

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОРОШКОВ ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ*

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

Изучены порошки гидроксида алюминия различных марок отечественных и зарубежных производителей. Показано, что выбранные порошки отличаются по фазовому и гранулометрическому составу, морфологии и термогравиметрии. Показано также, что при нагревании порошков гидроксида алюминия, содержащих тригидраты (гиббсит, байерит), гидроксид переходит в моногидрат (бемит), который при дальнейшем нагревании переходит в оксид алюминия. Исходя из предположения, что все исследуемые материалы состоят только из кристаллической фазы рассчитаны объемные эффекты реакций, которые будут возникать при их высокотемпературном обжиге. В результате расчетов установлено, что реакции разложения гидроксидов алюминия до оксида алюминия при нагревании сопровождаются отрицательным объемным эффектом.

Ключевые слова: порошок, гидроксид, бемит, байерит, гиббсит, пористая керамика.

Введение

Изделия из пористой проницаемой керамики (ППК) имеют ряд преимуществ перед изделиями из пористых металлов, стекла и пластмасс, которые заключаются в более высокой прочности; устойчивости к действию кислот и щелочей, расплавов черных и цветных металлов, агрессивных шлаков; длительной эксплуатации при высоких температурах. В связи с этим в последнее время наблюдается большой интерес к изделиям из ППК.

По назначению изделия из ППК можно разделить на три группы:

1. Изделия, процесс эксплуатации которых характеризуется наличием избыточного давления газа или жидкости, которые проходят по поровым каналам, очищаются, гомогенизируются, разделяются, смешиваются.

2. Изделия из капиллярно-пористых керамических материалов.

3. 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 первой группе изделий 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 гомогенного распределения газов в жидких средах или расплавах, а также газообразных реагентов в химических реакторах с целью увеличения контактной поверхности [6].

Ко второй группе изделий относятся испарители, конденсаторы, фитили тепловых труб, капиллярные насосы, гидравлические затворы и т.д. [7].

К третьей группе изделий относятся мембраны для электродов сравнения, заменители костной ткани и т.д. [8].

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

Постановка задачи

Наибольшее распространение в мировой практике получила корундовая ППК, изделия из которой имеют высокие значения температуры эксплуатации и термостойкости, а также устойчивы к действию кислот, щелочей, перегретого пара и различных органических соединений, применяемых для стерилизации оборудования в медицинской и пищевой отраслях промышленности.

К традиционным методам изготовления корундовой ППК относятся частичное спекание (твердофазное) узкофракционированных порошков глинозема; жидкофазное спекание узкофракционированных порошков (использование легкоплавких технологических связей); спекание порошков из материалов с некубической структурой, имеющих резко отличающиеся друг от друга температурные коэффициенты линейного расширения в направлении главных кристаллографических осей; спекание различных порообразователей, которые не позволяют получать пористые проницаемые материалы с высокими (более 40 %) значениями открытой пористости [9].

В работах [10, 11] показано, что введение порошка гидроксида алюминия в состав порошка оксида алюминия позволяет получать пористые керамические материалы с пористостью до 50 %. Однако прочность этих материалов – достаточно низкая.

Для получения корундовой ППК с высокими значениями открытой пористости и прочности в данной работе использовали вместо традиционно используемых порошков глинозема порошок гидроксида алюминия с различными физико-техническими характеристиками.

Методы исследования

В процессе исследований использовали порошки:

1. Гидроксид алюминия марки ГД-12 ТУ 1711-001-00658716–99 (производства ОАО «Бокситогорский глинозем»), полученный при разложении алюминатных растворов методом карбонизации, применяемом в производстве глинозема.

2. Гидроксид алюминия марки НПК-1 (производства Донецкого завода химических реактивов).

3. Гидроксид алюминия марки НПК-2 (производства Ачинского глиноземного завода).

4. Гидроксид алюминия марки АPYRAL 4

(фирмы Nabaltec AG, Германия) с плотностью 2,4 г/см³, удельной площадью поверхности 0,7 м²/г.

5. Гидроксид алюминия марки АPYRAL АОН 180Е (фирмы Nabaltec AG, Германия) с плотностью 3 г/см³, удельной площадью поверхности 17 м²/г.

Гидроксиды алюминия всех используемых марок представляют собой мелкокристаллические порошки белого цвета.

По данным производителей, исследуемые порошки имеют следующие составы (по массе):

- порошок ГД-12: 99,7 % Al(OH)₃, 0,3 % Na₂O;
- порошок НПК-1: 99,4 % Al(OH)₃, 0,6 % Na₂O;
- порошок НПК-2: 99,3 % Al(OH)₃, 0,7 % Na₂O;
- порошок АPYRAL 4: 99,7 % Al(OH)₃, 0,3 % Na₂O;
- порошок АPYRAL АОН 180Е: 99,7 % AlO(OH), 0,3 % Na₂O.

Все используемые в данной работе материалы являются химически чистыми.

