

Д. т. н. **Б. Л. Красный**¹, к. т. н. **В. П. Тарасовский**^{1, 3} (✉), к. т. н. **Ю. М. Мосин**²,
к. т. н. **А. Б. Красный**¹, к. т. н. **А. Ю. Омаров**³

¹ ЗАО «НТЦ «Бакор», г. Щербинка Московской обл., Россия

² ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева»,
Москва, Россия

³ ФГБОУ ВПО «Московский государственный индустриальный университет»,
Москва, Россия

УДК 666.762.11-127

ПОРИСТАЯ ПРОНИЦАЕМАЯ КОРУНДОВАЯ КЕРАМИКА ИЗ ПОРОШКОВ ГИДРОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ. Часть 1. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОРОШКОВ ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК

Приведены результаты получения и свойства пористой проницаемой керамики с высокими значениями открытой пористости и прочности из порошков гидроксида алюминия различных марок. Исследованию свойств таких порошков посвящена часть 1 настоящей статьи.

Ключевые слова: пористая корундовая керамика, порошки гидроксида алюминия, гиббсит, байерит, бёмит.

ВВЕДЕНИЕ

Изделия из пористой проницаемой керамики обладают рядом преимуществ по сравнению с такими же изделиями из пористых металлов, стекла и пластмасс. Они имеют более высокие значения прочности, устойчивы в кислотах и щелочах, расплавах черных и цветных металлов, агрессивных шлаков, могут длительно эксплуатироваться при высоких температурах. Поэтому в последнее время изделия из такой керамики вызывают большой интерес у потребителя.

По областям применения изделия из пористой проницаемой керамики можно разделить на несколько групп: 1 группа — изделия, процесс эксплуатации которых характеризуется наличием избыточного давления газа или жидкости, которые проходят по поровым каналам, очищаются, гомогенизируются, разделяются, смешиваются. К этим изделиям относятся фильтрующие элементы для очистки воздуха от пыли, водяного и масляного тумана, а также воздуха и горячих агрессивных газов, например доменного и мартеновского, при температурах до 1000 °С [1]; фильтрующие элементы для очистки газов от аэрозолей, в том числе радиоактивных [2]; фильтрующие элементы

для очистки питьевой воды и сточных вод промышленных предприятий, растворов электролитов, пульп, солевых растворов, вина, молока, кислот, щелочей, расплавов черных и цветных металлов [3–5]; диспергаторы для мелкодисперсного распыления газов в жидких средах или расплавах, а также газообразных реагентов в химических реакторах с целью увеличения контактной поверхности [6]; 2 группа — изделия из капиллярно-пористых керамических материалов, работа которых основана на использовании капиллярного давления, возникающего на границе раздела жидкость — газ. К таким изделиям относятся испарители, конденсаторы, фитили тепловых труб, капиллярные насосы, гидравлические затворы и др. [7]; 3 группа — изделия из пористых керамических материалов со специальными свойствами, для которых в процессе эксплуатации характерно взаимодействие поверхности пор с фазой, заранее введенной или пропускаемой по поровым каналам, что интенсифицирует физические и химические процессы. К таким изделиям относятся мембраны для электродов сравнения, заменители костной ткани и др. [8].

Традиционные методы изготовления пористой проницаемой корундовой керамики, такие как частичное спекание (твердофазовое) узкофракционированных порошков глинозема, жидкофазовое спекание узкофракционных порошков (с использованием легкоплавких технологических связок), с использованием порошков из материалов с некубической структурой



В. П. Тарасовский
E-mail: tarasvp@mail.ru

и с различающимися ТКЛР в направлении главных кристаллографических осей, с использованием различных порообразователей, не позволяют получать пористые проницаемые материалы с высокими (>40 %) значениями открытой пористости [9]. Показано [10, 11], что введение в состав порошка оксида алюминия добавок порошка гидроксида алюминия позволяет получать пористые керамические материалы со значениями пористости до 50 %, однако прочность этих материалов достаточно низкая.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы — получение пористой проницаемой керамики с высокими значениями открытой пористости и прочности из порошка гидроксида алюминия и исследование ее свойств. Для достижения этой цели предложено использовать порошки гидроксида алюминия различных марок (имеющих различную морфологию, фазовый и гранулометрический составы). Исследованию свойств таких порошков посвящена часть 1 этой работы. Используются следующие порошки:

