

## ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

*А.С. Кованцев, аспирант*

*А.П. Клишин, аспирант*

*С.В. Руднев, к.г.-м.н., В.И. Верещагин, профессор, д.т.н.*

*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,*

*Тел. (3822) 70-17-77*

E-mail: Alex.Kovancev@gmail.com

В последнее время возрос интерес к алюмооксидным материалам, в том числе и к технической керамике вследствие изучения эффектов воздействий внешних электромагнитных полей и сред различной природы с позиции изменения реальной структуры вещества. Разработка новых материалов на основе  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2(Y_2O_3)$ , обладающих высоким уровнем свойств и пониженной температурой спекания актуальна с точки зрения создания конкурентоспособных технологий и высококачественных новых материалов.

Внимание к проблеме взаимодействия электромагнитного и тепловых полей в диэлектрических средах продиктовано возможностями применения процессов, связанных с поглощением и преобразованием энергии электромагнитного поля. Внутренняя структура керамических материалов существенно влияет на его физико-химические свойства и поведение при воздействии электромагнитного поля с заданной симметрией. Повышение температуры при нагреве диэлектрической среды за счет поглощения электромагнитного поля происходит по всему объему материала, поскольку распределение теплового поля в этом случае обусловлено распределением электромагнитного поля.

Целью настоящей работы является изучение процессов структурного формирования и свойств керамических материалов на основе  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2(Y_2O_3)$  под воздействием теплового ( $T=800-1200$  °С) и электромагнитного ( $B=0,02-1$  Тл) полей, с заданной осью симметрии  $C_3$ .

### **Подготовка и обработка керамических материалов в постоянном электромагнитном поле с заданной осью симметрии**

В качестве материалов для исследований использовались пористые керамики, полученные из порошков  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2(Y_2O_3)$ , синтезированные разложением жидкофазных прекурсоров в плазме высокочастотного разряда (методом плазмохимии), и техническая керамика марки ВК-95; общее количество образцов в каждой из групп не превышало 10.

Образцы первой группы ВК-95 имели размер мелких зерен порошка 5–10 мкм, и размер крупных зерен 20–60 мкм. Морфология мелких зерен призматическая и неопределенная, крупные зерна имеют обломочную форму. Мелкие зерна вероятнее всего образуют агрегаты. В образцах наблюдаются микротрещины, проходящие, как по границам агрегатов, так и пересекая их. Основным элементом технической керамики является оксид алюминия не менее 95 мас.%, содержание примесей других оксидов на уровне 1%. Техническая керамика имела неоднородную микроструктуру, включая микротрещины, дефекты различных типов,  $\rho_{отн.}=0,584$ .

Образцы второй ( $\rho_{отн.}=0,275$ ) и третьей группы ( $\rho_{отн.}=0,309$ ) формировались из  $Al_2O_3$  производства Сибирского химического комбината (ВТУ 4-25-90), и были

получены методом плазмохимии, обозначим их, как  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{II})$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{III})$  соответственно. Микроструктура образцов представляет собой зерна размером  $\sim 0,1$  мкм. Зерна имеют четко выраженные границы. Внутризеренная фаза содержит в основном оксид алюминия ( $>90\%$ ), но имеет в своем составе Fe, Si, Ni, Ti, Cr не более 0,5%. При подготовке третьей группы образцов  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{III})$  для улучшения формования и пластификации порошок предварительно промывали в керосине с добавлением пальмитинового спирта не более 3%.

Образцы четвертой группы  $\text{ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$  получали из порошков (ТУ 2320-001-07622928-96) производства Сибирского химического комбината и синтезированных методом плазмохимии с преимущественным размером 0,1-0,5 мкм, средний размер частиц 150 нм. Порошки состояли из частиц чешуйчатой морфологии и большого числа агрегатов, не имеющих регулярной формы, ( $\rho_{\text{отн.}}=0,892$ ).

Прессовки  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$  в виде цилиндров ( $h=10$  мм,  $d=10$  мм) были получены прессованием (давление 18 МПа) и последующим спеканием в электромагнитном поле  $B=0,02-0,1$  Тл, с заданной осью симметрии  $C_3$ , в интервале температур от 800–1200 °С. Образцы нагревали в печи со скоростью 1,5–5 °С/мин до температуры 1200 °С, выдерживали в этой температуре 1 ч, и, затем охлаждали (печь отключали). Скорость нагрева составляла 5 °С/мин на начальном участке и 1,5 °С/мин на завершающем.