Исследование фазового состава порошков проводили на дифрактометре BRUKER D8 ADVANCE. Морфологию исходных порошков изучали с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM-6490 LV. Гранулометрический состав порошков определяли на лазерном анализаторе частиц Analysette 22. Удельную площадь поверхности исходных материалов измеряли на приборе Micromeritics ASAP 2020. Термический анализ порошков проводили на приборе MOM DERIVATOGRAPH Q-1500D.

Обсуждение полученных результатов и выводы

По данным рентгенофазового анализа, гидроксид алюминия марки ГД-12 содержит одну фазу Al(OH)₃ с модификацией гиббсита, имеющего следующие параметры моноклинной элементарной ячейки: $a = 8,6735 \cdot 10^{-10}$ м, $b = 5,07259 \cdot 10^{-10}$ м, $c = 9,7268 \cdot 10^{-10}$ м, $\beta = 94,552^\circ$ (рис. 1, а).

Порошок НПК-1 представляет собой смесь двух модификаций Al(OH)₃: гиббсита с параметрами: $a = 8,6831 \cdot 10^{-10}$ м, $b = 5,0743 \cdot 10^{-10}$ м, $c = 9,7175 \cdot 10^{-10}$ м, $\beta = 94,428^\circ$ и байерита с параметрами: $a = 5,058 \cdot 10^{-10}$ м, $b = 8,698 \cdot 10^{-10}$ м, $c = 4,7419 \cdot 10^{-10}$ м, $\beta = 90,6^\circ$. По данным количественного рентгенофазового анализа методом Ритвельда, в образце содержится 78 % гиббсита и 22 % байерита (рис. 1, б).

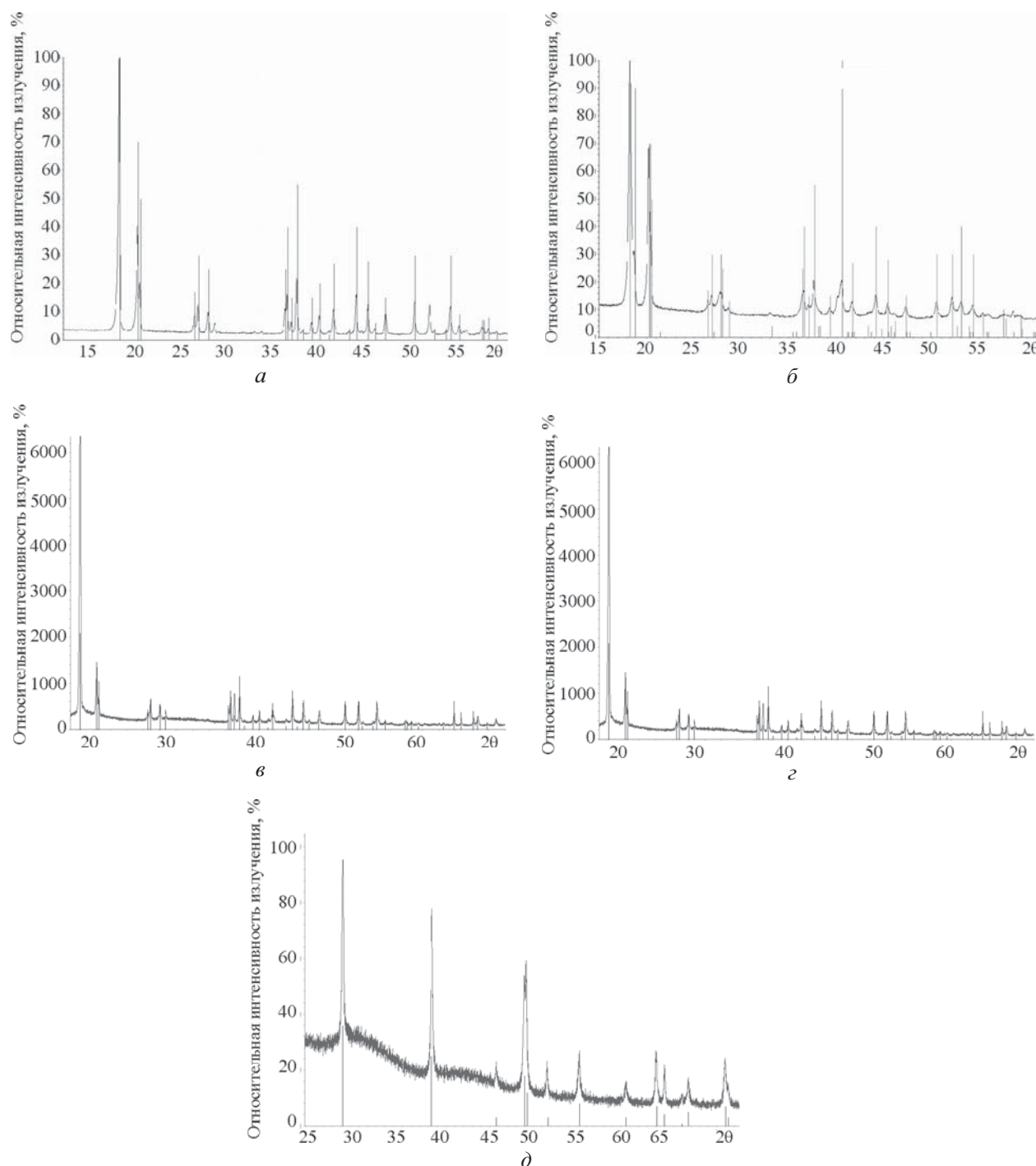


Рис. 1. Рентгенограммы образцов порошка гидроксида алюминия:

