

# СВОЙСТВА ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧАЕМОГО ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВОДОРОДА

А.Д. Шляпин, Д.А. Иванов, А.Ю. Омаров

В статье представлены результаты исследований свойств гидроксида алюминия, полученного с помощью химического диспергирования при производстве водорода. Определены распределение частиц по размерам, насыпная плотность и реологические свойства исследуемого порошка.

**Ключевые слова:** оксид алюминия, рентгенофазовый анализ, петрографический анализ, иммерсионный препарат, электроакустический метод, насыпная плотность, реологические свойства.

## Введение

Алюминий и алюминиевые сплавы по объемам производства и потребления занимают второе место после стали. В связи с тем, что наблюдается тенденция постоянного роста потребления алюминия, его производство развивается опережающими темпами. После механической обработки сплавов остается большое количество стружки, кусочков и других отходов производства, поэтому их утилизация является в настоящее время приоритетным направлением в развитии промышленных технологий.

В Московском государственном индустриальном университете в рамках научно-исследовательской работы по заказу Министерства образования и науки был создан генератор водорода [1]. Работа такого генератора сопровождается выделением водорода, значительного количества теплоты и выпадением в осадок отхода рабочего цикла – гидроксида алюминия, бемита. Эти процессы протекают при взаимодействии алюминиевого сплава с водой в присутствии щелочи.

Целью данной работы является изучение свойств отходов, получаемых в результате химической реакции при производстве водорода.

## Изучение свойств бемита

Исследования свойств бемита проводили на порошке, полученном с помощью химического диспергирования при производстве водорода [1, 2]. Для оценки распределения частиц бемита по размерам применяли электроакустический метод. Насыпную массу и текучесть порошковых проб рассчитывали по результатам взвешивания их заданных объемов, а также по времени истечения из стальной воронки.

Рентгенофазовый анализ (РФА). С помощью этого метода идентифицировали химический состав отходов производства. Рентгенофазовый анализ выполняли на автоматизированном дифрактометре типа ДРОН-3, *Rigaku MiniFlex II*, *STOE STADI P* по стандартной методике [3] (CoK $\alpha$ , CuK $\alpha$ , NiK $\alpha$ , графитовый монохроматор). Идентификацию анализируемого образца проводили по совпадению его спектра со спектрограммой эталонного химически чистого минерального вещества-стандарта с использованием стандартных дифракционных данных из базы данных Международного центра дифрактограмм (*PCPDWIN V.1.30, 1997, JCPDC – International Centre for Diffraction Data*).

В результате анализа было выявлено, что исследуемый материал состоит из гиббсита и байерита. Размер области когерентного рассеяния (ОКР) обеих фаз составляет 28 нм (табл. 1). Следует отметить, что дифракционный спектр гиббсита данной пробы совпал со спектром, соответствующим природному минералу. Однако спектр синтезированного минерала  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  содержит меньшее число линий, чем спектр природного минерала. Повышенное число линий природного минерала объясняется наличием в его структуре химических примесей. В связи с этим можно предположить, что в рассматриваемой пробе кристаллическая решетка гиббсита содержит ионы кремния, присутствие которых вызывает появление спектра, идентичного спектру природного минерала.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Таблица 1  
Фазовый состав порошковой пробы  
бемита в щелочной среде

Вид кристаллической фазы	Содержание кристаллических фаз, % от объема	Размер ОКР, нм
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	87	28
$\beta\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	13	28

**Петрографический анализ.** Петрографический анализ проводили с целью выявления аморфной составляющей и некоторого объема примесей в пробе, которые не определяются РФА [4, 5].

Для рассматриваемой порошковой пробы бемита, полученного с помощью химического диспергирования алюминиевого сплава со щелочью (рис. 1), показатель преломления варьировался в пределах 1,583–1,587. Этим значениям показателя преломления соответствует гиббсит и байерит (при соотношении этих фаз 90:10 % об.). Полученные данные хорошо согласуются с данными РФА.

При увеличении в 1000 раз, достигаемом с помощью электронного микроскопа, были выявлены следующие детали структуры порошка (рис. 2): порошок агломерирован; преобладающие размеры агломератов укладываются в интервал 10–20 мкм; агломераты – неравноосные, составленные в основном из изометричных кристаллов размером 2–3 мкм.

