глинозема, а нормальный (или, как его называют, черный) – путем электроплавки боксита. Содержание Al_2O_3 в белом электрокорунде составляет 98% и более, а в нормальном в связи с тем, что в бокситах содержится много примесей, особенно SiO_2 и Fe_2O_3 , – от 91 до 95%. В производстве корундовой технической керамики применяют только белый электрокорунд. По минералогическому составу электрокорунд представляет собой $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Как примесь в электрокорунде встречается

небольшое количество щелочного β -глинозема, содержание которого зависит от чистоты исходного материала, подвергающегося плавке.

Кроме технического глинозема и белого электрокорунда для производства некоторых видов технической керамики применяют оксид алюминия, полученный термическим разложением некоторых солей алюминия, например азотнокислого, алюмоаммиачных квасцов различной степени чистоты. Оксид алюминия, полученный при разложении солей, является высокодисперсным порошком γ - Al_2O_3 (при прокаливании до 1200 °С) и обладает большой химической активностью.

Порошки Al_2O_3 , независимо от технологии их получения, перед формованием подвергаются прокаливанию при температуре 1500 °С 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 1-2 мкм, 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.

В технологии шликерного литья первой операцией является подготовка водной суспензии – шликера с 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.

Наиболее прочные изделия из Al_2O_3 получают методом горячего прессования (ГП) в графитовых пресс-формах с покрытием из ВН 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 °С. 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 °С. При этом достигается плотность 3,7-3,85 г/см³ или относительная плотность 0,94-0,96. Для подобного уплотнения при дисперсности 2 мкм требуется уже температура

1750-1800 °С, а при дисперсности около 5 мкм даже при 1850 °С плотность составляет всего 0,82-0,84 от теоретической.

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 МПа.

В табл. 1 представлены основные физико-механические характеристики спеченной корундовой керамики.

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.

Таблица 1. Свойства корундовой керамики

Наименование показателя	Значение
Плотность, г/см ³	3,96
Температура плавления, °С	2050
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·град	30,14 (100 °С)
	12,4 (400 °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)
	147 (1500 °С)
Предел прочности при изгибе, МПа	до 650 (20 °С)
	50 (1500 °С)
Микротвердость, ГПа	до 26 (20 °С)

Источник: Матренин С.В., Слосман А.И. «Техническая керамика: Учебное пособие.» – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. 75 с.

Керамика из диоксида циркония

В производстве технической керамики применяют только искусственный диоксид циркония (ZrO_2). Сырьем для его получения служат природные цирконийсодержащие минералы: бадделит, представляющий собой природную форму ZrO_2 , содержащий до 91-97% оксида; циркон – силикат циркония $ZrO_2 \cdot SiO_2$ (ZrO_2 – 67,03%; SiO_2 – 32,97%), а также другие более бедные по содержанию ZrO_2 минералы и руды, идущие на обогащение для подготовки цирконовых концентратов.

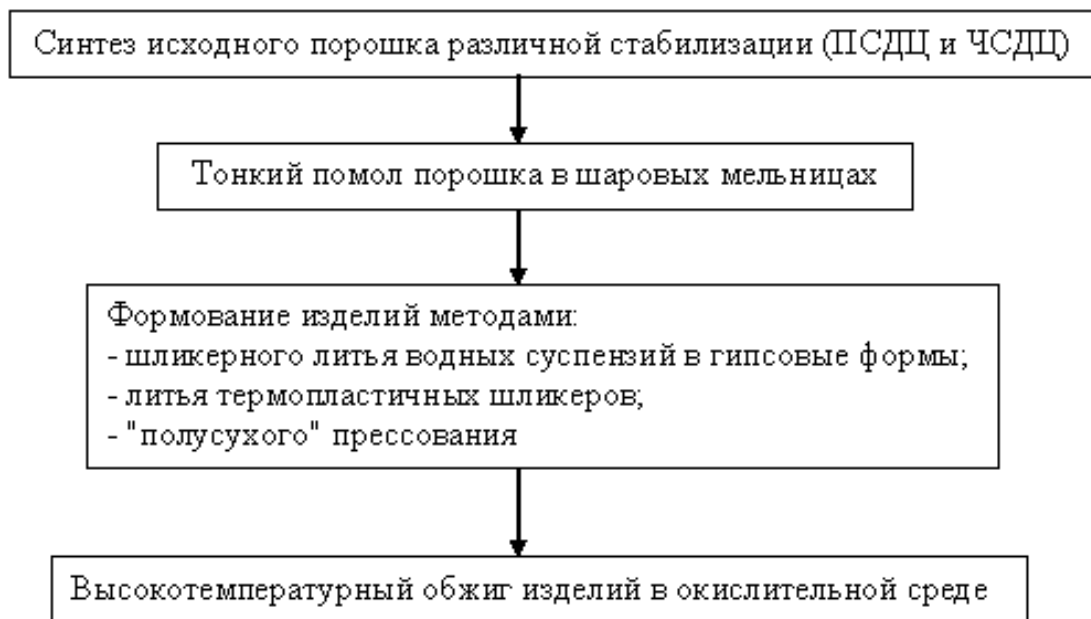
Промышленность выпускает ZrO_2 трех видов: 1) технический диоксид циркония, содержание ZrO_2 (вместе с HfO_2) не менее 97,5%; 2) чистый диоксид циркония, содержание основного вещества 99,5% (включая 1,5-2% HfO_2); 3) особо чистый диоксид циркония (очищенный от гафния), содержание ZrO_2 99,5%. Основными примесями, кроме HfO_2 , содержание которых ограничивается техническими условиями, являются SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , P_2O_5 . От чистоты исходного ZrO_2 в значительной мере зависят свойства изготавливаемых изделий.