а – ГД-12; *б* – НПК-1; *в* – НПК-2; *г* – АРУРАЛ 4; *д* – АРУРАЛ АОН 180Е

Порошки НПК-2 (рис. 1, *в*) и АРУРАЛ 4 (рис. 1, *г*) содержат одну фазу $\text{Al}(\text{OH})_3$ с модификацией гиббсита, а порошок АРУРАЛ АОН 180Е (рис. 1, *д*) – одну фазу $\text{AlO}(\text{OH})$ с модификацией бемита.

На рентгенограммах порошков НПК-2 и АРУРАЛ АОН 180Е зафиксированы достаточно высокие фоны, которые обусловлены большим содержанием аморфной фазы в них (особенно в

порошке НПК-2). Содержание аморфной фазы в порошках ГД-12, НПК-1 и АРУРАЛ 4, наоборот, не столь велико.

По данным сканирующей электронной микроскопии, порошок ГД-12 состоит из агломератов изотропной формы, близкой к сферической, и представляет собой сростки кристаллов (рис. 2, *а*). По электронно-микроскопическим изображениям был определен средний размер

Таблица 1

Удельная площадь поверхности порошков гидроксида алюминия

Характеристики порошков	ГД-12	НПК-1	НПК-2	APYRAL 4	APYRAL АОН 180Е
$d_{\text{ср}}$, мкм	55,73	14,77	10,51	10,15	0,84
$S_{\text{уд}}$, м ² /г	0,08	0,31	0,40	0,35	2,27
$S_{\text{уд. вет}}$, м ² /г	221,37	210,06	173,32	37,04	26,49

Примечание. Средний диаметр $d_{\text{ср}}$ частиц и удельная площадь поверхности $S_{\text{уд}}$ определены с помощью лазерного анализатора частиц Analysette 22, удельная площадь поверхности $S_{\text{уд. вет}}$ – методом адсорбции азота на приборе Micromeritics ASAP 2020.