Экспериментальные исследования по термомагнитной обработке керамики проводились на опытной установке с использованием электромагнитного поля с заданной симметрией [1]. Параметры конфигурации электромагнитного поля в магнитной системе установки задавались из модельных расчетов кластера  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , выполненных в условиях геометрии Римана  $V^3$  [2,3].

Целью проведения термомагнитной обработки являлось как снятие внутренних напряжений, так и совершенствование структурных элементов керамических материалов. Структурные элементы в микрокристаллах  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$  изначально находятся в метастабильном состоянии, и с течением времени происходит их релаксация в магнитном поле, которое оказывает стимулирующее воздействие для перехода их в более выгодное энергетическое состояние кристаллических микроструктур [2]. Выбор интервала температур термомагнитной обработки обусловлен тем, что в этом случае у исследованных образцов интенсивно протекали процессы структурной релаксации.

#### **Результаты и их обсуждение**

Направленное воздействие структурированного магнитного поля, изменение температуры в процессе термомагнитной обработки приводят к частичной перестройке решетчатой структуры первичных кристаллов  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$ , до определенного стабилизированного равновесного состояния. Происходит восстановление геометрических форм микро- нанокристаллов, их симметрии, наблюдается повышение степени однородности, уменьшение анизотропии магнитных свойств, при этом происходит частичное залечивание поверхностных дефектов.

Увеличение температуры спекания привело к увеличению линейной усадки керамики  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$  в зависимости от температуры обработки, как это можно видеть на рисунке 1, по сравнению с образцами, которые обрабатывались без электромагнитного поля. Прочность контактов значительно возрастает в процессе отжига, в результате чего в образцах образуются жесткие агломераты, блоки,

которые имеют более совершенную структуры. Необходимо отметить, что образцы из технической керамики ВК-95 уже при обработке в течение 10 ч имели величину линейной усадки 3,9 %, что на 3 % больше чем для образцов, обработанных без воздействия электромагнитного поля (рис.1а).

Максимальное увеличение линейной усадки 9,17 % в зависимости от времени обработки наблюдается у образцов  $ZrO_2(Y_2O_3)$  (рис.1д), которое достигалось при термомагнитном воздействии за 80 мин (рис.3). По-видимому, зерна  $ZrO_2(Y_2O_3)$  представляют собой агломераты, состоящие из нанокристаллитов, которые при спекании в электромагнитном поле при 1200 °С, принимают более компактную форму, благодаря относительно малым своим размерам (0,1 мкм). Как видно из рисунка 2 усадка начинается с 700 °С при увеличении температуры нагрева.

Сравнение величин линейной и объемной усадки для различных видов керамик на рисунках 4 и 5 показывает, что воздействие электромагнитным полем имеет место, и зависит от плотности и вида обрабатываемого материала.

