

Д. Т. Н. С. Я. Давыдов¹ (✉), д. х. н. Р. А. Апакашев¹, к. т. н. В. Н. Корюков²

¹ ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»,
г. Екатеринбург, Россия

² ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург,
Россия

УДК 669.712.002.68

УТИЛИЗАЦИЯ ПЫЛИ ПЕЧЕЙ КАЛЬЦИНАЦИИ ГЛИНОЗЕМА, СОДЕРЖАЩЕЙ НАНОЧАСТИЦЫ

Рассмотрен рациональный метод утилизации содержащей наночастицы пыли печей кальцинации глинозема, основанный на использовании техногенной глиноземной пыли в качестве основного компонента абразивного материала для декоративной обработки поверхности природного камня.

Ключевые слова: печь кальцинации, глиноземная пыль, содержащая наночастицы, абразивный материал, природный камень, шлифование, полирование, декоративная обработка.

В настоящее время до 90 % мирового производства глинозема основано на способе Байера, важной технологической операцией которого является кальцинация или прокаливание гидроксида алюминия при высоких температурах в трубчатых вращающихся печах или других аппаратах [1, 2].

В результате термического и механического воздействия гидроксид алюминия дегидратируется и продвигается по длине печи. При этом значительно повышается дисперсность материала с образованием большого количества глиноземной пыли, содержащей наночастицы. Пыль увлекается из печи топочными газами, направляемыми в мультициклоны и электрофилтры. Уловленная электрофилтрами пыль, как правило, возвращается в печь и смешивается с продукционным глиноземом.

Возвратная содержащая наночастицы глиноземная пыль в подобном случае представляет собой оборотный балласт, массовая доля которого достигает 14 % от общего количества получаемого глинозема. С учетом того, что годовой объем производства глинозема в Российской Федерации оценивается в 11,5 млн т, масса оборотной глиноземной пыли составляет значимую величину.

Основная масса производимого глинозема используется для получения металлического алюминия электролитическим разложением, поэтому смешивание крупного глинозема с глиноземной пылью нежелательно. Содержащая наночастицы глиноземная пыль из-за повышенной гигроскопичности способна поглощать значи-

тельное количество атмосферной влаги. Ионы водорода поглощенных молекул воды, разряжаясь на катоде электролизной ванны, увеличивают содержание водорода в металлическом алюминии, что отрицательно влияет на его свойства [3].

Нами выполнены исследования свойств содержащей наночастицы глиноземной пыли, важных для ее пневмотранспортирования, и разработана рационального метода ее утилизации.

Физико-механические характеристики глиноземной пыли во многом отличаются от характеристик глинозема. Согласно классификации, принятой в газоочистительной технике, пыль такой крупности представляет собой аэрозоль. Для глиноземной пыли характерны слеживаемость и ограниченная подвижность частиц, что вызывает проблемы, связанные с ее улавливанием и выгрузкой из бункеров, последующим дозированием и перемещением. Пыли этого класса не имеют стабильного угла естественного откоса и плохо поддаются псевдосжижению. Тонкодисперсную глиноземную пыль, уловленную электрофилтрами, в случае пневмотранспорта следует отнести к категории связанных насыпных грузов, обладающих ограниченной подвижностью частиц.

Остановимся подробнее на физико-механических свойствах глиноземной пыли. Ниже приведены результаты измерений угла естественного откоса ϕ пыли при различных температурах:

Температура глиноземной пыли, °С.....	20	60	100	140	200
Угол естественного откоса ϕ , град	60	55	50	45	40

Таким образом, при повышении температуры с 20 до 200 °С угол естественного откоса глиноземной пыли уменьшается в 1,5 раза, т. е. при понижении температуры истечение материала из емкостей ухудшается.

Дополнительно определяли угол ϕ внешнего трения пыли глинозема по металлу. Соответству-



С. Я. Давыдов
E-mail: davidovtrans@mail.ru

ющие измерения проводили, фиксируя максимальный угол подъема металлической площадки до начала процесса движения глиноземной пыли.