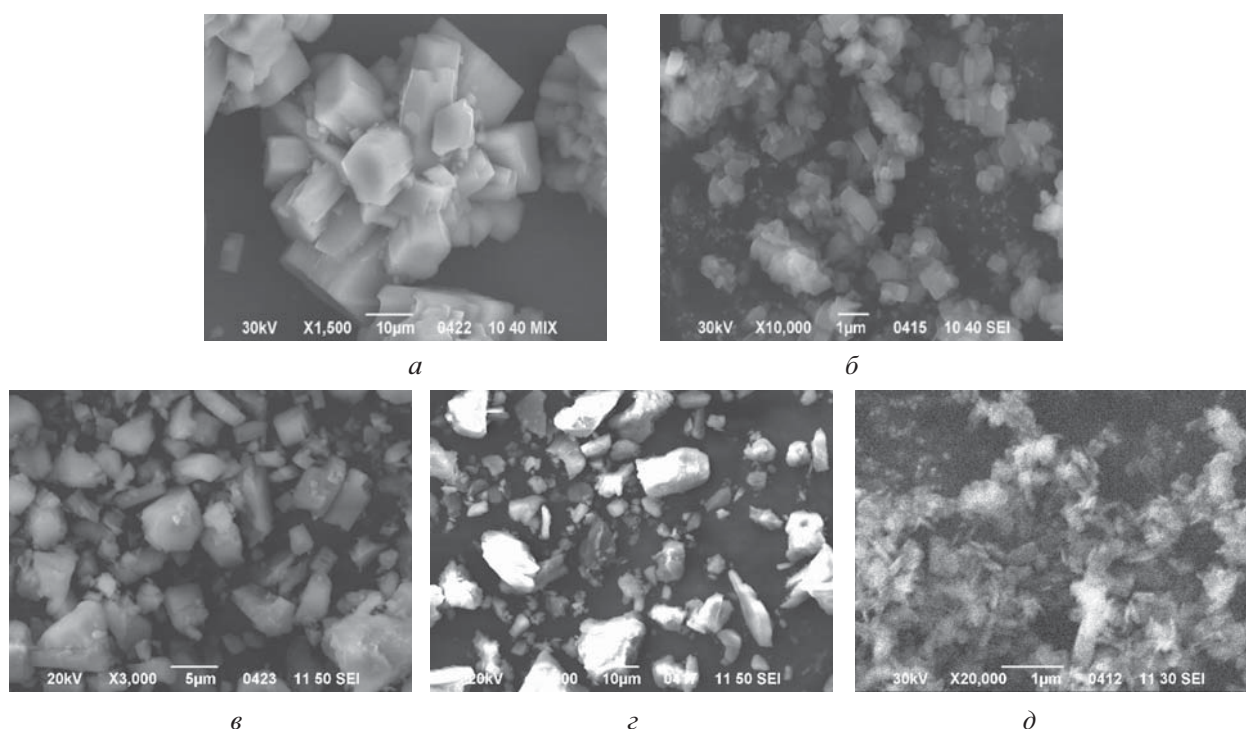


Рис. 2. Микроструктура порошка гидроксида алюминия различных марок:

a – ГД-12; *б* – НПК-1; *в* – НПК-2; *г* – APYRAL 4; *д* – APYRAL АОН 180Е

агломератов (52 мкм) и средний размер кристаллов в агломератах (12 мкм). Распределение кристаллов в агломератах по размерам для порошка ГД-12 – практически равномерное в интервале 5–20 мкм.

Порошок НПК-1 состоит из хорошо ограниченных наноразмерных кристаллов и больших по размеру агломератов изотропной формы, близкой к сферической (рис. 2, *б*). Форма наноразмерных кристаллов идентична форме кристаллов в порошке ГД-12 (см. рис. 2, *а*), в связи с чем можно сделать предположение, что эти кристаллы соответствуют модификации гиббсита, а агломераты представляют собой модификацию байерита.

В структуре агломератов в порошке НПК-1 трудно выделить отдельные хорошо ограниченные

кристаллы в отличие от агломератов в порошке ГД-12. По электронно-микроскопическим изображениям был оценен средний размер агломератов (12 мкм) и средний размер кристаллов в агломератах (406 нм). Порошок НПК-1 имеет мономодальное распределение агломератов по размерам в интервале 5–30 мкм. Распределение кристаллов по размерам в порошке НПК-1 – мономодальное в интервале 100–800 нм.

Порошок НПК-2 состоит из кристаллов и больших по размеру агломератов неизометричной формы (рис. 2, *в*), порошок APYRAL 4 – из кристаллов неизометричной формы, похожих на кристаллы гидроксида алюминия марки НПК-2 (рис. 2, *г*), а порошок APYRAL АОН 180Е – из игольчатых наноразмерных кристал-