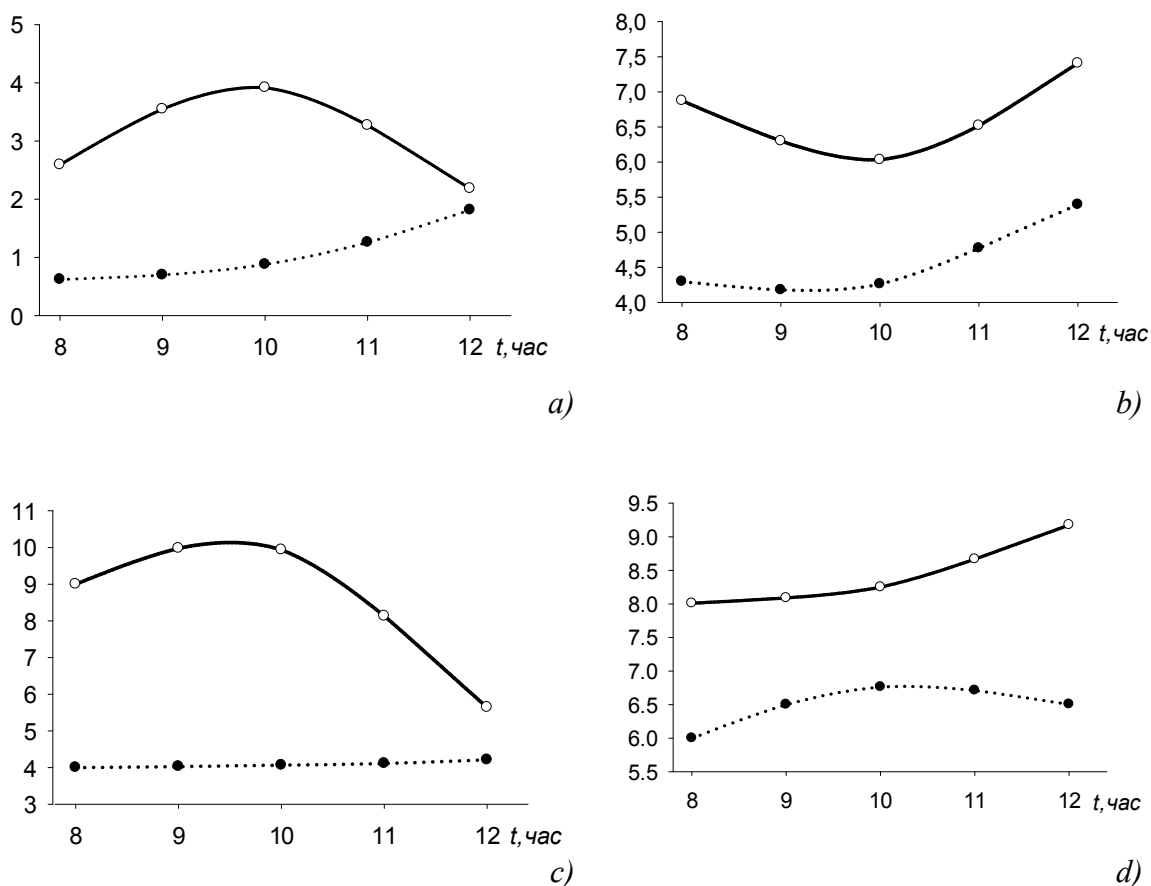


Рис. 1. Линейная усадка образцов: обработанных в электромагнитном поле  $B=0,02-1$  Тл (сплошная линия), без воздействия электромагнитного поля (пунктирная линия). (а) – ВК 95, (b) –  $Al_2O_3(II)$  пл, (c) –  $Al_2O_3(III)$ , (d) –  $ZrO_2(Y_2O_3)$

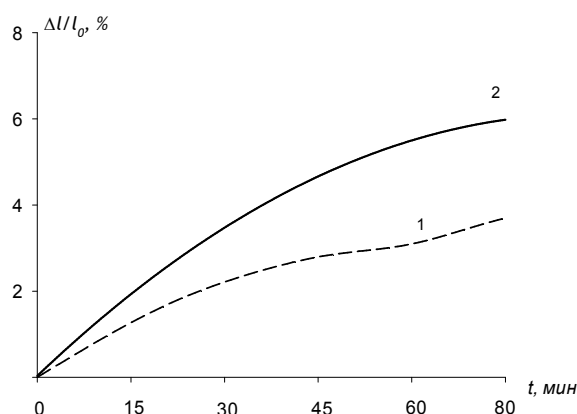


Рис.2. Кривые усадки образцов обработанных в электромагнитном поле в изотермическом режиме: (1) – BK 95, (2) –  $ZrO_2$  при  $T = 1200$  °C

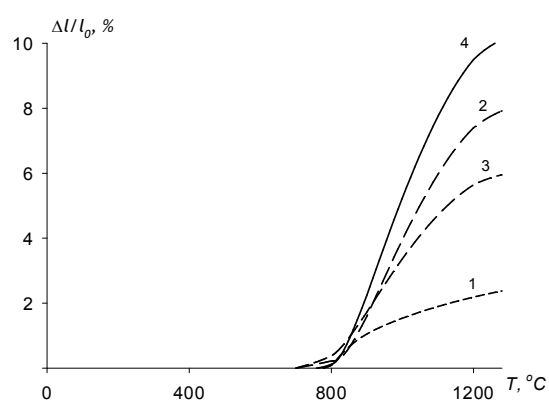


Рис.3. Кривые усадки образцов обработанных в электромагнитном поле в неизотермическом режиме: (1) – BK 95, (2) –  $Al_2O_3(II)$  пл, (3) –  $Al_2O_3(III)$ , (4) –  $ZrO_2(Y_2O_3)$

В образцах BK-95,  $Al_2O_3(II)$ ,  $Al_2O_3(III)$ , имеющих меньшую относительную плотность, и благодаря наличию более крупных агломератов в своем составе, спекание в электромагнитном поле не успевает осуществить необходимые преобразования, приводящие к более совершенным, компактным формам микроструктур.