— гидроксид алюминия марки ГД-12 (производства ОАО «Бокситогорский глинозем», ТУ 1711-001-00658716–99, получен при разложении алюминатных растворов методом карбонизации в производстве глинозема);

— гидроксид алюминия марки НПК-1 (гидрат оксида алюминия мелкодисперсный квалификации ч. д. а. производства Донецкого завода химических реактивов);

— гидроксид алюминия марки НПК-2 (гидроксид алюминия марки ТГА производства Ачинского глиноземного завода);

— гидроксид алюминия марки АРРАЛ 4 (плотность 2,4 г/см³, удельная поверхность 0,7 м²/г, производства фирмы «Nabaltec AG», Германия);

— гидроксид алюминия марки АРРАЛ АОН 180Е (плотность 3,0 г/см³, удельная поверхность 17 м²/г, производства фирмы «Nabaltec AG», Германия).

Гидроксиды всех используемых марок являются мелкокристаллическими порошками белого цвета. По данным производителей, материал ГД-12 содержит 99,7 мас. % $\text{Al}(\text{OH})_3$ + 0,3 мас. % Na_2O , материал НПК-1 — 99,4 мас. % $\text{Al}(\text{OH})_3$ + 0,6 мас. % Na_2O , материал НПК-2 — 99,3 мас. % $\text{Al}(\text{OH})_3$ + 0,7 мас. % Na_2O , материал АРРАЛ 4 — 99,7 мас. % $\text{Al}(\text{OH})_3$ + 0,3 мас. % Na_2O , материал АРРАЛ АОН 180Е — 99,7 мас. % AlOOH + 0,3 мас. % Na_2O . Все используемые в работе материалы являются химически чистыми.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование фазового состава порошков проводили на дифрактометре BRUKER D8 ADVANCE фирмы «Bruker», Германия; морфологию исходных порошков изучали с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6490 LV фирмы JEOL, Япония; гранулометрический состав порошков определяли на лазерном анализаторе частиц «Analysette 22» фирмы «Fritsch», Германия; удельную поверхность исходных материалов измеряли на приборе ASAP 2020 фирмы «Micromeritics Instrument Corp.», США (метод низкотемпературной адсорбции азота); термический анализ образцов порошков проводили на приборе «Derivatograph Q-1500D» системы Паулик – Паулик – Эрдей фирмы MOM, Венгрия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По данным рентгенофазового анализа, гидроксид алюминия марки ГД-12 содержит одну фазу гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$ с модификацией гиббсита с параметрами моноклинной элементарной ячейки $a = 0,86735$ нм, $b = 0,507259$ нм, $c = 0,97268$ нм, $\beta = 94,552^\circ$. Образец НПК-1 представляет собой смесь двух модификаций гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$: гиббсита с параметрами моноклинной элементарной ячейки $a = 0,86831$ нм, $b = 0,50743$ нм, $c = 0,97175$ нм, $\beta = 94,428^\circ$ и байерита с параметрами моноклинной элементарной ячейки $a = 0,5058$ нм, $b = 0,8698$ нм, $c = 0,47419$ нм, $\beta = 90,60^\circ$. По данным количественного рентгенофазового анализа методом Ритвельда, в образце содержится 78,0 мас. % гиббсита и 22,0 мас. % байерита.

Образцы НПК-2 и АРРАЛ 4 содержат одну фазу гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$ с модификацией гиббсита, а образец АРРАЛ АОН 180Е — одну фазу оксигидроксида алюминия $\text{AlO}(\text{OH})$ с модификацией бёмита. На рентгенограммах образцов НПК-2 и АРРАЛ АОН 180Е зафиксированы достаточно высокие фоны, которые обусловлены большим количеством в них аморфной фазы (особенно в образце НПК-2). Содержание аморфной фазы в образцах ГД-12, НПК-1 и АРРАЛ 4, напротив, не столь велико.