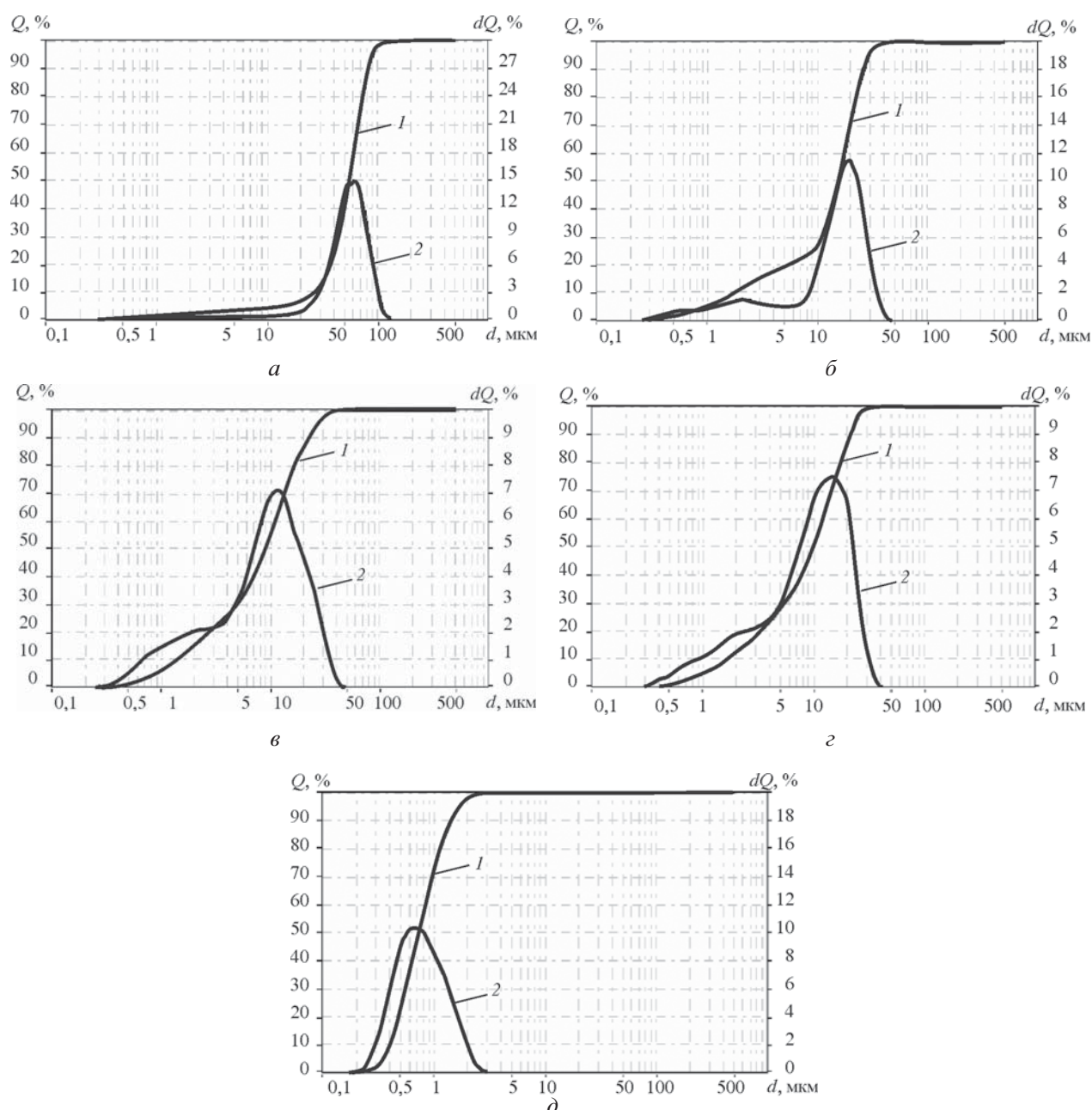


Рис. 3. Распределение частиц порошка гидроксида алюминия различных марок по размерам:

a – ГД-12; *б* – НПК-1; *в* – НПК-2; *г* – АРУРАЛ 4; *д* – АРУРАЛ АОН 180Е;

1 – интегральная кривая; *2* – дифференциальная кривая; *Q* – содержание частиц диаметром *d* в порошке

лов неизометричной формы (рис. 2, *д*).

Гранулометрический состав порошков гидроксидов алюминия представлен на рис. 3.

Результаты по определению удельной площади поверхности порошков гидроксида алюминия представлены в табл. 1. Результаты исследований по изучению гранулометрического состава порошков и данные по удельной площади поверхности порошков подтверждают выводы, сделанные на основании анализа результатов электронной микроскопии тех же порошков гидроксида алюминия. Порошки отли-

чаются по морфологии, размерам и структуре.

Результаты термического анализа порошков гидроксида алюминия представлены на рис. 4. Первый эндотермический эффект на термограмме порошка ГД-12, наблюдаемый при температуре 80–200 °С, практически не сопровождается потерей массы порошка. Эффект возникает вследствие удаления физически связанной воды (см. рис. 4, *а*). Второй и третий эндотермические эффекты, наблюдаемые соответственно при температуре 220–280 °С и 300–400 °С, сопровождаются значительной по-

терей массы и соответствуют переходу тригидратов оксида алюминия (гиббсита, байерита) в моногидрат (бемит), который, по-видимому, осуществляется в две стадии. Четвертый эндотермический эффект, наблюдаемый при температуре 530–670 °С, сопровождается потерей массы, хотя и не такой значительной, как при втором и третьем эффектах. Четвертый эффект соответствует переходу бемита в фазу $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. На термограмме в интервале температур 1010–1090 °С наблюдаются также эндотермические эффекты, которые связаны с переходами промежуточной фазы $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ в фазу $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ и фазы $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ в фазу $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$.

На термограмме порошка НПК-1 при температуре 90–180 °С первый наблюдаемый эндотермический эффект, практически не сопровождающийся потерей массы, связан с удалением физически связанной воды (см. рис. 4,

б). Второй и третий эндотермические эффекты, наблюдаемые соответственно при температуре 245–280 °С и 300–420 °С, сопровождаются значительной потерей массы и соответствуют переходу тригидратов оксида алюминия (гиббсита, байерита) в моногидрат (бемит), который, по-видимому, осуществляется в две стадии. Четвертый эндотермический эффект, наблюдаемый при температуре 530–620 °С, сопровождается потерей массы, хотя и не такой значительной, как при втором и третьем эффектах. Четвертый эффект соответствует переходу бемита в фазу $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Первый эндотермический эффект на тер-