При 20 °С глинозема и площадки среднее значение угла φ составило 40°. При нагревании пыли до 60 °С и выше наблюдалось ее прилипание к пластине. В этом случае скольжение материала по площадке заменялось движением материала по материалу. Когда нагревалась сама площадка, угол внешнего трения уменьшался значительно (до 5°) независимо от температуры глинозема. Следовательно, при нагревании стальной емкости истечение глинозема из нее, а также его транспортирование методом волочения, например скребковым конвейером, могут существенно интенсифицироваться.

Отметим, что при использовании бункеров и силосов для устранения сводообразования при их разгрузке радиус (в случае цилиндрического бункера) или половина стороны квадрата (в случае призмопирамидального бункера) выпускного отверстия должны превышать гидравлический радиус (радиус наибольшего отверстия, при котором еще образуется свод) $R_{\text{св}}$ глинозема. В настоящей работе радиус $R_{\text{св}}$ определяли в зависимости от температуры глинозема, угла наклона образующей конуса, из которого истекал глинозем, к горизонту и высоты конуса, образованного истекающим материалом [4–14]. Результаты измерений показывают, что с повышением температуры глиноземной пыли ее гидравлический радиус уменьшается в 4 раза (рис. 1).

Готовый товарный глинозем из холодильников по трубопроводам под воздействием сжатого воздуха с большой скоростью перемещается в силосные башни. В этот период, а также при оседании сверху вниз в силосных башнях высотой 20–30 м и диаметром 10–15 м глинозем подвергается интенсивному механическому воздействию. Это вновь вызывает образование пыли. Пыль поднимается вверх и улавливается в многорукавных фильтрах. Данную пыль также смешивают с продукционным глиноземом или отправляют в отвал [2].

Содержащая наночастицы глиноземная пыль, собираемая в газоочистных установках, в ходе технологического процесса получения товарного глинозема подвергается интенсивной

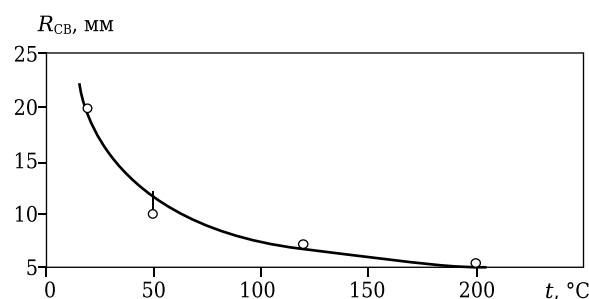


Рис. 1. Зависимость гидравлического радиуса $R_{\text{св}}$ от температуры t глиноземной пыли

термической обработке и механическим воздействием. С этой точки зрения глиноземную пыль также можно рассматривать в качестве товарного продукта, обладающего определенными потребительскими свойствами. Поэтому разработка рациональных методов использования глиноземной пыли представляет практический интерес.

Для решения данной задачи были проведены исследования химического, дисперсного и фазового составов глиноземной пыли, улавливаемой в электрофильтрах трубчатых вращающихся печей (пыль 1) и в многорукавных фильтрах силосных башен (пыль 2) [2]. Соответствующие результаты представлены в табл. 1 и 2.

Результаты анализа показывают, что почти 90 % пыли 1 составляют частицы размером менее 15 мкм, в то время как пыль 2 из силосных башен содержит лишь 70 % таких частиц. Также были определены параметры глиноземной пыли электрофильтров: угол естественного откоса $\beta = 54,973^\circ$; насыпная плотность $\rho_{\text{нас}} = 1685 \text{ кг/м}^3$; истинная плотность $\rho_{\text{нас}} = 3160 \text{ кг/м}^3$. Дисперсный состав пыли электрофильтров ОАО «БАЗ-СУАЛ» представлен на рис. 2. Условия отбора: отбор воздуха через ротаметр — $q = 10,0 \text{ л/мин}$, температура воздуха $t = 25^\circ\text{С}$.