По данным сканирующей электронной микроскопии, образец ГД-12 состоит из агломератов изотропной формы (близкой к сферической), представляющих собой сростки кристаллов (рис. 1, а). По электронно-микроскопическим изображениям были оценены средний размер агломератов (~52 мкм) и сред-

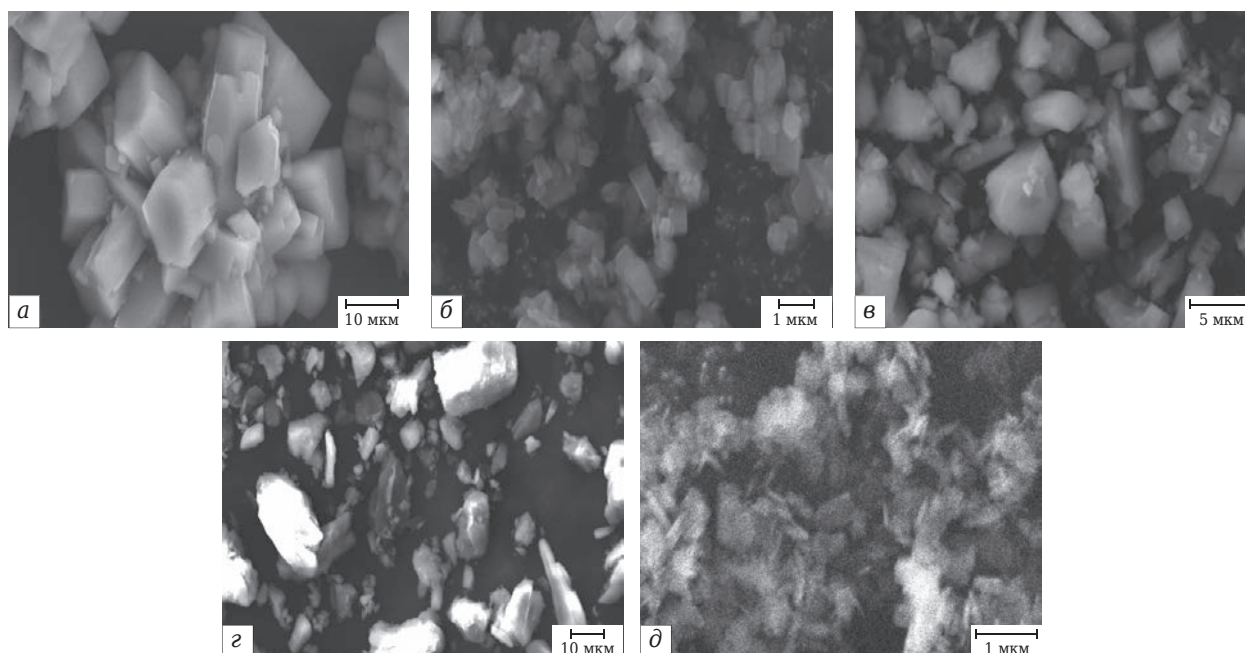


Рис. 1. Морфология частиц порошка гидроксида алюминия: а — ГД-12; б — НПК-1; в — НПК-2; г — АРУРАЛ 4; д — АРУРАЛ АОН 180Е

ний размер кристаллов в агломератах (~12 мкм). Распределение кристаллов в агломератах по размерам в образце ГД-12 практически равномерное в интервале 5–20 мкм. Образец НПК-1 состоит из хорошо ограненных кристаллов субмикронного размера и больших по размеру агломератов изотропной формы (рис. 1, б). Форма субмикронных кристаллов идентична форме кристаллов в образце ГД-12 (см. рис. 1, а), из чего можно сделать предположение, что эти кристаллы соответствуют модификации гиббсита, а агломераты представляют собой модификацию байерита. В структуре агломератов в образце НПК-1 трудно выделить отдельные хорошо ограненные кристаллы, в отличие от агломератов в образце ГД-12. По электронно-микроскопическим изображениям были оценены средний размер агломератов (~12 мкм) и средний размер кристаллов в агломератах (~406 нм). Образец НПК-1 имеет мономодальное распределение агломератов по размерам в интервале 5–30 мкм. Распределение кристаллов по размерам в образце НПК-1 мономодальное в интервале 100–800 нм. Образец НПК-2 состоит из кристаллов и больших по размеру агломератов неизометричной формы (рис. 1, в). Образец АРУРАЛ 4 состоит из кристаллов неизометричной формы, похожих на кристаллы гидроксида алюминия марки НПК-2 (рис. 1, г). Образец АРУРАЛ АОН 180Е состоит из игольчатых кристаллов неизометричной формы субмикронного размера (рис. 1, д).

