

При увеличении содержания опошляющей глины до 50 % снижается количество минералов каолиновой группы (на 6 %), увеличивается содержание минералов иллитовой (на 9,5 %) и монтмориллонитовой (на 12,5 %) групп. В этом случае суммарное количество пластичных компонентов возрастает на 9,5 % по сравнению со смесью глин 70 / 30 и составляет 43 %. Увеличение содержания опошляющей глины до 50 % обеспечивает стабильное получение стандартных значений кажущейся плотности и прочности при сжатии (табл. 4). Снижение значения объемного веса пеномассы с $0,61 \text{ г/см}^3$ до значения, указанного в техпроцессе на производство шамотного пенолегковеса ($0,58 \text{ г/см}^3$), при нормальном объемном весе шликера позволяет стабильно получать кажущуюся плотность кирпича после обжига не выше $0,45 \text{ г/см}^3$ при стандартной прочности при сжатии.

Выводы.

В результате проведенных исследований установлено, что увеличение содержания пластичной опошляющей глины в шликере на основе малопластичной каолиновой обеспечивает улучшение физико-механических характеристик обожженного шамотного пенолегковеса.

На оптимальном соотношении Техник-2/опошляющая № 7 на участке механической формовки пенолегковеса ОАО «Михайловские огнеупоры» была выпущена опытная партия ультралегковеса ШЛ-0,4 и исследованы его физико-механические характеристики после обжига.

Результаты исследований показали стабильную повторяемость свойств в рамках ГОСТ, а разработанный состав глинистого шликера принят к внедрению.

Список литературы: 1. Гузман И.Я. Высокоогнеупорная пористая керамика / И.Я. Гузман — М: Металлургия, 1971 — 208с. 2. Foam ceramics process development // Ceram. Ind. Int. — 1996 — 106 — № 1113. — Р. 2. 3. Черепанов В.С. Физико-химические процессы в технологии пенокерамика / В.С. Черепанов // Техника и технология силикатов. — 1984. — Т. 1. — № 2. — С. 37 — 39.

Получена в редакцию 25.06.09

В.П. НАДУТЫЙ, докт. техн. наук, **В.И. ЛУЦЕНКО**, канд. техн. наук,
В.И. ЕЛИСЕЕВ, канд. физ.-мат. наук,
И.П. ХМЕЛЕНКО, аспирант, ИГТМ НАН Украины

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ НА ГРОХОТЕ С ПОДСТИЛАЮЩЕЙ СЕТКОЙ

Розглянуто моделювання порових каналів у процесі виводження порової маси на робочому елементі віброгрохота.

The pore channels modeling in process of rock exsiccation mass on an operating element of a screen is considered.

Процесс классификации по крупности влажной горной массы и пульпы на грохотах неразрывно связан с обезвоживанием. При тонком грохочении через сетки с малым размером отверстий возникает целый ряд особенностей, изучение которых позволяет предусмотреть их влияние на параметры процесса обезвоживания. Одним из малоизученных факторов является влияние порообразования в слое влажного материала на истечение жидкости, которое усложняется наличием мелкоячеистой сетки на выходе жидкости из порового канала.

Целью исследований в работе являлось определение сопротивления сеток под слоем сыпучего влажного материала и их влияния на обезвоживание.

В качестве начального приближения моделирование порового пространства рудной массы возможно с помощью цилиндрического капилляра. Учитывая, что сыпучая среда находится на мелкоячеистой сетке, необходимо рассмотреть влияние этой сетки на опускание поверхности жидкости, заполняющей поровое пространство в рудной массе. Для этого экспериментально исследовалось движение жидкости в капиллярных трубках, на конце которых закреплялись образцы сеток, используемых в грохотах.

Проводились два различных вида экспериментов. Первый состоял в определении влияния гидравлических сопротивлений капилляра и сетки, установленной на его нижнем срезе, на гидродинамику жидкости при поддержании постоянного уровня давления на входе в трубку, а второй в определение

закономерностей опускания мениска в капиллярной трубке. В первых экспериментах использовались трубки диаметром $2 \cdot 10^{-3}$, $3 \cdot 10^{-3}$, $4 \cdot 10^{-3}$, $6 \cdot 10^{-3}$ и $7 \cdot 10^{-3}$ м длиной 0,22 м и сетки с размером ячейки $50 \cdot 10^{-6}$, $70 \cdot 10^{-6}$, $100 \cdot 10^{-6}$, $120 \cdot 10^{-6}$ и $160 \cdot 10^{-6}$ м. Результаты этих экспериментов подробно описаны в [1].

