

ПОРИСТЫЕ ПОРОШКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ НИХ

УДК 628.16

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМОСИЛИКАТОВ

С. М. Азаров¹, Т. А. Азарова², Е. Е. Петюшик³, А. А. Дробыш¹, Д. Н. Балыдко¹

¹Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 20, 220072, г. Минск, Беларусь, e-mail: azarov@bntu.by

²Институт общей и неорганической химии, ул. Сурганова, 9, 220072, г. Минск, Беларусь, e-mail: azarava@yahoo.com

³ГНПО порошковой металлургии, ул. Платонова, 41, 220005, г. Минск, Беларусь, e-mail: pet65@bk.ru

Поступила 07.10.2016 г.

В статье представлены результаты исследований влияния природных сырьевых компонентов на процессы создания многослойных пористых материалов из керамических порошков.

Природа сырьевых компонентов, их минералогический состав и соотношение в исходной массе оказывают значительное влияние на свойства пористой керамики, поскольку обуславливает возникновение различных кристаллических фаз при высокотемпературной обработке. Все сырьевые материалы для производства пористых керамических материалов можно разделить на три основные группы: наполнители, связующие и добавки, ускоряющие процесс твердения и диссоциирующие при обжиге.

Основным видом керамических масс, предназначенных для создания пористой керамики, являются глинисто-шамотные материалы. Поведение их при спекании и влияние состава шихты и условий спекания керамики на ее свойства изучены достаточно хорошо. Но шамот содержит большое количество посторонних включений, таких как железо, присутствие которых отрицательно сказывается на качестве формируемого мембранного слоя – нарушается его целостность по причине возникновения неконтролируемой точечной усадки керамики вокруг железных включений. Использование фарфорового боя в качестве наполнителя представляется перспективным, поскольку в Республике Беларусь расположен завод по производству столовой посуды. Требования к глинистому сырью для производства таких товаров, в частности, к его чистоте, довольно высоки. Кроме того, фарфоровый бой содер-

жит в своем составе около 5% глазури, присутствие которой положительно сказывается не только на качестве фильтрующего изделия, но и позволяет проводить спекание при более низких температурах.

При производстве фильтрующей керамики наполнитель и связка могут быть представлены одной и той же глиной, однако, чаще всего, применяемая в керамическом производстве глина, состоит из нескольких глинистых минералов.

В качестве связки следует использовать вещество, которое при минимальном его содержании обеспечивает обволакивание зерен наполнителя и создает необходимую прочность материала. Кроме того, связка должна придавать сырой керамической массе пластичность, необходимую для формования.

Важным аспектом в изучении возможности использования минерального сырья Беларуси для производства пористых керамических изделий является исследование их минералогического состава и особенностей фазового преобразования при термической обработке. Наличие тонкодисперсных частиц железа оказывает неблагоприятное влияние на качество спеченного керамического слоя. Это связано с высокой реакционной способностью закисного железа, благодаря которой интенсивно образуются железистые силикатные расплавы, вызывающие уплотнения керамического материала вокруг частицы и, сле-

довательно, разрыв сплошности керамической мембраны [1, 2]. Жидкое стекло обеспечивает высокую механическую прочность изделия в сухом состоянии, что облегчает операции прессования и сушки и позволяет автоматизировать эти процессы. По сравнению с шамотно-бентонитовыми изделиями существенно снижается температура спекания керамических, при этом происходит усадка связующего и взаимодействие связующих компонентов с наполнителем с образованием стекловидной фазы, которая располагается вокруг зерен основного наполнителя [3].

Процесс разделения на мембранах в многослойных пористых материалах происходит на верхнем слое. Подложка придает мембране механическую прочность, в то время как средний слой действует в качестве переходной фазы, защищающей подложку от проникновения мембранного слоя при синтезе. Примечательно, что подложка совместно со средним слоем может быть использована для микрофильтрации, когда требуется отделить частицы размером 2–5 мкм. Мембрана с верхним слоем используется для ультрафильтрации – для разделения коллоидных частиц и макромолекул.

В основе методов получения керамических мембран лежит процесс нанесения мембранного слоя на крупнопористую подложку. В зависимости от требований, предъявляемых к селективности мембраны, нанесенных слоев может быть несколько. Для получения промежуточных и ультратонких мембранных слоев на пористую подложку наносят суспензии или гели керамических и металлических порошков, которые затем подвергают термообработке. В работе [6] на пористую ленту из никеля толщиной 120–250 мкм, пористостью 30–40% и размером пор 5–10 мкм наносили порошок никеля с размером частиц ~ 70 мкм и спекали.