Гранулометрический состав порошков гидроксидов показан на рис. 2. Результаты определения среднего диаметра и удельной поверхности порошков гидроксида алюминия различных марок представлены в табл. 1. Результаты исследований гранулометрического состава порошков и данные по их удельной поверхности подтверждают выводы, сделанные на основании анализа результатов электронной микроскопии этих же порошков гидроксидов, — порошки имеют различные морфологию, размер и структуру.

Результаты термического анализа порошков гидроксидов показаны на рис. 3. Первый эндотермический эффект на термограмме материала ГД-12 наблюдается при 80–200 °С и практически не сопровождается потерей массы. Он связан с удалением физически связанной воды (рис. 3, а). Второй и третий эндотермические эффекты, наблюдаемые соответственно при 220–280 и 300–400 °С, сопровождаются значительной потерей массы и соответствуют переходу тригидратов оксида алюминия (гиббсита, байерита) в моногидрат (бёмит); переход, по-видимому, проходит в две стадии. Четвертый эндотермический эффект наблюдается при 530–670 °С и сопровождается потерей массы; он не такой значительный, как второй и третий. Этот эффект соответствует переходу бёмита в $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. На термограмме наблюдаются также эффекты в интервале 1010–1090 °С, которые могут быть связаны с переходами промежуточных фаз $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ в $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ в $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$.