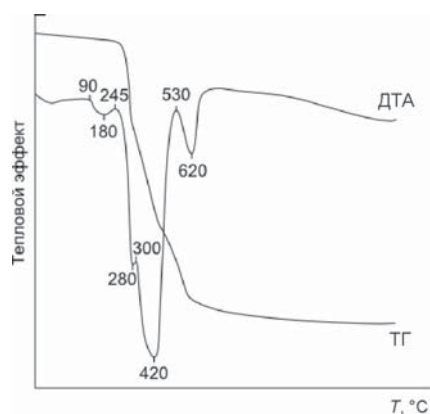
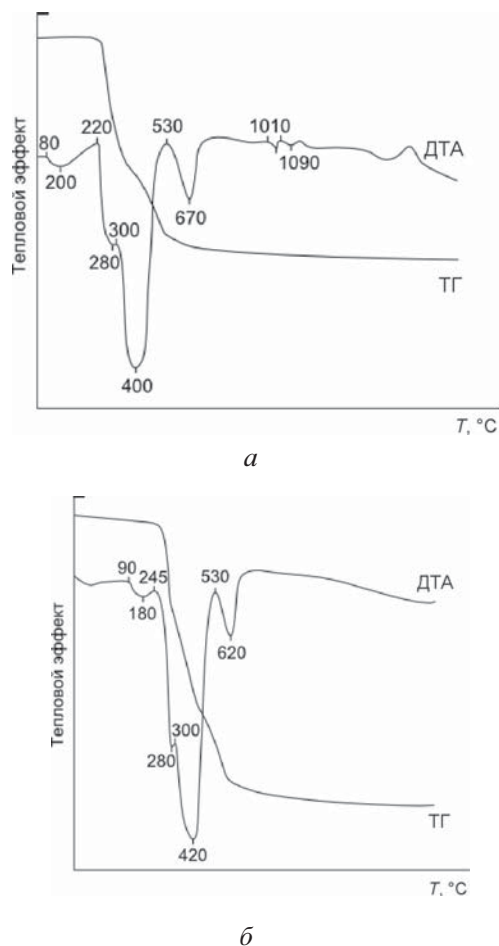


Рис. 4. Результаты термического анализа порошка гидроксида алюминия различных марок:

а – ГД-12; б – НПК-1; в – НПК-2; г – АРУРАЛ 4; д – АРУРАЛ АОН 180Е; ДТА – дифференциально-термический анализ; ТГ – термогравиметрия

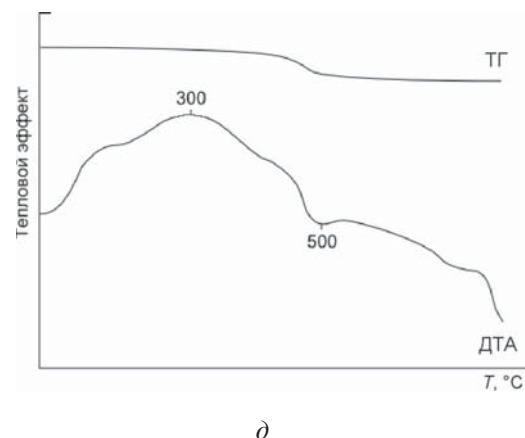
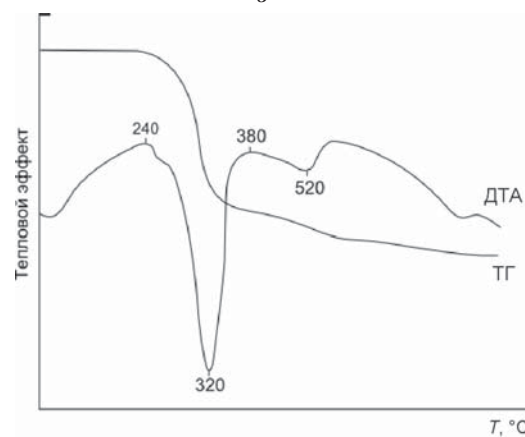
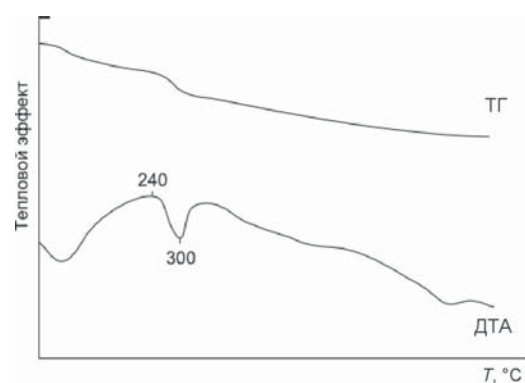


Таблица 2

Характеристики порошков гидроксида алюминия

Характеристики порошков	ГД-12	НПК-1	НПК-2	APYRAL 4	APYRAL АОН 180Е
Фазовый состав (по массе)	Гиббсит	78 % гиббсита, 22 % байерита	Гиббсит, значительное содержание аморфной фазы	Гиббсит	Бемит, значительное содержание аморфной фазы
Форма агломератов	Изотропная, близкая к сферической, сростки кристаллов	Изотропная, близкая к сферической	—	—	—
Размер агломератов, мкм	52	12	—	—	—
Форма кристаллов	Правильная	Правильная	Неправильная	Неправильная	Игольчатая
Размер кристаллов, мкм	12	0,5	5	8	0,1
Температура процессов, °С: $\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t} \text{Al}(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	245–420	245–280	240–300	240–320	—
$\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t} \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	530–670	530–620	—	380–520	300–500
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \xrightarrow{t} \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	1300–1380	—	—	—	—