В работе [7] предложен керамический фильтр, состоящий из фильтрующего слоя толщиной 10–40 мкм, нанесенного на пористый носитель. Объем всех пор фильтрующего слоя менее 0,2 см³/г. Объем пор диаметром 0,1–3,0 мкм составляет 0,1 см³/г. Для нанесения фильтрующего слоя носитель приводят в контакт с жидкостью, излишек жидкости сливают, слой сушат и нагревают [8]. Авторы получают фильтрующий слой с порами 1–2 мкм путем продавливания через подложку из Al₂O₃, состоящую из частиц 5 мкм, водную суспензию порошка Al₂O₃ с размером

частиц ~ 0,5 мкм, в результате чего формируется слой толщиной 20–30 мкм [9].

В пористую подложку с порами 5–30 мкм пропитывают суспензией углерода с частицами 0,5–3 мкм [10]. Этот процесс повторяют несколько раз, после чего пропитывают суспензией керамического или металлического порошка с частицами 0,02–3 мкм, нагревают до 800 °С и выжигают углерод. Авторы [11] через пористую керамическую пластину толщиной 1–10 мм и средним размером пор 5 мкм фильтруют под давлением раствор хлорида или оксида циркония. В результате формируется слой толщиной < 5 мкм с порами 0,5–500 мкм [12].

В работе [13] предложена керамическая мембрана, состоящая из трех слоев. Первый слой (подложка) представляет собой стенку трубы из Al₂O₃ диаметром 30 мм, пористостью 30–40% и средним размером пор около 1 мкм. Второй слой (промежуточный) состоит из γ -Al₂O₃, имеет толщину 10–40 мкм, пористость около 36% и средний размер пор 0,06 мкм. Фирма Ceraver (SCT, Общество технической керамики, Франция) [14] выпускает мембраны в виде отдельных трубок с внутренним диаметром 7 или 15 мм, либо в виде шестигранников с 19 каналами диаметром 2, 4, 6 мм и длиной 250 мм. Подложка выполнена из порошка Al₂O₃ с частицами 30–50 мкм и имеет размер пор до 15 мкм. В работе [15] сообщается об изготовлении фирмой Atech Innovations GmbH (г. Эссен, Германия) различных типов керамических мембран для микро- и ультрафильтрации с общей фильтрационной площадью от 0,1 до 9,4 м² и размером пор от 0,02 до 0,8–3 мкм. В патенте [16] предложен способ получения мембраны химическим осаждением пленки из металлоорганического соединения (алюминия или циркония) или тетраэтилоортосиликата на микропористую керамическую подложку (< 100 нм) и последующим окислением осажденной пленки при температуре на 50 °С выше, чем температура осаждения (350–800 °С, преимущественно 450–600 °С), в результате чего образуется оксидная полупроницаемая мембрана. Имеются данные [17] о получении по золь-гель технологии с приложением давления. В патенте [18] предложен способ получения композиционных мембран системы «металл–керамика» для процессов микро- и ультрафильтрации. Мембраны состоят из подложки толщиной 25–1 мкм из металла с порами размером 0,25–50 мкм и осажденного на подложку керамического покрытия

толщиной 0,1–50 мкм на основе Al_2O_3 с порами размером 0,5–250 нм. В работе [19] предложен способ изготовления микропористых мембран из алюмооксидной керамики с удельной поверхностью $> 100 \text{ м}^2/\text{г}$ при среднем диаметре пор $< 5,0 \text{ нм}$ и полном отсутствии пор диаметром $> 10,0 \text{ нм}$.

Приведенный обзор методов получения неорганических мембран позволяет сделать некоторые выводы, касающиеся подхода к проблеме формирования мембран:

1. Пористая подложка должна обладать минимально возможным гидравлическим сопротивлением, т. е. минимальный размер пор должен быть не менее 15–20 мкм. В противном случае мембрана будет иметь заведомо низкую производительность по фильтрату.

2. Должно соблюдаться определенное соотношение размеров пор подложки и размеров частиц наносимого слоя. При отношении размера пор подложки к размеру частиц, равному 5–10, происходит не формирование слоя на геометрической поверхности подложки, а заполнение пор подложки на глубину, не превышающую одного диаметра пор подложки.

3. Мембранный и промежуточные слои должны обладать минимальным гидравлическим сопротивлением, как и подложка. Для этого отношение толщины слоев к размеру их пор не должно превышать 20–40.