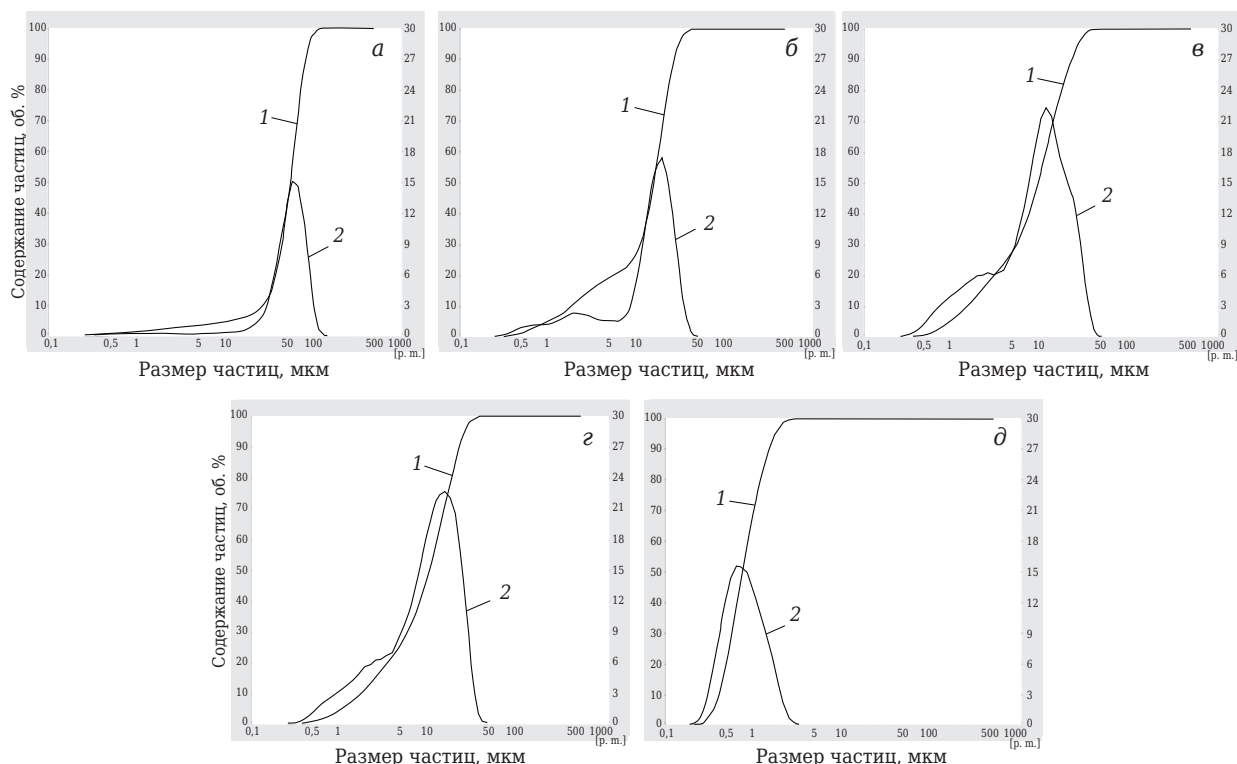


Рис. 2. Распределение частиц по размерам в порошке гидроксида алюминия: а — ГД-12; б — НПК-1; в — НПК-2; г — АРҮRAL 4; д — АРҮRAL АОН 180Е

Таблица 1. Средний диаметр $d_{\text{ср}}$ и удельная поверхность $S_{\text{уд}}$ частиц порошка гидроксида алюминия различных марок

Показатели	ГД-12	НПК-1	НПК-2	АРҮRAL 4	АРҮRAL АОН 180Е
$d_{\text{ср}}^{*1}$, мкм	55,73	14,77	10,51	10,15	0,84
$S_{\text{уд}}^{*1}$, м ² /г	0,08	0,31	0,40	0,35	2,27
$S_{\text{уд}}^{*2}$ (БЭТ), м ² /г	221,37	210,06	173,32	37,04	26,49

*1 По данным лазерного анализатора частиц.
*2 Определена методом адсорбции азота.

На термограмме материала НПК-1 наблюдается эндотермический эффект при 90–180 °С, практически не сопровождающийся потерей массы, который связан с удалением физически связанной воды (рис. 3, б). Второй и третий эндотермические эффекты, наблюдаемые соответственно при 245–280 и 300–420 °С, сопровождаются значительной потерей массы и соответствуют переходу тригидратов оксида алюминия (гиббсита, байерита) в бёмит; переход, по-видимому, проходит в две стадии. Четвертый эндотермический эффект наблюдается при 530–620 °С и сопровождается потерей массы; он не такой значительной, как второй и третий. Этот эффект соответствует переходу бёмита в γ - Al_2O_3 .

Первый эндотермический эффект на термограмме гидроксида алюминия марки НПК-2, наблюдаемый при 240–300 °С и сопровожда-

ющийся потерей массы, соответствует переходу тригидрата оксида алюминия в моногидрат (рис. 3, в). При этом величина этого теплового эффекта значительно меньше, чем на термограммах порошков гидроксидов ГД-12, НПК-1 и АРҮRAL 4. Потеря массы в этом интервале также незначительная. На термограмме не наблюдается второго эффекта, соответствующего переходу бёмита в γ - Al_2O_3 . Отличие термограммы порошка гидроксида алюминия марки НПК-2 от термограмм порошков гидроксидов алюминия марок ГД-12, НПК-1 и АРҮRAL 4 можно объяснить присутствием большого количества аморфной фазы в этом материале.

На термограмме порошка гидроксида алюминия марки АРҮRAL 4 первый эндотермический эффект наблюдается при 240–320 °С (рис. 3, г). Этот эффект сопровождается значительной потерей массы и связан с переходом