Таблица 1. Химический состав пыли, %

Пыль	Al_2O_3	$R_2\text{O}_{\text{общ}}$	SiO_2	Fe_2O_3	$\Delta m_{\text{прк}}$
1	Остальное	0,69	0,12	0,06	2,80
2	»	0,39	0,04	0,03	5,20

Таблица 2. Дисперсный состав пыли, %

Пыль	–15	15–26	26–40
1	88,2	91,2	94,1
2	72,0	92,0	96,0

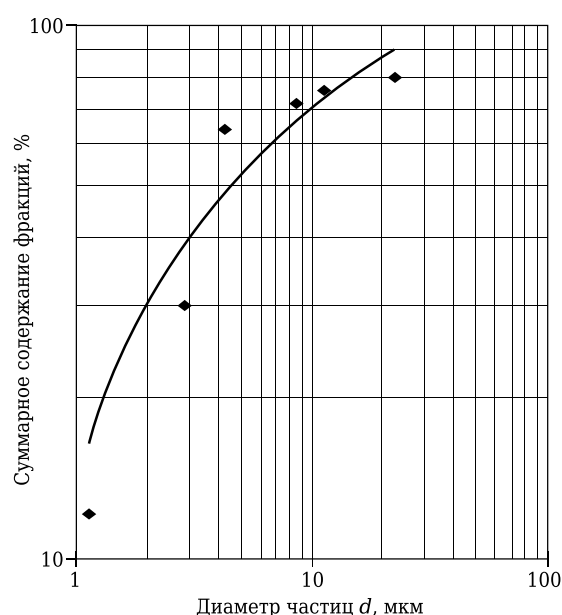


Рис. 2. Распределение дисперсного состава глиноземной пыли, $d_{50} = 4,4 \text{ мкм}$

Известно, что мелкодисперсный оксид алюминия является необходимым компонентом специальных высококачественных цементов, термостойких инертных огнеупоров и абразивных материалов [5]. Этот оксид в значительном количестве производится на отдельных предприятиях. Мелкодисперсную пыль можно использовать при производстве специальных видов спеченной керамики и электрокорунда. В смеси с огнеупорной глиной, особенно с добавками оксидов разных металлов и пластификаторов, глиноземная пыль может являться основным сырьем для производства высокоглиноземистой плотной и теплоизоляционной керамики, находящей широкое применение в черной и цветной металлургии.

Глиноземная пыль может быть использована в качестве добавки при производстве большего количества высокоглиноземистых труб для свободного извлечения сырца из гипсовых форм, так как она увеличивает усадку при литье изделий. Из глиноземной пыли можно изготавливать низкообоженный вспененный глиноземистый цемент, рекомендуемый для использования в силовых установках летательных аппаратов, управляемых снарядов и других устройствах при наличии высоких температур, газовых потоков и аэродинамических вибраций.

В промышленных стеклах (листовом, бутылочном, столовом) содержится 2–3 % Al_2O_3 , 1,2–5,0 % Al_2O_3 входит в состав стекол для электронно-лучевых телевизионных прямоугольных трубок, около 1,5 % оксида алюминия входит в состав стекол, устойчивых к радиоактивным излучениям и нейтронам. В оптических стеклах содержится 3–10 % оксида алюминия, в стеклах для производства стеклянных волокон содержание Al_2O_3 достигает 25 %, в стеклах для жаропрочной посуды 17–18 %. Добавка глиноземной пыли в стекольную шихту повышает химическую и термическую прочность стекла, поверхностное натяжение, теплоемкость, механическую прочность, теплопроводность и вязкость расплава, значительно снижает склонность стекла к кристаллизации и уменьшает его коэффициент линейного расширения.

Нанесение двухслойных покрытий металл – оксид алюминия позволяет повысить стойкость металлических изделий, работающих на трение. Плазменные покрытия на основе Al_2O_3 применяются для нанесения на обмотки генераторов самолетов, используются для защиты износа валов насосов, употребляемых при производстве синтетических смол, деталей ворсовальных станков.

Один из возможных перспективных вариантов прямой утилизации глиноземной пыли — ее введение в состав карбидкремниевых бетонов вместо электрокорунда, что способствует муллитобразованию при более низких температурах, повышая тем самым прочностные свойства бетона. Так, прочность бетона при обжиге при

800 °C при введении электрокорунда составляет 57,0 МПа, а при введении пыли 64,3 МПа [15].

Известно применение глиноземной пыли в качестве компонента проппанта, используемого при добыче нефти и газа методом гидравлического разрыва пласта [16]. В патенте [17] глиноземная пыль использована в качестве связующего для получения шихты для производства гранул из алюмокремниевых сырьев. В проведенной работе рассмотрен вариант использования содержащей наночастицы глиноземной пыли в качестве основного компонента востребованного абразивного материала, например для декоративной обработки поверхности природного камня.