Одним из основных условий получения высококачественных мембран является использование высокостабильных суспензий керамических порошков. Такие суспензии могут рассматриваться как коллоидные системы при условии, что размер частиц не превышает 0,1–1,0 мкм. Свойства такой коллоидной системы будут зависеть от количества твердой фазы, распределения частиц и их агломератов по размеру, формы агрегатов, от типа взаимодействия между частицами.

Высокой пластичности добиваются введением в состав суспензии органических добавок, таких как полимеры и пластификаторы. Присутствие этих добавок, однако, создает дополнительные трудности на этапе их удаления при сушке, особенно в случае больших размеров молекул или при высоком содержании связки. Авторы работ [20, 21] получали свободную от связки монодисперсную коллоидную систему, которая была идеальной для достижения гомогенной микроструктуры. Оказалось, что монодисперсная коллоидная система может служить прекрасной мо-

делью для изучения агрегации, седиментации, реологии и явлений сушки.

Авторы [22–25] предложили новую парадигму обработки порошков. Их подход объединял множество принципов, которыми руководствовались все предыдущие исследователи, а именно – использование порошков с контролируемым размером, морфологией и чистотой; отказ от использования связки и контроль дисперсности. В работе [26] изучено влияние молекулярной структуры низкомолекулярных органических веществ на адсорбцию и электрофоретическую подвижность керамических частиц суспензии. Для каждого типа дисперсантов существует своя критическая концентрация, при которой суспензия имеет минимальную вязкость [27–29].

При выборе связки следует учитывать следующие требования:

1) система связки должна обеспечивать то значение рН, которое позволяет получить хорошо диспергированную суспензию;

2) получающаяся гибкая пленка должна выдерживать различные манипуляции с ней;

3) связка должна обеспечивать хорошую адгезию в процессе наслоения.

Высокое содержание связки обычно требуется для придания пленке хорошей механической прочности в процессе ее обработки.

Авторами работы [30–36] установлено, что при содержании твердой фазы до 50–55 % добавление латекса не оказывает существенного влияния на свойства суспензии.

Основные стадии процесса сушки высокопористой структуры можно представить как последовательность следующих превращений [35]: первоначально, когда тело теряет влагу, жидкость испаряется через внешнюю поверхность керамического слоя, частицы при этом приближаются друг к другу, усадка на таком этапе пропорциональна потере массы. Первая стадия процесса сушки называется периодом постоянного коэффициента, поскольку скорость испарения на единицу поверхности, подвергающейся сушке, не зависит от времени. По мере продолжения сушки испаряющаяся жидкость постоянно замещается жидкостью, поступающей из внутренней области мембраны на поверхность в результате капиллярного эффекта до тех пор, пока частицы не установят взаимный контакт и не будет достигнуто так называемое критическое содержание жидкости.

В качестве исходных компонентов при приготовлении алюмосиликатного материала использовали: сырье глинистое для керамической промышленности ГОСТ 9169-75, изделия фарфоровые (бой) ГОСТ 28390-89, каолин обогащенный для керамических изделий ГОСТ 21286-82, глина бентонитовая для тонкой и строительной керамики ГОСТ 7032-75. Размол боя фарфоровых изделий до требуемой фракции осуществляли на молотковой мельнице. Нанесение промежуточного и мембранного слоев проводили при помощи полуавтоматического устройства, конструкция которого в настоящее время патентуется. Для приготовления суспензии применяли алюмосиликатный порошок, полученный после тщательного многоступенчатого размола некондиционных изделий фарфорового производства (ГОСТ 28390-89). Мелкую фракцию порошка, характеризующуюся размером от 0,5 до 1 мкм, получали после отмучивания. Средний диаметр частиц, измеренный методом седиментации, составил 0,7 мкм. Для приготовления суспензий использовали дистиллированную воду. В качестве стабилизатора суспензии применяли промышленно производимые дисперсанты – натриевая соль полиакриловой кислоты со средним молекулярным весом 5,000 (NaHPA-5) 15,000 (NaHPA-15) и («Sigma»). Выбор дисперсантов обусловлен часто встречающимися в литературе ссылками на его эффективность [24–27, 30, 31, 46–48].