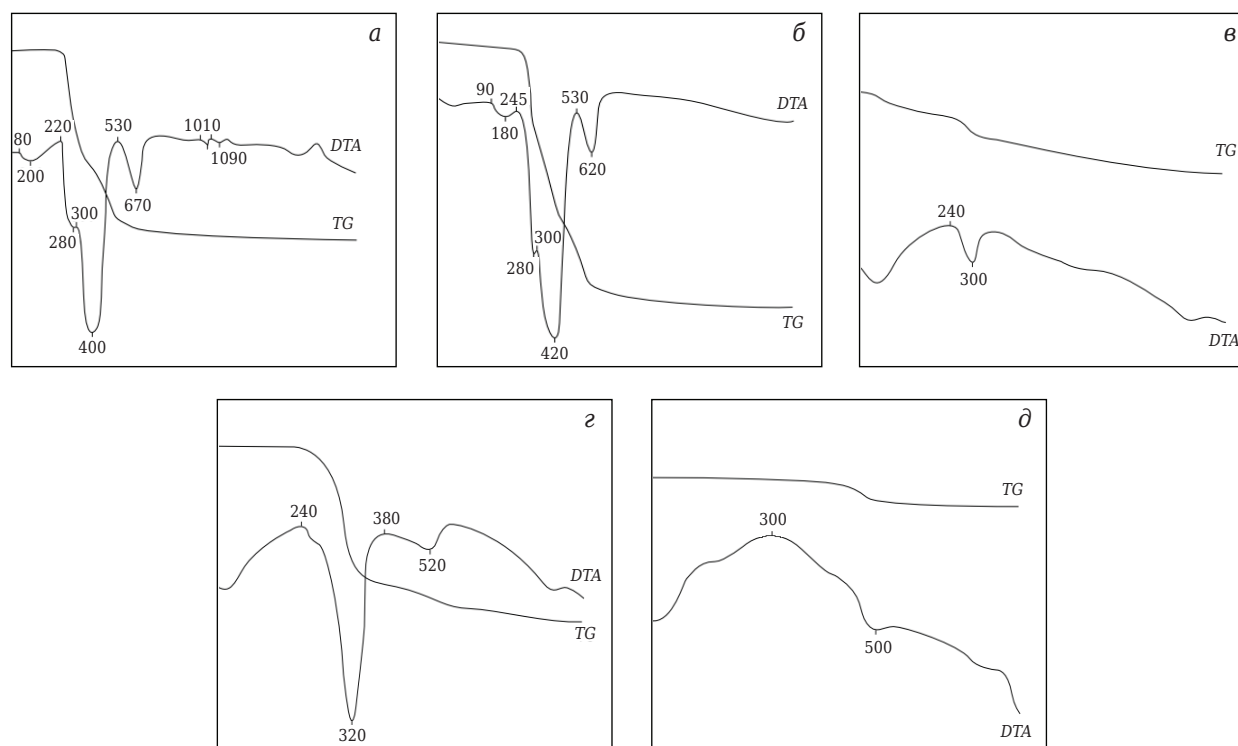


Рис. 3. Термограммы порошка гидроксида: а — ГД-12; б — НПК-1; в — НПК-2; г — АPYRAL 4; д — АPYRAL АОН 180Е; цифры на кривых — температура, °С

Таблица 2. Характеристика порошков гидроксида алюминия различных марок

Показатели	ГД-12	НПК-1	НПК-2	АPYRAL 4	АPYRAL АОН 180Е
Фазовый состав	Гиббсит	78 мас. % гиббсита + 22 мас. % байерита	Гиббсит + значительное количество аморфной фазы	Гиббсит	Бёмит + значительное количество аморфной фазы
Форма агломератов	Изотропная, близкая к сферической, сростки кристаллов	Изотропная, близкая к сферической	—	—	—
Размер агломератов, мкм	52,0	12,0	—	—	—
Форма кристаллов	Хорошо ограниченная	—	Неправильная	—	Игольчатая
Размер кристаллов, мкм	12,0	0,5	5,0	8,0	0,1
Температура процесса при нагревании, °С:					
$\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	245–420	245–280	240–300	240–320	—
$\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	530–670	530–620	—	380–520	300–500
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	1300–1380	—	—	—	—

дом тригидрата оксида алюминия (гиббсита) в бёмит. Второй эндотермический эффект наблюдается при 380–520 °С и сопровождается небольшой потерей массы. Он соответствует переходу бёмита в $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Для порошка гидроксида алюминия марки АPYRAL АОН 180Е при 300–500 °С на термограмме наблюдается пик, который сопровождается небольшой потерей массы и связан с удалением воды при переходе бёмита в $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (рис. 3, д).