Часть результатов первой серии экспериментов представлена в табл. 1 и табл. 2, в которых показано время заполнения сосуда объемом $0,5 \cdot 10^{-3}$ м³ водой, проходящей по указанным выше трубкам при гравитационном течении.

Таблица 1

Результаты эксперимента с трубкой диаметром 2 мм						
Диаметр трубки $2 \cdot 10^{-3}$ м						
Размер ячейки 10^{-6} , м	50	70	100	120	160	Без сетки
Время заполнения, с	95,2	93,2	92,8	92,0	90,8	82,2

Таблица 2

Результаты эксперимента с трубкой диаметром 7 мм						
Диаметр трубки $7 \cdot 10^{-3}$ м						
Размер ячейки 10^{-6} , м	50	70	100	120	160	Без сетки
Время заполнения, с	15,4	15,2	14,4	14,2	13,2	7,4

Из таблиц видно, что сетки в диапазоне изменения размеров ячейки от 50 до $160 \cdot 10^{-6}$ м слабо влияют на расход жидкости, как для больших, так и для маленьких диаметров трубок, что говорит о том, что сопротивления их мало отличаются друг от друга. В последних столбцах таблицы показано время для случая течения жидкости без сеток. Из сравнения времен заполнения сосуда видно, что для трубки диаметром $7 \cdot 10^{-3}$ м расход через трубку без сетки в 2 раза выше, чем расход в трубках с сетками, т.е. сетки в данном случае обладают сопротивлением, соизмеримым с величиной сопротивления трения на внутренней поверхности трубки. Для узкой трубки влияние сетки меньше потому, что ее сопротивление в данном случае значительно меньше общего сопротивления трубки. Из этих результатов видно, что сопротивление сетки, на которой лежит рудная масса, достаточно сложным образом влияет на гидродинамику жидкости и, в общем случае, может оказывать заметное влияние на процесс обезвоживания.

Для обезвоживания рудной массы интересным представляется изучение процесса опускания уровня воды в поровом пространстве, поэтому вторая серия экспериментов проводилась без подпитки водой порового канала. Чтобы выделить влияние сетки, все трубочки были одного и достаточно большо-

го диаметра ($5,5 \cdot 10^{-3}$ м). В экспериментах использовались те же сетки, что и в первой серии, которые прикреплялись к трубочкам при помощи колец из вакуумной замазки. Схема проведения экспериментов была следующая. Сначала при помощи создаваемого разрежения в трубку подавалась вода на уровень 0,2 м. Затем включалась цифровая видеосъемка, и открывался клапан, соединяющий верхний конец трубки с атмосферой. Весь процесс опускания жидкости записывался в память компьютера, и производилась раскладка. При этом интервал между кадрами составлял 0,04 с. Каждый эксперимент повторялся несколько раз и полученные результаты усреднялись. После этого переходили к экспериментам со следующим типоразмером сетки.

Полученные экспериментальные кривые, характеризующие изменение во времени уровня жидкости в капиллярной трубке показаны на рис. 1.

Как видно из рисунка, полученные результаты подтверждают сделанные выше выводы по первой серии экспериментов для трубок $7 \cdot 10^{-3}$ м. С одной стороны, жидкость из трубки без ограничивающей сетки сливается примерно в 2 раза быстрее. С другой стороны, экспериментальные кривые для трубок с сетками в диапазоне от 50 до 160 микрон расположены довольно плотно, что говорит о слабом влиянии изменения сопротивления в исследованном диапазоне сеток.