Экспериментальный абразивный материал готовили в виде консистентной водной суспензии с вязкостью, регулируемой разбавлением. Устойчивость суспензии и равномерное распределение абразивного порошка по всему объему суспензии обеспечивали добавкой органического связующего вещества. Для улучшения полирующей способности в суспензию добавляли универсальный модификатор — силикат натрия. Пропорции в суспензии определяли опытным путем и варьировали таким образом, чтобы реализовать ее абразивную способность как для тонкого шлифования, так и для полирования и достигнуть качественных результатов без дополнительной обработки поверхности камня другими материалами.

Абразивную обработку поверхности камня экспериментальной суспензией выполняли на шлифовально-полировальном станке с помощью войлочных кругов, работающих с нанесенной суспензией. Обработке подвергали поверхность яшмы, серпентинита и нефрита, используемых в производстве стеновых плит, подоконников, памятных и других распространенных изделий из природного камня. Учитывая гранулометрический состав исходной глиноземной пыли, характеризующийся преобладанием относительно малых по размеру частиц, поверхность камня предварительно подвергали первичной обдирке и формовке грубым абразивным материалом, в качестве которого использовали корунд с зерном 80–100 мкм.

На основании проведенных экспериментов установлено, что суспензия с содержанием глиноземной пыли обеспечивает тонкое шлифование камня. В результате его поверхность становится однородной и равномерно матовой, без видимых царапин и участков, отличающихся по блеску.

Суспензия не загрязняет поверхность камня, хорошо смывается водой, является экологически безопасной. Производительность процесса шлифования с применением суспензии находится на удовлетворительном уровне, сопоставимом с производительностью в случае применения распространенных шлифовальных паст общего применения. Продолжительная обработка поверхности камня суспензией с целью полирования в большинстве случаев позволяет достигнуть

только промежуточный результат, соответствующий полированию среднего уровня качества (рис. 3). Для получения высококачественной зеркальной поверхности, придающей камню особо высокую декоративность, требуется дополнительное финишное полирование с применением специальных абразивных материалов, предназначенных для удаления тонких шлифовальных рисок. В качестве подобного материала использовали, например, полировальную пасту, содержащую алмазный порошок с фиксированным размером частиц от 10 до 14 мкм. После такой обработки поверхность камня однородная и равномерно матовая, отсутствуют видимые царапины и участки, отличающиеся по блеску.

Таким образом, содержащая наночастицы глиноземная пыль печей кальцинации может быть использована в качестве основы абразивного материала общего применения, обеспечивающе-

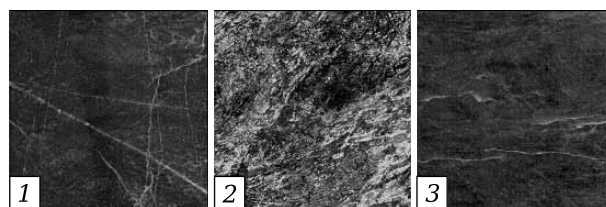


Рис. 3. Внешний вид поверхности камня после полирования экспериментальной суспензией на основе глиноземной пыли ($\times 10$): 1 — яшма, 2 — серпентинит, 3 — нефрит

го тонкое шлифование и начальное полирование поверхности природного камня. Для возможности финишного полирования поверхности камня необходимо предварительное фракционирование глиноземной наносодержащей пыли с целью удаления частиц размером более 14 мкм.