Таким образом, выбранные для исследования гидроксиды алюминия различаются как по

морфологии, так и по фазовому и гранулометрическому составу. В табл. 2 представлена обобщенная характеристика порошков гидроксида алюминия, выбранных для исследования.

В связи с тем что порошки гидроксида алюминия, выбранные для исследования, имеют различные состав и свойства, можно предположить, что при изготовлении керамики (после спекания) получатся керамические материалы с различными характеристиками (различными значениями пористости). Известно, что изменение пористости и плотности материалов в

Таблица 3. Объемные эффекты реакций порошков гидроксидов различных марок при их превращении в оксид алюминия*

Материал	Содержание кристаллической фазы, мас. %			Δm , %	δ , %
	гиббсит ($\rho = 2,42 \text{ г/см}^3$)	байерит ($\rho = 2,53 \text{ г/см}^3$)	бёмит ($\rho = 3,04 \text{ г/см}^3$)		
ГД-12	100	—	—	–0,3465	–60,36
НПК-1	78	22	—	–0,3465	–59,98
НПК-2	100	—	—	–0,3465	–60,36
APYRAL 4	100	—	—	–0,3465	–60,36
APYRAL АОН 180Е	—	—	100	–0,1502	–35,25

* Δm — изменение массы; δ — объемный эффект реакции.

процессе обжига может быть связано не только со спеканием отдельных частиц шихты, но и с химическими реакциями компонентов этой шихты. В статье [12] предложена методика оценки объемных изменений отформованного образца, происходящих в результате химических реакций, и расчета значений конечной пористости образцов. Критерием, позволяющим оценивать реакции с точки зрения возможных объемных изменений, является объемный эффект реакции.

При нагревании тригидраты оксида алюминия (гиббсит, байерит) переходят в бёмит, который при дальнейшем нагревании переходит в оксид алюминия. Исходя из предположения, что все используемые в работе материалы состоят только из кристаллической фазы, были рассчитаны объемные эффекты, которые будут иметь место при высокотемпературном обжиге образцов из порошков гидроксидов алюминия различных марок (табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Порошки, выбранные для исследования, имеют различные фазовый и гранулометрический со-

ставы, морфологию и структуру. Расчеты показывают, что реакция разложения гидроксида алюминия до оксида алюминия при нагревании сопровождается отрицательным объемным эффектом — происходят разрыхление структуры и увеличение пористости заготовки. Объемный эффект реакции для моногидрата оксида алюминия меньше, чем для тригидрата, в связи с чем можно ожидать более низкое значение пористости для образцов из гидроксида марки APYRAL АОН 180Е по сравнению с образцами из гидроксидов других марок.

Результаты, касающиеся получения и исследования свойств пористых керамических материалов из порошков гидроксида алюминия различных марок, будут представлены в части 2 статьи.

* * *

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта № 16.552.11.7082 и на оборудовании ЦКП «Научно-технологии в машиностроении».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Красный, Б. Л.** Керамические фильтры — реальные возможности для эффективного пылеудаления из горячих отходящих газов / Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Ю. Вальдберг // Новые огнеупоры. — 2005. — № 2. — С. 33–37.
2. **Красный, Б. Л.** Применение керамических материалов для решения экологических проблем / Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Б. Красный // Безопасность окружающей среды. — 2008. — № 1. — С. 90–92.
3. **Красный, Б. Л.** Фильтрующие элементы из высококачественного кварцевого стекла для проточных аппаратов обогащения кремнеземсодержащего сырья /

- Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, Т. С. Маринина, А. И. Гончар // Стекло и керамика. — 2006. — № 11. — С. 5, 6.
4. **Красный, Б. Л.** Разработка пористого проницаемого керамического материала и технологии фильтрующих элементов для свечевых фильтровальных аппаратов / Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Б. Красный // Новые огнеупоры. — 2009. — № 1. — С. 23–27.
5. **Красный, Б. Л.** Разработка керамического материала и технологии фильтрующих элементов для дисковых вакуумных фильтровальных установок,

применяемых при обезвоживании концентратов руд черных и цветных металлов / Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Б. Красный // Новые огнеупоры. — 2009. — № 3. — С. 24–28.