Таблица 3

Объемные эффекты реакций порошков гидроксидов алюминия при их превращении в α -оксид алюминия

Порошок	Содержание кристаллической фазы (по массе), %			Изменение массы Δm , %	Объемный эффект реакции δ , %
	Гиббсит ($\rho=2,42 \text{ г/см}^3$)	Байерит ($\rho=2,53 \text{ г/см}^3$)	Бемит ($\rho=3,04 \text{ г/см}^3$)		
ГД-12	100	—	—	–34,65	–60,36
НПК-1	78	22	—	–34,65	–59,98
НПК-2	100	—	—	–34,65	–60,36
APYRAL 4	100	—	—	–34,65	–60,36
APYRAL АОН 180Е	—	—	100	–15,02	–35,25

Примечание. В табл. 3 принято обозначение: ρ – плотность порошка.

мограмме порошка НПК-2, наблюдаемый при температуре 240–300 °С, сопровождается потерей массы и соответствует переходу тригидрата оксида алюминия в моногидрат (см. рис. 4, в). При этом величина теплового эффекта значительно меньше, чем для порошков ГД-12, НПК-1 и APYRAL 4. Потеря массы – также незначительная. Второго эффекта, соответствующего переходу бемита в фазу γ -Al₂O₃, не наблюдается. Отличие термограммы порошка НПК-2 от термограмм порошков ГД-12, НПК-1 и APYRAL 4 можно объяснить большим содержанием аморфной фазы в нем.

На термограмме порошка APYRAL 4 первый эндотермический эффект, наблюдаемый при температуре 240–320 °С (см. рис. 4, з), сопровождается значительной потерей массы и связан с переходом тригидрата оксида алюминия (гиббсита) в моногидрат (бемит). Второй эндотермический эффект, наблюдаемый при температуре 380–520 °С, сопровождается небольшой потерей массы и соответствует переходу бемита в фазу γ -Al₂O₃.

Для порошка APYRAL АОН 180Е при температуре 300–500 °С на термограмме наблюдается пик, который сопровождается небольшой потерей массы и связан с удалением воды при переходе бемита в фазу γ -Al₂O₃ (см. рис. 4, д).

Таким образом, выбранные для исследования гидроксиды алюминия отличаются друг от друга как по морфологии, так и по фазовому и гранулометрическому составу. В табл. 2 представлены характеристики порошков гидроксида алюминия, выбранных для исследования.

В связи с тем, что порошки гидроксида алюминия, выбранные для исследования, имеют различные составы и свойства, можно предположить, что при изготовлении (после спекания) керамические материалы будут иметь различные характеристики (различные значения пористости).

Как известно, изменение пористости и плотности материалов в процессе обжига может быть связано не только со спеканием отдельных частиц шихты, но и с химическими реакциями компонентов этой шихты. В работе [12] предложен критерий 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 изме-

нений, является объемный эффект реакции δ :

$$\delta = \left[\frac{\rho_1}{\rho_2} \left(1 + \frac{\Delta m}{100} \right) - 1 \right] \cdot 100;$$

$$\Delta m = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 ,$$

где ρ_1, ρ_2 – плотности исходного реагента и продукта реакции, г/см³; Δm – изменение массы исходных продуктов при их превращении в конечный продукт, %; m_1 – относительная молекулярная масса соответствующей фазы гидроксида алюминия; m_2 – относительная молекулярная масса α -оксида алюминия.

Если $\delta > 0$, то в процессе обжига идет уплотнение компонентов за счет заполнения объема пор продуктами реакции. Если $\delta < 0$, то спекание материалов сопровождается разрыхлением, т.е. увеличением пористости, так как объем продуктов реакции становится меньше объема исходных компонентов.

При нагревании тригидраты оксида алюминия (гиббсит, байерит) переходят в моногидрат (бемит), который при дальнейшем нагревании переходит сначала в γ -оксид алюминия, а затем при нагревании до температуры спекания (приблизительно до 1300 °С) – в α -оксид алюминия. Исходя из предположения, что все используемые в работе материалы состоят только из кристаллической фазы α -оксида алюминия, были рассчитаны объемные эффекты реакций, которые будут возникать при высокотемпературном обжиге образцов из порошков гидроксидов алюминия (табл. 3).

Заключение

Порошки гидроксида алюминия, выбранные для исследования, имеют различные фазовый и гранулометрический составы; морфологию и структуру. Расчеты показали, что реакция разложения гидроксида алюминия до оксида алюминия сопровождается отрицательным объемным эффектом, который вызовет разрыхление структуры и увеличение пористости материала, заготовки.

Объемный эффект реакции, как показали исследования, для моногидрата оксида алюминия меньше, чем для тригидрата, в связи с чем можно ожидать более низкого значения пористости для порошков гидроксида алюминия марки APYRAL АОН 180Е по сравнению с порошками гидроксидов алюминия других исследуемых марок.