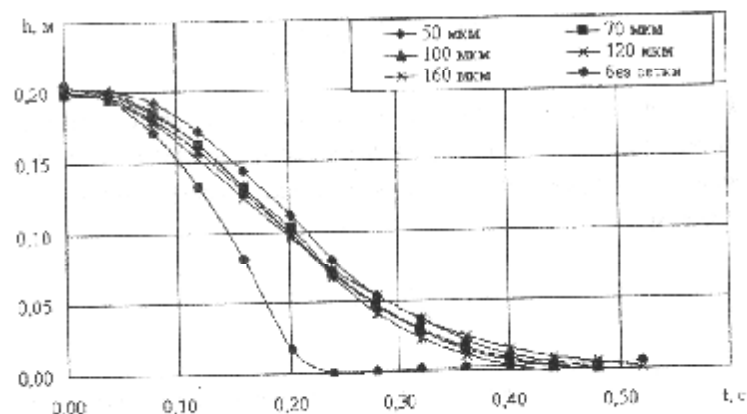


Рис. 1. Зависимость времени обезвоживания капилляра диаметром $5,5 \cdot 10^{-3}$

Для математического моделирования изучаемого процесса рассматривалась задача об опускании воды в капиллярной трубке при наличии сетки на

ее нижнем торце. При построении математической модели была использована теория, разработанная в [2]. Уравнение движения поверхности воды в трубке имеет вид:

$$h \frac{d^2 h}{dt^2} + gh + 8 \frac{\mu}{\rho R_c^2} h \frac{dh}{dt} - 2 \frac{\sigma}{\rho R_c} \frac{\theta}{(1 + \theta^2)^{1/2}} = \frac{P_0 - P_c}{\rho} \quad (1)$$

где t – время, с; R_c – радиус трубки, м; h – высота столба жидкости в трубке, м; g – ускорение свободно падающего тела, м/с^2 ; ρ – плотность жидкости, кг/м^3 ; μ – коэффициент динамической вязкости, кг/(м·с) ; P_0, P_c – давление, соответственно атмосферное и в нижнем сечении трубки, Н/м^2 ; $\theta = \text{tg } \gamma = 1/\text{tg } \alpha$; γ – угол между радиусом трубки и касательной к поверхности мениска, α – угол смачивания.

При получении этого уравнения было принято, что мениск представляет собой математическую плоскость, расположенную перпендикулярно оси канала. Принимается, что сетка также представляет собой математическую поверхность, на которой существует перепад давления, определяемый в виде:

$$\frac{P_0 - P_h}{\rho} = \frac{1}{2} k v^2 - \frac{1}{2} k \left(\frac{dh}{dt} \right)^2 \quad (2)$$

где k – коэффициент сопротивления сетки, $\text{м}^2/\text{с}^2$; v – скорость жидкости в трубке, м/с ; P_h – давление под сеткой, которое в данном случае равно атмосферному P_c . Коэффициент сопротивления k рассчитывался по известным формулам [3].

$$k = \frac{22}{Re_w} + \zeta_{gr} \quad (3)$$

где $Re_w = \frac{v D_w}{\nu}$, D_w – диаметр волокна; ν – кинематический коэффициент вязкости; ζ_{gr} – коэффициент, зависящий от коэффициента живого сечения сетки $f = F_0/F_1$, F_0 – площадь живого сечения, F_1 – площадь поперечного сечения трубки.

На рис. 2 приведено сравнение рассчитанных уровней жидкости в капилляре с экспериментальными. Можно отметить удовлетворительное совпадение соответствующих кривых. Причиной расхождения расчета с экспериментом могут быть ошибки в определении времени начала опускания столба жидкости (дискретность 0,04 с), а также погрешности определения величины коэффициента живого сечения f .

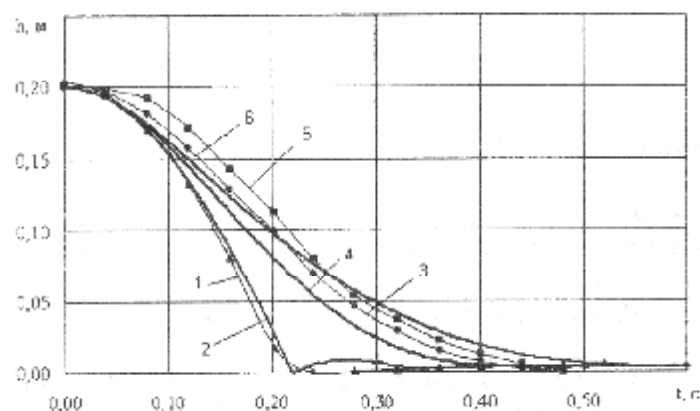


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и расчетных данных:

1, 2 – без сетки; 3, 4 – сетка 100 мкм; 5, 6 – сетка 50 мкм;
1, 3, 5 – данные эксперимента; 2, 4, 6 – расчетные данные

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования и теоретические расчеты показывают, что сопротивление сеток, на которых находится рудная масса, может оказывать довольно заметное влияние на процесс обезвоживания. Здесь важным моментом является соотношение сопротивления сетки с сопротивлением канала. Если сопротивление сетки соизмеримо с сопротивлением порового канала, то его необходимо учитывать при расчете процесса обезвоживания.