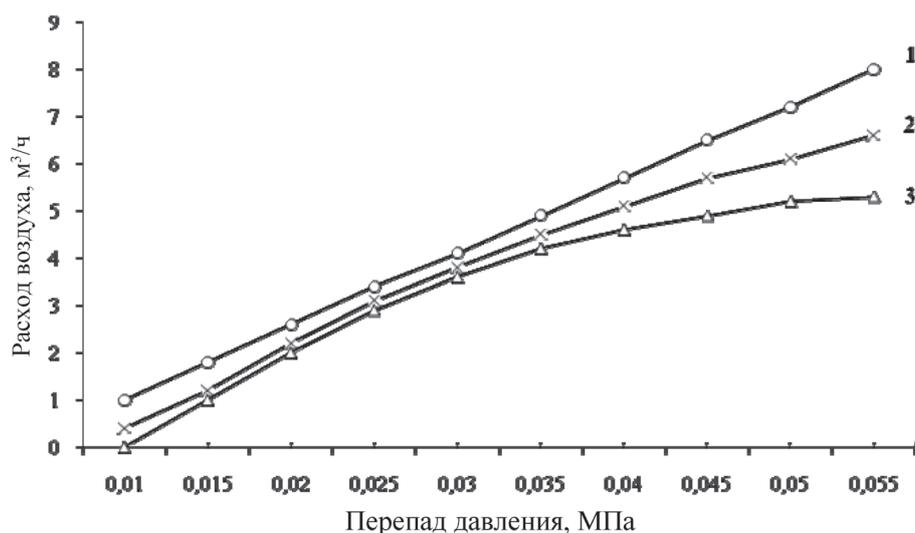
Для изготовления мембранного слоя использовали молотый порошок фарфорового боя, кото-

рый просеивали сквозь сито с размером отверстий менее 50 мкм, отмучивали и отделяли фракцию частиц с размером 32–50 мкм. Из этого порошка готовили взвесь на основе 4 %-ного раствора ПВС с 25 %-ным содержанием твердой фазы.

Установлено, что уже при однократном нанесении мембранный слой значительно уменьшает средний размер пор многослойного фильтроэлемента до 2–4 мкм, однако само покрытие имеет множество свищей. Повторное нанесение слоя суспензии после кратковременного подсушивания фильтроэлементов при комнатной температуре способствует заживлению этих дефектов. Нанесение третьего и четвертого слоя на полусырой фильтроэлемент не приводит к уменьшению среднего размера пор, и поэтому больше двух раз наносить мембранный слой нецелесообразно. После спекания мембранные слои имели толщину 100–150 мкм и средний размер пор – 2–4 мкм.

На рисунке представлена зависимость производительности фильтроэлементов с разным количеством слоев от перепада давления от давления.

Как видно из графика в рассматриваемом диапазоне давлений зависимость имеет монотонный характер, что позволяет предположить возможность роста производительности при увеличении давления. Максимальное значение перепада давления ограничено возможностями компрессора. Из графиков видно, что увеличение давления в системе сопровождается большим



Зависимость расхода воздуха от перепада давления в фильтроэлементе: 1 – крупнопористая алюмосиликатная матрица (размер пор 150 – 250 мкм); 2 – фильтроэлемент с промежуточным слоем (размер пор 20–30 мкм); 3 – фильтроэлемент с промежуточным и мембранным слоями (размер пор 2–5 мкм)

отклонением от линейной зависимости для многослойных фильтроэлементов по сравнению с крупнопористой алюмосиликатной матрицей. Уменьшение скорости потока в порах мембранного слоя наряду с уменьшением их размера приводит к увеличению вероятности задерживания

посторонних включений в воздушном потоке и, следовательно, к улучшению качества очистки. В то же время возрастает степень «заиливания» мембраны.

Результаты экспериментов по оценке прочности фильтроэлементов приведены в таблице.

Характеристики фильтроэлементов

Типы фильтроэлементов	Температура спекания, °С	Пористость, %	Давление разрушения образца, МПа	Объемная усадка, %
Крупнопористая матрица	1150	35	0,3	3
Крупнопористая матрица с промежуточным слоем	1150	31	0,5	3,5
Крупнопористая матрица с промежуточным и мембранным слоями	1150	28	0,7	4
Крупнопористая матрица с промежуточным и мембранным слоями	1250	22	1,2	4,8

Результаты, приведенные в таблице, указывают на увеличение прочности фильтроэлементов с нанесением каждого дополнительного слоя с одновременным уменьшением общей пористо-

сти и, следовательно, производительности при заданном давлении. Это обстоятельство необходимо учитывать при создании многослойных пористых материалов для очистки воздуха.