Список литературы

1. Красный Б.Л., Тарасовский В.П., Вальдберг А.Ю. Керамические фильтры – реальные возможности для эффективного пылеудаления из горячих отходящих газов // Новые огнеупоры. 2005. № 2. С. 33–37.
2. Красный Б.Л., Тарасовский В.П., Красный А.Б. Применение керамических материалов для решения экологических проблем // Безопасность окружающей среды. 2008. № 1. С. 90–92.
3. Красный Б.Л., Тарасовский В.П., Маринина Т.С., Гонтарь А.И. Фильтрующие элементы из высокочистого кварцевого стекла для проточных аппаратов обогащения кремнеземосодержащего сырья // Стекло и керамика. 2006. № 11. С. 5–6.
4. Красный Б.Л., Тарасовский В.П., Красный А.Б. Разработка пористого проникаемого керамического материала и технологии фильтрующих элементов для свечевых фильтровальных аппаратов // Новые огнеупоры. 2009. № 1. С. 23–27.
5. Красный Б.Л., Тарасовский В.П., Красный А.Б. Разработка керамического материала и технологии фильтрующих элементов для дисковых вакуумных фильтровальных установок, применяемых при обезвоживании концентратов руд черных и цветных металлов // Новые огнеупоры. 2009. № 3. С. 24–28.
6. Красный Б.Л., Тарасовский В.П., Красный А.Б., Усс А.М. Пористая проникаемая керамика для мелкопузырчатых систем аэрации сточных вод в аэротенках // Новые огнеупоры. 2010. № 10. С. 7–12.
7. Пат. 54-95611 Япония. Пористая керамика в качестве фитиля для нефти / Нитта Цунедзи, Токи Хиромицу. Заявл. 12.01.97.
8. Поляков С.А., Вельможин С.А. Керамическая диафрагма для электролизных процессов // Стекло и керамика. 1989. № 11. С. 23–24.
9. Красный Б.Л., Тарасовский В.П., Красный А.Б., Матыцин Я.Г. Влияние температуры обжига на спекание и физико-технические характеристики пористой проникаемой керамики на алюмосиликатной связке // Техника и технология силикатов. 2012. № 1. С. 11–14.
10. Deng Z., Fukasawa T., Ando M. High-Surface-Area Alumina Ceramics Fabricated by the Decomposition of $Al(OH)_3$ // J. Am. Ceram. Soc. 2001. No. 84 [3]. P. 485–491.
11. Пат. 6565825 США. Porous alumina fabrication procedures / T. Ohji, Z. Deng. 20.05.2003.
12. Гузман И.Я. Реакционное спекание и его использование в технологии огнеупоров. – М.: РХТУ, 1996. – 56 с.

Материал поступил в редакцию 01.02.2013

КРАСНЫЙ Борис Лазаревич

E-mail: krasnyntcbacor@mail.ru
Тел.: (495) 502-78-17,
502-78-09

Доктор технических наук, генеральный директор ЗАО «НТЦ Бакор», лауреат государственных премий СССР и РФ в области науки и техники, лауреат премии им. А.Н. Косыгина. Сфера научных интересов – силикатные и тугоплавкие неметаллические материалы. Автор более 290 научных работ, в том числе 2 монографий, более 180 статей, 110 авторских свидетельств и патентов.

ТАРАСОВСКИЙ Вадим Павлович

E-mail: tarasvp@mail.ru
Тел.: (495) 502-78-17,
(916) 401-75-23 (моб.)
Факс: (495) 502-78-09

Кандидат технических наук, заместитель генерального директора по науке ЗАО «НТЦ Бакор», лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники, лауреат премии им. А.Н. Косыгина. Сфера научных интересов – силикатные и тугоплавкие неметаллические материалы. Автор более 130 научных работ, в том числе более 90 статей, 40 авторских свидетельств и патентов.

МОСИН Юрий Михайлович

E-mail: mosinyuri@mail.ru
Тел.: (965) 145-98-35 (моб.)

Кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВПО «РХТУ им. Д.И. Менделеева». Сфера научных интересов – силикатные и тугоплавкие неметаллические материалы. Автор более 110 научных работ, в том числе более 90 статей, 20 авторских свидетельств и патентов.

**КРАСНЫЙ
Александр Борисович**

E-mail: kmsholding@list.ru
Тел.: (495) 502-78-68

Кандидат технических наук, заместитель генерального директора по стратегическому развитию ЗАО «НТЦ Бакор», лауреат государственной премии РФ в области науки и техники. Сфера научных интересов – силикатные и тугоплавкие неметаллические материалы. Автор более 70 научных работ, в том числе более 50 статей, 20 авторских свидетельств и патентов.

**ОМАРОВ
Асиф Юсуфович**

E-mail: asif.omarov@ya.ru
Тел.: (495) 675-52-37

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник ФГБОУ ВПО МГИУ. Сфера научных интересов – силикатные и тугоплавкие неметаллические материалы. Автор более 15 научных работ.