Библиографический список

1. **Лайнер, А. И.** Производство глинозема / А. И. Лайнер, Н. И. Еремин, Ю. А. Лайнер [и др.]. — М. : Металлургия, 1978. — 344 с.
2. **Ханамирова, А. А.** Получение малощелочного высокодисперсного корунда из глиноземной пыли / А. А. Ханамирова, Л. П. Апресян, А. Р. Адимосян // Химический журнал Армении. — 2008. — Т. 61, № 1. — С. 37–44.
3. **Васюнина, И. П.** Выход по току / И. П. Васюнина, П. В. Поляков // VIII Высшие российские алюминиевые курсы. — Красноярск : изд-во ГУЦМиЗ ; Легкие металлы, 2005. — С. 1–27.
4. **Давыдов, С. Я.** Особенности транспорта мелкодисперсных материалов / С. Я. Давыдов, И. Д. Кашеев, А. В. Катаев // Новые огнеупоры. — 2002. — № 3. — С. 59–60.
5. Выбор оборудования для перемещения и складирования глиноземной пыли и разработка технологии ее утилизации : отчет о НИР/ООИ «ВЕРА» / ОАО «БАЗ-СУАЛ» ; рук. работы С. Я. Давыдов. — Екатеринбург, 2000. — 154 с.
6. **Давыдов, С. Я.** Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов: исследование, разработка, производство / С. Я. Давыдов. — Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2007. — 317 с.
7. **Давыдов, С. Я.** Особенности транспортабельности мелкодисперсных материалов / С. Я. Давыдов, А. В. Катаев, Г. Э. Вебер // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сборник докладов международной научно-технической конференции. Чтения памяти В. Р. Кубачека. — Екатеринбург : Уральская государственная горно-геологическая академия, 2002. — С. 99–110.
8. **Давыдов, С. Я.** Закономерности пневмоподъема псевдооживленного материала / С. Я. Давыдов, С. Н. Сычев // Новые огнеупоры. — 2011. — № 3. — С. 33–34.
9. **Пат. 2294886 РФ.** Устройство для подъема сыпучих материалов с повышенной концентрацией в газовой смеси / С. Я. Давыдов. — № 20055107861 ; заявл. 21.03.05 ; опубл. 10.03.07, Б.И. № 7.
10. **Давыдов, С. Я.** Использование глиноземистой пыли печей кальцинации гидроксида алюминия / С. Я. Давыдов, Н. П. Косарев, Н. Г. Валиев [и др.] // Новые огнеупоры. — 2013. — № 4. — С. 52–58.
11. **Давыдов С. Я.** Использование эффективного комплекса оборудования для перемещения насыпных грузов / С. Я. Давыдов // Новые огнеупоры. — 2012. — № 8. — С. 8–10.
12. **Давыдов С. Я.** Пневмотранспорт взрывоопасных и горячих сыпучих материалов / С. Я. Давыдов, И. Д. Кашеев // Новые огнеупоры. — 2011. — № 8. — С. 23–27.
13. **Davydov, S. Ya.** Pneumatic transport of explosive and hot bulk materials / S. Ya. Davydov, I. D. Kashcheev // Refractories and Industrial Ceramics. — 2011. — Vol. 52, № 4. — P. 248–252.
14. **Давыдов, С. Я.** Использование кипящего слоя для энергосберегающего пневмоподъема мелкодисперсной пыли / С. Я. Давыдов // Новые огнеупоры. — 2012. — № 9. — С. 17–22.
15. **Davydov, S. Ya.** Use of a fluidized bed for the energy-efficient pneumatic transport of fine dust / S. Ya. Davydov // Refractories and Industrial Ceramics. — 2013. — Vol. 53, № 5. — P. 292–297.
16. **Логинова И. В.** Аппаратурно-технологические схемы в производстве глинозема / И. В. Логинова, А. В. Кырчиков. — Екатеринбург : УрФУ, 2011. — 233 с.
17. **Пат. 2257361 РФ.** Карбидкремниевый бетон / Каменских В. А., Кашеев И. Д., Гуляев А. А. — № 2004123470 ; заявл. 30.07.04 ; опубл. 27.07.05, Бюл. № 21.
18. **Пат. 2267010 РФ.** Проппант и способ его получения / Можжерин В. А., Сакулин В. Я., Мигаль В. П. и др. — № 2004126647 ; заявл. 02.09.04 ; опубл. 27.12.05, Бюл. № 36.
19. **Пат. 2014281 РФ.** Шихта для производства гранул и способ их получения / Б. А. Симановский, О. М. Розанов, С. В. Константинов и др. — № 5061233 ; заявл. 15.06.94 ; опубл. 27.07.99, Бюл. 21. ■

Получено 29.05.14

© С. Я. Давыдов, Р. А. Апакашев,
В. Н. Корюков, 2014 г.