**Электроакустический метод.** Распределение частиц порошковой пробы алюминиевого сплава в щелочной среде по размерам изуча-

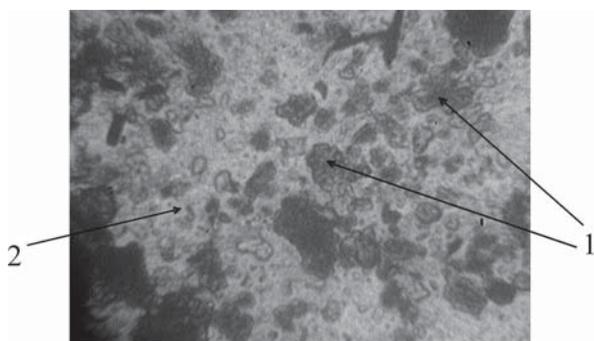


Рис. 1. Порошковая проба бемита в иммерсионном препарате в проходящем свете ( $\times 375$ ): 1 – частицы бемита; 2 – иммерсионная жидкость

ли электроакустическим методом с помощью прибора *Spectrometer DT 1200* по стандартной методике [6].

Для исследуемой пробы было получено двойное распределение частиц по размерам в рассматриваемом объеме порошка: полученные размеры варьируются в интервалах 0,06–0,1 мкм и 0,9–3 мкм (рис. 3).

Данные о распределении частиц по размерам, полученные различными методами, приведены в табл. 2. Двойное распределение частиц, установленное с помощью электроакустического метода, связано с тем, что при воздействии электромагнитного поля на агломерированные частицы, находящиеся в суспензии, происходит их распад на крупные и более мелкие частицы.

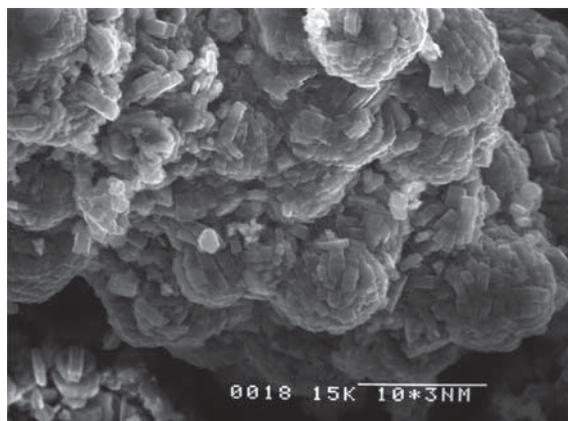


Рис. 2. Структура исследуемого порошка бемита

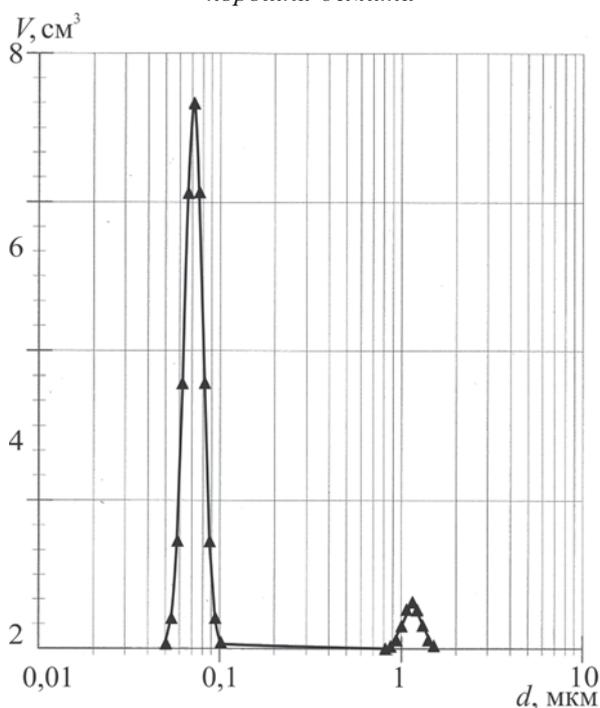


Рис. 3. Двойное распределение частиц бемита по размерам  $d$  для порошковой пробы объемом  $V$

Таблица 2  
Размеры частиц  $d$  (мкм) гидроксида алюминия в щелочной среде, определенные различными методами

Рентгенофазовый анализ	Петрографический анализ	Электроакустический метод
10–60	10–20	0,06–0,1 0,9–3,0

**Изучение реологических свойств порошковой пробы и насыпной плотности**

В данной работе для определения реологических свойств и насыпной плотности порошка были применены методики, аналогичные приведенным в работе [2]. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Для данной пробы не наблюдалось естественного истечения под действием силы тяжести частиц. По-видимому, это связано с адсорбированной им влагой из воздуха. Также происходило налипание на поверхность воронки частиц порошка, что в свою очередь уменьшало отверстие воронки. В данном случае истечения добились только путем постукивания по воронке. Угол естественного откоса  $\alpha$  для порошковой пробы составлял  $45^\circ$  (рис. 4).