Технология производства технической керамики на основе диоксида циркония включает в себя 4 основных этапа: синтез исходных порошков диоксида циркония различной степени стабилизации; их тонкий помол; формование изделий и их обжиг. Следует отметить, что в полном объеме указанная технология в России применяется в ОАО «Чепецкий механический завод» (Удмуртская Республика).

Остальные российские производители керамики закупают готовые порошки стабилизированного диоксида циркония российского или зарубежного производства.

Принципиальная технологическая схема производства керамических изделий на основе диоксида циркония в ОАО «Чепецкий механический завод» приведена на рис. 1. Характерными особенностями технологии ЧМЗ являются помол порошка в шаровых мельницах, футерованных пластинами из ЧСДЦ, с использованием цилиндрических мелющих тел из того же материала.

Рисунок 1. Принципиальная технологическая схема производства керамических изделий на основе диоксида циркония в ОАО «Чепецкий механический завод»



Источник: данные предприятия

1.3. Требования к качеству выпускаемых в России мелющих тел

Керамические высокопрочные глиноземистые мелющие тела предназначены для производства различных керамических материалов, эмалей, фритты, требующих среднего, тонкого и супертонкого измельчения сырьевых материалов.

Мелющие шарики и цилиндры выпускаются из разного сырья: диоксида циркония, силиката циркония, оксида алюминия. Наибольшим спросом в России пользуются мелющие тела из оксида алюминия.

Керамические шарики из диоксида циркония стабилизированного церием

Керамические шарики из диоксида циркония стабилизированного церием – однородные керамические мелющие тела, обладающие очень высокой плотностью и твердостью сапфира (табл. 2). Незаменимы при непрерывном перемоле и диспергировании густых и вязких веществ: керамических материалов, пьезоэлектрических и диэлектрических веществ, магнитных покрытий для аудио и видео пленок, тонеров для копиров, лаков, пигментов, чернил для печати, красящих веществ, красок, химических и фармацевтических веществ.

Шарики изготавливаются из редкоземельного стабилизированного циркония – материала, обладающего на сегодняшний день наибольшей плотностью и прочностью из всех доступных керамических материалов, поэтому при использовании этого материала перемол происходит в 2 раза быстрее, чем при использовании оксида алюминия. При этом на 50% снижается износ шариков, внутренней обшивки мельницы. Структура шариков без включений воздуха и гладкая поверхность уменьшают износ деталей, с которыми происходит контакт при перемоле, обеспечивают легкость чистки мельницы

Шарики маленьких диаметров за счет высокой плотности обеспечивают высокое качество перемола, поскольку количество шариков в одной загрузке возрастает и увеличивается количество контактов с перемалываемым материалом. Эффективность перемола многократно возрастает.

Таблица 2. Технические характеристики керамических шариков из диоксида циркония стабилизированного церием

Химический состав	ZrO ₂ : 78~80%, CeO ₂ : 20-22%
Объемная плотность, кг/дм ³	3,8
Удельная плотность, г/см ³	6,2
Твердость по Моосу	9
Модуль эластичности, ГПа	200
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	3
Разрушающая давление, кН	>10
Устойчивость к образованию трещин, МПа/м ²	8,5
Коэффициент термического расширения	9-10*10 ⁻⁶ , °C (20-400)
Доступные размеры, мм	0,2-20

Керамические шарики из диоксида циркония стабилизированного иттрием

Керамические шарики изготавливаются из диоксида циркония стабилизированного иттрием высокой степени чистоты. Керамика на основе диоксида циркония, частично стабилизированного иттрием (Y-TZP), показывает исключительные механические и физические свойства (табл. 3). Показатели прочности на изгиб и трещиностойкости превосходят характеристики всех протестированных до сих пор керамических материалов.

Для изготовления циркониевых шариков высокой чистоты (тетрагональный кристалл) используются специальные технологии формирования и легирования, а также строгий научный подход к управлению качеством продукции.

Данные шарики имеют широкий спектр применения для измельчения таких материалов как неметаллические минералы, краски, чернила для принтеров, а также при изготовлении бумаги, электронных материалов, магнитных материалов, красителей, в пищевой и медицинской индустрии.

Многие известные мировые производители измельчающих машин рекомендуют использовать именно керамические шары из диоксида циркония.

Основные свойства Y-TZP материала:

- высокая объемная плотность увеличивает кинетическую энергию и как следствие повышает эффективность измельчения в 3-4 раза по сравнению с обычными шариками;
- низкая абразивность с высокой удароустойчивостью предотвращают загрязнение материала;
- хорошая химическая стабильность, устойчивость к любым едким жидкостям;
- гладкая поверхность и отсутствие пор, что обеспечивает легкое мытье.

