

Вывод. Можно сделать вывод о моделировании доменного процесса в экспериментальной доменной печи и о возможности использования ее для улучшения широкого круга вопросов теории и практики доменного производства.

Список используемой литературы:

1. Дубров Н. Ф. Технология производства черных металлов, том №4. – М.: Издательство «Металлургия», 1966. – 219 с.
2. Челищев, Е. Ф. Экспресс информация, серия: «Черная металлургия», раздел «Низкошахтная печь», выпуск 44 /№ 201-204/, ЧМ-202-203-204. – М.: Редакция «Экспресс-информации», 1959.

УДК 544.032.72

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

к.х.н., н.с. *Федоренко Н. Ю.*¹, с.н.с. *Белоусова О. Л.*¹,

н.с. *Кудряшова Ю. С.*¹,

студ. *Волкова С. В.*², студ. *Кирсанова С. Р.*²

¹Филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИХС,
Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет), Санкт-Петербург, Россия

Керамика на основе частично стабилизированного диоксида циркония (ZrO_2 , ЧСДЦ) обладает высокой прочностью, твердостью, трещиностойкостью, коррозионной стойкостью. ЧСДЦ представляет собой двухфазный материал, в котором «линзовидные» частицы $t-ZrO_2$ равномерно распределены в матрице из $c-ZrO_2$ [1]. Использование жидкофазных методов синтеза позволяет контролировать процессы образования частиц ксерогеля и в дальнейшем развитие микроstructures и фазового состава керамики. Жидкофазные методы синтеза дают возможность контролировать процессы образования частиц ксерогеля и в дальнейшем развитие микроstructures и фазового состава керамики.

Равномерное распределение компонентов смеси в растворе имеет важное значение при синтезе наноразмерных частиц, но добиться его сложно. Метод совместного осаждения гидроксидов

обеспечивает равномерное распределение компонентов смеси в растворе. Однако применение микровихревого струйного аппарата со встречными закрученными потоками (мВСА-ВЗП) может улучшить качество микросмешения до 2400 раз, чем при перемешивании магнитной мешалкой [2, 3].

Целью работы является синтез методом совместного осаждения гидроксидов на лабораторной установке с магнитной мешалкой и в мВСА-ВЗП ксерогелей и порошков состава 95.5 мол.% ZrO_2 –4.5 мол.% Y_2O_3 , получение керамики на их основе и исследование свойств данных материалов.

Синтез ксерогелей и порошков осуществляли методом совместного осаждения гидроксидов на лабораторной установке с магнитной мешалкой (серия СО) и в мВСА-ВЗП (серии Х-У), варьируя объемы подаваемых реагентов ($X = 0.5; 0.9$ л) и скорости их подачи в рабочую камеру ($Y = 0.5, 3.5$ л/мин). Осадки отфильтровывали, замораживали при $-25^\circ C$ (24 ч) и затем сушили при $120^\circ C$ до полного высыхания. Порошки получали обжигом высушенных ксерогелей при $600^\circ C$ (1 ч) в муфельной печи на воздухе. Компакты формовали сухим одноосным прессованием на гидравлическом прессе ПГР-400 в стальной пресс-форме при давлении ~ 260 МПа и спекали на платиновых подложках в печи SNOL 6.7/1300 при $1300^\circ C$ в воздушной среде с изотермической выдержкой в течение 2 ч [2–4].

Ксерогели, синтезированные в мВСА-ВЗП, характеризуются меньшей площадью удельной поверхности и большей гидратированностью по сравнению с соосажденными. Они представляют собой преимущественно агрегаты неправильной формы размером 10–60 мкм. Это будет способствовать формированию в порошках агломератов, которые в свою очередь будут затруднять диффузию частиц в поровое пространство при спекании, делая керамику более пористой.

С помощью низкотемпературной адсорбции азота и сканирующей электронной микроскопии изучены текстурные характеристики ксерогелей. Строгой закономерности между режимом проведения синтеза и величиной площади удельной поверхности не зафиксировано.

Методом рентгенофазового анализа установлено, что порошки, полученные обжигом ксерогелей при $600^\circ C$, представляют собой псевдокубический твердый раствор t' - ZrO_2 . Данная фаза имеет

отношение параметров элементарной ячейки $a/c = 1$, характерное для кубического твердого раствора, однако относится к пространственной группе симметрии $P4_2/nmc$ (тетрагональная сингония) из-за смещения атомов кислорода в анионной подрешетке [5]. Дальнейшее повышение температуры обжига до 1300 °С приводит к формированию кубической и тетрагональной фаз с преобладанием $c\text{-ZrO}_2$. Спекание порошковых компактов при 1300 °С приводит к формированию тетрагонального и кубического твердого раствора на основе диоксида циркония в керамике.