Krasnyi, B. L. Development of ceramic material and filtering element technology for disk vacuum filtering units used in dewatering ferrous and nonferrous metal ore concentrates / B. L. Krasnyi, V. P. Tarasovskii, A. B. Krasnyi // Refractories and Industrial Ceramics. — 2009. — Vol. 50, № 2. — P. 107–111.

6. **Красный, Б. Л.** Пористая проницаемая керамика для мелкопузырчатых систем аэрации сточных вод в аэротенках / Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Б. Красный, А. М. Усс // Новые огнеупоры. — 2010. — № 10. — С. 7–12.

Krasnyi, B. L. Porous permeable ceramic for fine bubble waste water aeration systems in aeration tanks / B. L. Krasnyi, V. P. Tarasovskii, A. B. Krasnyi, A. M. Uss // Refractories and Industrial Ceramics. — 2011. — Vol. 51, № 5. — P. 322–327.

7. **Пат. 54-95611, Япония.** Пористая керамика в качестве фитиля для нефти / Цунедзи Нитта, Хиромицу Токи; опубл. 12.01.97.

8. **Поляков, С. А.** Керамическая диафрагма для электролизных процессов / С. А. Поляков, С. А. Вель-

можин // Стекло и керамика. — 1989. — № 11. — С. 23, 24.

9. **Красный, Б. Л.** Влияние температуры обжига на спекание и физико-технические характеристики пористой проницаемой керамики на алюмосиликатной связке / Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Б. Красный, Я. Г. Матыцин // Техника и технология силикатов. — 2012. — № 1. — С. 11–14.

10. **Deng, Z.** High-Surface-Area alumina ceramics fabricated by the decomposition of $Al(OH)_3$ / Z. Deng, T. Fukasawa, M. Ando // J. Amer. Ceram. Soc. — 2001. — Vol. 3, № 84. — P. 485–491.

11. **Пат. 6565825 США, МПК В 2.** Porous alumina fabrication procedures / Ohji T., Deng Z.; заявитель и патентообладатель Ohji T., Deng Z. — № 07/748019; заявл. 27.12.00; опубл. 20.05.03.

12. **Гузман, И. Я.** Реакционное спекание и его использование в технологии огнеупоров / Я. И. Гузман. — М.: РХТУ, 1996. — 56 с. ■

Получено 04.02.13

© Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, Ю. М. Мосин, А. Б. Красный, А. Ю. Омаров, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



ТЕРМООБРАБОТКА

Восьмая международная специализированная выставка

Единственная в России
выставка термического
оборудования и технологий

9 - 11 сентября 2014

Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 5

9-10
сентября

Международная конференция
«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ТЕРМООБРАБОТКИ»

Разделы выставки:

- ▶ новый раздел Внепечная местная и объёмная термообработка
- ▶ Промышленные печи: муфельные, вакуумные, плавильные, шахтные, камерные, электропечи
- ▶ Индукционный нагрев: генераторы индукционных токов, индукционные плавильные печи
- ▶ Оборудование для химико-термической обработки: азотирования, цементации и т.д.
- ▶ Размерная и поверхностная обработка: формообразование, напыление
- ▶ Лабораторные печи, сушильные шкафы
- ▶ Оснастка для термического оборудования
- ▶ Системы нагрева и газоснабжения, горелки, электронагревательные элементы

- ▶ Неразрушающий контроль, испытательное оборудование, измерительные системы
- ▶ Автоматизация термообработки, системы управления и регулирования
- ▶ Энергосберегающие технологии термических производств
- ▶ Диагностика, реконструкция и модернизация оборудования
- ▶ Закалочное оборудование, масла и среды

Информационная поддержка:





новый раздел **Футеровка печей:** огнеупоры, теплоизоляция, клеи, футеровочные работы

Организатор:
Мир-Экспо

ООО «Выставочная компания «Мир-Экспо» | Россия, 115533, Москва, проспект Андропова, 22
Тел./факс: 8 499 618 05 65, 8 499 618 36 83
E-mail: info@htexporus.ru | Сайт: www.htexporus.ru | Твиттер: @htexpo_ru