Таблица 3. Основные свойства керамических шариков из диоксида циркония стабилизированного иттрием

Химический состав:	$Y_2O_3 - 4,5\%$, $ZrO_2 - 94,5\%$
Удельная плотность $г/см^3$:	6,0~6,05
Объемная плотность, $г/см^3$:	3,7
Прочность на сжатие, $кН/мм^2$	>2
Твердость, МОН	9
Коэффициент износа, $г/кг·ч$	$\leq 0,01\%$
Доступные размеры шариков, мм	0,2-50
Доступные размеры цилиндров, мм	5×5, 7×7, 10×10, 12,7×12,7, 20×20, 25×25, 30×30

Высокопрочные шарики из циркониевой керамики ZY80

Керамические шарики изготавливаются из оксида циркония, легированного оксидом алюминия. Этот композитный материал, обладает как преимуществами оксида алюминия (высокая упругость, высокая плотность и высокая жесткость) так и оксида циркония (высокая износостойкость), что дает

исключительные характеристики в целом (табл. 4). Технология изготовления – спекание.

Шарики из циркониевого оксида легированного оксидом алюминия применяется там, где необходимы особенно высокая прочность на слом и удар.

Таблица 4. Технические характеристики высокопрочных шариков из циркониевой керамики

Химический состав:	ZrO ₂ : 20~80%, Al ₂ O ₃ : 80~20%
Объемная плотность, кг/дм ³	2,6-3,3
Удельная плотность, г/см ³	4,1-5,5
Твердость по Моосу	8,5-9
Модуль эластичности, ГПа	200
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	3
Разрушающее давление, кН	>8
Прочность на разрушение, МПа/м ²	6,7
Зернистость, μm	<0,8
Коэффициент термического расширения	7,0·10 ⁻⁶ (20-400 °С)
Доступные размеры, мм	0,2-25

Шарики из силиката циркония (ZS-R)

Шарики изготавливаются из приготовленного особым образом силиката циркония с применением тщательно контролируемой технологии капания при соблюдении высокой температуры спекания. После этого происходит зачистка поверхности шарика.

Химический состав шариков, производственный процесс и зачистка поверхности обеспечивают высокую износостойкость, в результате чего уменьшается уровень загрязнения, снижаются издержки (табл. 5). Высокая плотность шариков (обычно 4,0 г/см³) обеспечивает безупречное качество перемола, особенно в средне- и высоковязких жидкостях, при этом повышается производительность, уменьшается количество загрузок. Шарики ZS-R подвергаются предварительной зачистке. Износ шариков и мельниц при перемоле твердых тел снижается, поскольку шарики обладают гладкой блестящей поверхностью.

Основные свойства материала:

- шарики ZS-R имеют абсолютно гладкую сферическую форму, не содержат включений воздуха.
- значительная упругость исключает засорение машины.
- устойчивость к кислотам и щелочам.
- сферическая поверхность обеспечивает снижение износа шариков и мельницы.
- уникальный процесс капания позволяет достичь минимальной разницы в размерах шариков (0,2 мм), исключается появление шариков несоответствующего размера. Такая высокая точность гарантирует текучесть жидкого потока, повышает срок службы шариков

Сфера применения: перемол и диспергирование красок, чернил, минералов, пигментов, химикатов.

Таблица 5. Основные характеристики керамических шариков из силиката циркония

Химический состав:	ZrO ₂ : >65%, SiO ₂ : >33%
Удельная плотность, г/см ³	>3,9
Объемная плотность, г/см ³	2,5-2,6
Твердость по Моосу	>7,2
Размер, мм	0,6-20

Шарики из оксида алюминия 95%

Шарики из 95% оксида алюминия обладают более высокой прочностью по сравнению с шариками с меньшим процентом и могут применяться для измельчения более прочных материалов (табл. 6). Отлично подходят для измельчения минералов (золото, серебро и др.).

Таблица 6. Основные характеристики керамических шариков из оксида алюминия 95%

Содержание Al ₂ O ₃ , %	≥95
Содержание Fe ₂ O ₃ , %	<0,15
Содержание SiO ₂ , %	<5
Твердость по Моосу	9
Изнашиваемость, %	<0,0054
Абсорбция воды, %	0,01
Плотность, г/см ³	3,72
Сила сжатия, МПа	2200

Шарики из оксида алюминия 92%

Оксид алюминия Al₂O₃ 85%, 90%, 92% – идеальный выбор для измельчения твердых материалов и помола тяжелых материалов. Материал вследствие своего строения экологически безопасен.

Оксид алюминия устойчив против воздействия соляных, кислотных и щелочных сред (за исключением плавиковой кислоты).

Шарики используются в бисерных и шаровых мельницах, в качестве мелющих тел (при измельчении пигментов, для изготовления красок, в том числе и типографских, а также для производства химикатов, косметики, магнитных смесей, химических веществ, минералов, удобрений и т.д.).

Основные характеристики приведены в табл. 7.