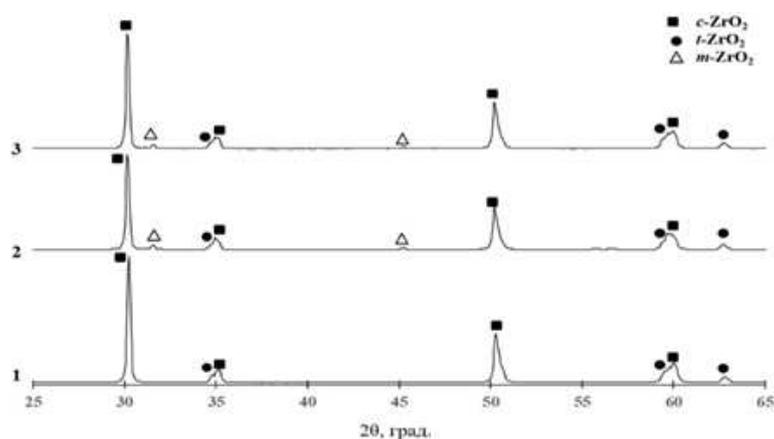


Рисунок 1 – Дифрактограммы керамических образцов после спекания при 1300°С, 2 ч:
1- CO, 2 - 0.5-500, 3 – 3.5-500

Применение микрореактора позволяет значительно улучшить качество микросмешения реагентов на ионно-молекулярном уровне. Поверхность частиц ксерогелей, полученных в микрореакторе, обладает большей избыточной энергией по сравнению с соосажденным ксерогелем. Начало процесса кристаллизации твердого раствора диоксида циркония происходит уже в ксерогеле, что способствует формированию в дальнейшем двухфазной керамики.

Авторы выражают благодарность г. т. н., проф. Р. Ш. Абиеву (СПбГТИ(ТУ), Филиал НИЦ КИ–ПИЯФ–ИХС), к. х. н. Т. В. Хамовой, к. г.-м. н. А. М. Николаеву (Филиал НИЦ КИ–ПИЯФ–ИХС) за помощь в проведении исследований.

Работа выполнена в рамках темы НИР филиала НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИХС № 1023033000122-7-1.4.3.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жигачев, А. О. Мир материалов и технологий. Керамические материалы на основе диоксида циркония / А. О. Жигачев, Ю. И. Головин, А. В. Умрихин [и др.]; под общ. ред. Головина Ю. И. – М: ТЕХНОСФЕРА, 2018. – 358 с.
2. Федоренко, Н. Ю. Влияние условий синтеза на свойства порошков и керамики на основе диоксида циркония, частично стабилизированного оксидом иттрия / Н. Ю. Федоренко, О. Л. Белоусова, С. В. Мякин [и др.] // Физика и химия стекла. – 2025. – Т. 51. – № 1. – С. 134–144.
3. Fedorenko, N. Yu. Comparative study of zirconia based powders prepared by co-precipitation and in a microreactor with impinging swirled flows / N. Yu. Fedorenko, R. Sh. Abiev, Yu. S. Kudryashova, V. L. Ugolkov, T. V. Khamova, S. V. Mjakin, A. V. Zdravkov, M. V. Kalinina, O. A. Shilova // Ceramics International. – 2022. – V. 48. – № 9. – P. 13006–13013.
4. Fedorenko, N. Yu. Relationship among the Composition, Synthesis Conditions, and Surface Acid-Basic Properties of Xerogel Particles Based on Zirconium Dioxide / N. Yu. Fedorenko, S. V. Mjakin, T. V. Khamova, M. V. Kalinina, O. A. Shilova // Ceramics International. – 2022. – V. 48. – № 5. – P. 6245–6249.
5. Агаркова, Е. А. Влияние фазового состава и локальной кристаллической структуры на транспортные свойства твердых растворов $ZrO_2-Y_2O_3$ и $ZrO_2-Gd_2O_3$ / Е. А. Агаркова, М. А. Борик, В. Т. Бублик [и др.] // Известия вузов. Материалы электронной техники. – 2018. – Т. 21. – № 3. – С. 156–165.