Литература

1. Роговой, М. И. Технология искусственных пористых заполнителей керамики / М. И. Роговой. – М.: Стройиздат, 1974. – С. 111.
2. Смирнова, К. А. Пористая керамика для фильтрации и аэрации / К. А. Смирнова. – М., 1968. – 171 с.
3. Беркман, А. С. Пористая проницаемая керамика / А. С. Беркман, И. Г. Мельникова. – Л., 1969 – С. 141.
4. Keizer, K. Porous ceramic materials in membrane application / K. Keizer, A. I. Burggraf // Science of ceramics. – 1987. – № 14. – P. 83–93.
5. Способ получения мембраны: пат. заявка 3727274 ФРГ, МКИ В 01 Д 39/20. – Оpubл.: 25.02.88.
6. Способ и устройство для изготовления трубчатых фильтрующих элементов: пат. 2359305 ФРГ, МКИ В 01 Д 39/14. – Оpubл.: 05.12.85.
7. Способ получения керамической мембраны: заявка 62-186808 Япония, МКИ В 01 Д 13/04. – Оpubл.: 15.08.87.
8. Заявка 61-391007 Япония, МКИ В 01 Д 13/04. – Оpubл.: 21.08.87.
9. Заявка 61-220704 Япония, МКИ В 01 Д 13/00. – Оpubл.: 01.10.86.
10. Заявка 61-238305 Япония, МКИ В 01 Д 13/04. – Оpubл.: 23.10.86.
11. Uhlhorn, R. I. New ceramic membrane materials for use in gas separation application / R. I. Uhlhorn, K. Keizer, A. I. Burggraf // Science of ceramic. – 1987. – № 14. – P. 551–556.
12. Заявка 0040282 ЕПВ, МКИ В 01 Д 13/04. – Оpubл.: 25.11.81.
13. Способ получения металлооксидных пористых керамических мембран / пат. 5415891 США, МКИ⁶ В 05 Д 5/00, С 23 С 16/40. Liu Paul K.T., Wu Settrey C.; Media and Process Technology Inc. – № 179614; заявл.10.01.94. – Оpubл. 16.05.95.
14. Hyun Sang, H. Synthesis of nanoparticulate silica composite membranes by the pressurized sol-gel technigue / H. Hyun Sang, S. Kang Beom // J. Amer. Ceram. Soc. – 1994. – Vol. 77, № 12. – P. 3093–3098.
15. Получение и свойства плоских керамических микрофильтрационных мембран из порошков γ - Al_2O_3 / М. Т. Брык [и др.] // Порошковая металлургия (Киев). – 1994. – № 9–10. – С. 81–85.
16. Veyre, R. Ultrafiltration of microfiltration tangentialle: appaveil de laboratoire sterilisable / R. Veyre // Spectra. – 1985. – Vol. 13, № 107.
17. Cross-flow filtration of yeast by microporous ceramic membrane with backwashing / K. Matsumoto, M. Kawahara, H. Ohya // J. Ferment. Technol. – 1988. – Vol. 66, № 2. – P. 199–205.
18. Bowen, H. K. Basic research needs on high-temperature ceramics for energy application / H. K. Bowen // J. Mater. Sci. Ing. – 1980. – Vol. 44, № 1. – P 1–8.
19. Barringer, E. A. Formation, packing and sintering of monodisperse TiO_2 powders // J. Amer. Ceram. Soc. – 1982. – Vol. 65, № 12. – P. 199–201.
20. New method for efficient colloidal particle packing via modulation of repulsive lubricating hydration forces / B. V. Velamakanni [et al.] // Langmuir. – 1990. – Vol. 5, № 7. – P. 1323–1325.
21. Kristoffersson, A. Comparison of different binders for water-based tape casting of alumina / A. Kristoffersson, E. Roncari, C. Galassi // J. Europ. Ceram. Soc. – 1998. – Vol. 18, № 14. – P. 2123–2131.