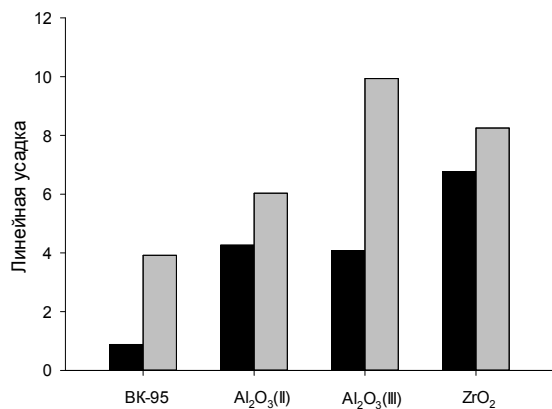


Рис.4. Сравнение значений линейной усадки образцов, обработанных в электромагнитном поле (светлый столбец) и без магнитного поля (темный столбец) при  $t=10$ ч.

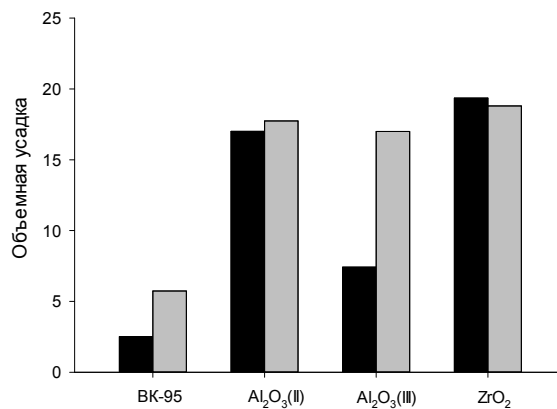


Рис.5. Сравнение значений объемной усадки образцов, обработанных в электромагнитном поле (светлый столбец) и без магнитного поля (темный столбец) при  $t=10$ ч.

### Заключение

Таким образом, на примере  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2(Y_2O_3)$  показана возможность использования метода термомагнитной обработки для получения дисперсной и однородной структуры, обеспечивающей высокий комплекс механических свойств. Используемые в работе модели кластерной организации  $Al_2O_3$  учитывают конечный характер кристаллической структуры, зональность и секториальность присутствующие в реальных кристаллических материалах, и поэтому на наш взгляд

наиболее подходят для использования в практических применениях по совершенствованию материалов.

На основе построенных моделей разработан метод, и режимы воздействия электромагнитным полем с заданной симметрией, способствующие самоочистке и совершенствованию кристаллических структур  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2(Y_2O_3)$  включая отжиг в интервале температур 800–1200 °С длительностью 8–12 часов.

Предлагаемая методика обработки в электромагнитном поле может быть использована для совершенствования механических параметров и формирования однородных, компактных структур различных пористых керамических материалов, катализаторов, адсорбентов, высокотемпературных изоляторов.

### Список литературы:

1. Клишин А.П., Закутаев А. Н., Руднев С. В., Ермолаев В. А., Хабас Т. А. Моделирование процесса структурных превращений  $Al_2O_3$  при термомагнитной обработке // Конструкции из композиционных материалов. – 2008. Вып.1, – С.12-17.
2. Руднев С.В., Семухин Б.С., Клишин А.П. Неевклидова теория кристаллического вещества. – Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 254 с.
3. Rudnev S.V., Semukhin B.S., Klishin A.P. Geometrical modeling of crystal structures with use of space of elliptic Riemannian geometry // Materials sciences and applications. – 2011. – V.2. – №6. – P.526-536.
4. Кованцев А.С., Клишин А.П., Руднев С.В., Закутаев А.Н. Моделирование кристаллических комплексов алюмооксидных материалов для совершенствования технологии их получения // II Всероссийская научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием «Высокие технологии в современной науке и технике». – Томск, ТПУ – 2013. Т.2. – С. 377-380.

## ДИСПЕРГИРОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ В ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЯХ

*А.С. Комутова, студент гр. 4БМ22*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
тел.(3822)-419-147*

E-mail: [ainagul\\_komutova@mail.ru](mailto:ainagul_komutova@mail.ru)

Одной из самых важных задач при аттестации нанопорошков является определение их дисперсности. Среди всех методов дисперсионного анализа нанопорошков в последнее время выделяется метод лазерной дифракции: он прост в применении и не занимает много времени. Однако к его недостатку можно отнести то, что методика включает обязательное перемешивание образца с жидкостью суспензии. При попадании в водные суспензии твердые частицы образуют лиофобные дисперсные системы, для которых может быть характерна как самопроизвольная коагуляция, так и способность сохранять высокую степень дисперсности (агрегативную устойчивость). На практике для поддержания дисперсности нанопорошков используют диспергирование.