Для прекращения адсорбирования влаги из воздуха и перевода порошка из гидроксидной формы в оксидную форму необходимо прово-

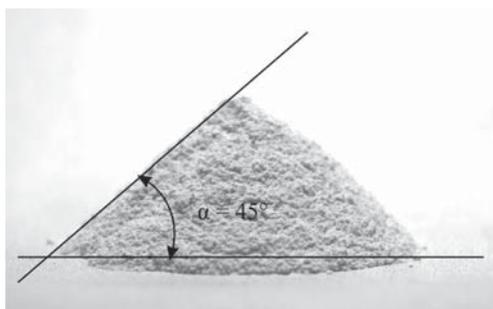


Рис. 4. Угол естественного откоса для порошковой пробы

дить термообработку порошка в интервале температур  $800\text{--}1200^\circ\text{C}$ , что также позволит снизить усадку при спекании данного порошка.

**Заключение**

Результаты исследования гидроксида алюминия в щелочной среде показали, что полученный порошок относится к классу тонкодисперсных.

Петрографический анализ позволяет сделать предположение о кинетике реакции алюминиевого сплава в щелочной среде: скорость реакции выше по сравнению со скоростью реакции при использовании чистого алюминия, что вызывает более высокую интенсивность диффузионных процессов.

Реологические свойства получаемого порошка объясняются высокой удельной площадью поверхности материала из-за содержания значительной доли субмикронных частиц и, как следствие, повышенным коэффициентом трения между частицами порошка, а также между частицами порошка и поверхностью воронки.

**Список литературы**

1. Козляков В.В., Стукалова Н.П., Омаров А.Ю. Способы получения водорода как топлива для автомобилей // Известия МГИУ. 2009. № 4. С. 35–42.
2. Хайри А.Х., Омаров А.Ю. Структура и свойства бемита, получаемого в качестве побочного продукта при производстве водорода // Машиностроение и инженерное образование. 2009. № 4. С. 35–41.
3. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия: учебник для вузов. – 4-е изд. – М.: Высшая школа, центр «Академия», 2001. – 743 с.
4. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. – М.: Изд-во МИСиС, 1994. – 328 с.

Таблица 3

**Реологические свойства порошка бемита**

Насыпная плотность		Критерий текучести $K = \rho_1 / \rho_2$	Критерий уплотняемости $\delta = \rho_2 - \rho_1$ , г/см <sup>3</sup>	Степень утряски $S = \frac{\delta}{\rho_1} \cdot 100\%$	Время истечения $\tau$ , с	Угол естественного откоса $\alpha$ , град.
до утряски $\rho_1$ , г/см <sup>3</sup>	после утряски $\rho_2$ , г/см <sup>3</sup>					
0,60	0,83	0,72	0,23	38,3	68	45

5. Винчелл А.Н., Винчелл Г. Оптические свойства искусственных минералов: пер. с англ. – М.: Мир, 1967. – 526 с.
6. Методы исследования структуры и свойств порошковых материалов на основе кера-

мики и металлов: учеб. пособие МВиССО РСФСР / Б.С. Митин, Н.А. Трифонова, Г.А. Фомина, Е.Э. Луцкая. – М.: МАТИ им. К.Э. Циолковского, 1989. – 79 с.

Материал поступил в редакцию 01.02.2011

**ШЛЯПИН**  
**Анатолий Дмитриевич**

Е-mail: [ashliapin@list.ru](mailto:ashliapin@list.ru)  
Тел. +7 (495) 675-61-92

Доктор технических наук, профессор. Заведующий кафедрой материаловедения и технологии конструкционных материалов МГИУ, заслуженный работник высшей школы РФ. Сфера научных интересов – материаловедение, физика металлов и композиционных материалов. Автор более 130 научных работ, в том числе 7 монографий, 35 авторских свидетельств и патентов.

**ИВАНОВ**  
**Дмитрий Алексеевич**

Е-mail: [dali\\_888@mail.ru](mailto:dali_888@mail.ru)  
Тел. +7 (499) 141-94-30

Кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии обработки материалов «МАТИ» – Российского государственного технологического университета им. К.Э. Циолковского. Сфера научных интересов – химическая технология керамических и композиционных материалов. Автор более 60 научных публикаций.

**ОМАРОВ**  
**Асиф Юсифович**

Е-mail: [asif.omarov@yandex.ru](mailto:asif.omarov@yandex.ru)  
Тел. +7 (496) 620-37-65

Кандидат технических наук, директор Молодежного инновационного центра МГИУ. Сфера научных интересов – керамические материалы, водородная энергетика. Автор восьми научных публикаций.