22. **Kristoffersson, A.** Study of interactions between polyelectrolyte dispersants, alumina and latex binders by rheological characterization / A. Kristoffersson, R. Lapasin, C. Galassi. // *J. Eur. Ceram. Soc.* – 1998. – Vol. 18, № 14. – P. 2133–2140.
23. **Kiratzis, N.** Rheological behavior of stabilised aqueous alumina dispersions in presence of hydroxyethyl cellulose / N. Kiratzis, P. F. Luckham // *J. Europ. Ceram. Soc.* – 1998. – Vol. 18, № 7. – P. 783–790.
24. **Jones, D. A. R.** The rheology of a concentrated colloidal suspension of hard spheres / D. A. R. Jones, B. Leary, D. V. Boger // *J. Colloid Interface Sci.* – 1991. – Vol. 147. – P. 479.
25. **Pressure** Sensitivity for particle packing of aqueous Al_2O_3 slurries vs interparticle potential / J. C. Chang [et al.] // *J. Am. Ceram. Soc.* – 1994. – Vol. 77, – № 5. – P. 1357–1360.
26. **Greenwood, R.** Electro acoustic and rheological properties of aqueous Ce-ZrO₂ suspensions / R. Greenwood, L. Bergstrom // *J. Europ. Ceram. Soc.*
27. **Braun, J. R. L.** Viscosity of tape-casting slip / J. R. L. Braun, W. Morris // *Amer. Ceram. Soc. Bull.* – 1985. – Vol. 64, № 5. – P. 727–729.
28. **Cerano III, J.** Stability of aqueous $\alpha-Al_2O_3$ suspensions with polymethacrylic acid polyelectrolyte / J. Cerano III, I. A. Aksay, A. Bleier // *J. Am. Ceram. Soc.* – 1988. – Vol. 71, № 4. – P. 250–255.
29. **Biggs, S.** Electrosteric stabilization of colloidal zirconia with low molecular weight polyacrylic acid / S. Biggs, T. W. Healy // *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* – 1994. – Vol. 90, № 22. – P. 3415–21.
30. **The effect** of salt concentration on adsorption of low-charge-density polyelectrolytes and interactions between polyelectrolyte-coated surfaces / D. J. Rojas [et al.] // *J. Colloid. Interface Sci.* – 1998. – Vol. 205, № 1. – P. 77–78.
31. **Marra, J.** Forces between two poly (2-vinyl pyridine)-covered surfaces as function of ionic strength and polymer charge / J. Marra, M. L. Hair // *J. Phys. Chem.* – 1988. – Vol. 92 – P. 6044–6051.
32. **Adsorption** of weak polyelectrolytes on highly charged surfaces: polyacrylic acid on polystyrene latex with cationic groups / J. Blaakmeer [et al.] // *Macromolecules.* – 1990. – Vol. 23. – P. 2301–2339.
33. **Bohner, M. R.** Weak polyelectrolytes between two surfaces: Adsorption and stabilization / M. R. Bohner, O. A. Evers, J. M. H. M. Scheutjens // *Macromolecules.* – 1990. – Vol. 23. – P. 2288–22301.
34. **Walz, J. Y.** Effect of long-range interactions on the depletion forces between colloidal particles / J. Y. Walz, A. Sharma // *J. Colloid. Interface.* – 1997. – Vol. 168. № 2. – P. 485.
35. **Mao, Y.** Depletion forces in polydisperse systems / Y. Mao, M. E. Cates, H. N. W. Lekkerker // *Physica A.* – 1995. – Vol. 222, № 1. – P. 10–24.
36. **Richetti, P.** Direct measurement of depletion and structural forces in micellar system / P. Richetti, P. Kekicheff // *Phys. Rev.* – 1992. – Vol. 68, № 10. – P. 1951–1958.
37. **Ogden, A. L.** Effect of nonadsorbed polymer on the stability of weakly flocculated nonaqueous suspensions / A. L. Ogden, J. A. Lewis // *Langmuir.* – 1996. – Vol. 12, № 14. – P. 3413–3424.
38. **Zhang, Y.** Tape casting aqueous alumina suspensions containing a latex binder / Y. Zhang, J. Binner // *J. Mater. Sci.* – 2002. – Vol. 37, № 10. – P. 1831–1837.
39. **Lewis, J. A.** Colloidal processing of ceramics / J. A. Lewis // *J. Amer. Ceram. Soc.* – 2000. – Vol. 83, № 10. – P. 2341–2359.
40. **Получение** оксидных покрытий на поверхности пористой силикатной керамики // А. И. Ратько [и др.] // *Физико-химия поверхности и защита материалов.* – 2010. – Т. 46. – № 2. – С. 195–198.

FORMATION OF MULTILAYER POROUS MATERIALS ON THE BASE OF SILICATES OF ALUMINIUM

S. M. Azarov¹, T. A. Azarova², E. E. Petiushek³, A. A. Drobysh¹, D. N. Balydka¹

¹Belarus National Technical University, Minsk, Belarus

²Institute of general and inorganic chemistr, Minsk, Belarus

³Belarus State Powder Metallurgy Association of Powder Metallurgy, Minsk, Belarus

In this paper there are presented results of investigations of raw materials components influence on processes of creation of multilayer porous materials from ceramics powders.