Список литературы: 1. *Набутий В.П.* Моделирование истечения жидкости в слое горной массы через дренажные каналы с остонными выходными отверстиями // *В.П. Набутий В.Н. Приколотов, И.И. Киселева // Сборник научных трудов ИИУ.* – Днепродзержинск. – 2008. – Вып. № 31. – С. 191–196. 2. *Идельчик И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с. 3. *Набутий В.П.* Определение закономерностей опускания жидкости в поровых каналах влажной

УДК 666.762.11:666.762.8

Л.А. АНГОЛЕНКО, канд. техн. наук,
Г.Д. СЕМЧЕНКО, докт. техн. наук, **С.В. ТИЩЕНКО**, **Е.Е. СТАРОЛАТ**,
М.А. КУЩЕНКО, НТУ «ХПИ».
В.В. ПОВШУК, «Укрспецнеупор», г. Запорожье

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ РЕАКЦИЙ С УЧАСТИЕМ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ В СИСТЕМЕ $Al - Al_2O_3 - C$

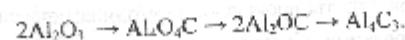
Термодинамичні розрахунки реакцій в системах $Al - Al_2O_3 - C - CO$ та $Al - Al_2O_3 - C - CO_2$ підтвердили можливість утворення шпинелі (Al₂O₃), оксихарбідів (Al₂O₃C та Al₂OC) і карбідів алюмінію (Al₄C₃) при температурі 1723 К, що може бути використано в технології корундографітових вогнетривів для захисту графіту від окиснення при синтезі зазначених фаз на його поверхні.

Thermodynamic calculations for reactions in systems $Al - Al_2O_3 - C - CO$ and $Al - Al_2O_3 - C - CO_2$ have confirmed possibility of synthesis of alumina spinel (Al₂O₃), oxycarbides Al₂O₃C and Al₂OC and aluminium carbide (Al₄C₃) at temperature 1723 K, that might be used in corundum-graphite refractories' technology for graphite protection from oxidation through synthesis of the described phases on its surface.

В настоящее время система $Al - O - C$ представляет большой практический интерес в связи с возможностью образования в ней карбида и оксихарбидов алюминия, которые являются перспективными компонентами конструкционной керамики, абразивов и шлакоустойчивых огнеупоров [1 – 5].

Взаимодействие оксида алюминия с углеродом начинается выше 1800 К [6 – 9] и, согласно [10, 11] сопровождается замещением двух атомов

кислорода атомом углерода, последовательность фазовых превращений при этом следующая:



Позднее было установлено, что между Al_2O_3 и Al_4C_3 присутствует фаза с кубической гранецентрированной структурой нормальной шпинели Al_2O_3 [12].

Химический анализ показал следующий состав соединения: после термообработки при 1870 К – $AlO \cdot 1,26Al_2O_3$, при 1970 К – $AlO \cdot 1,21Al_2O_3$, при 2020 К – $AlO \cdot 1,06Al_2O_3$.

Было установлено, что оно представляет собой оксинитрид алюминия $AlN \cdot Al_2O_3$ со структурой шпинели [13, 14], а после уточнения принята формула $Al_{(83+x)}O_{(17-x)}N_x$ ($0,22 < x < 0,50$) (так называемый γ -AlON) [15].

Согласно [16 – 20], в системе $Al - O - C$ в конденсированном состоянии присутствуют фазы Al_2O_3 , Al_2C , Al_4C_3 , Al_2OC и Al_2O_3C .

По данным [21], в газовой фазе возможно присутствие паров Al , AlO , Al_2O , Al_2O_2 , CO , CO_2 . При температурах 1000 – 2500 К газовая фаза над глиноземом в основном состоит из паров алюминия и атомарного кислорода.

В псевдобинарной системе $Al_2O_3 - Al_4C_3$ оксихарбиды алюминия Al_2O_3C и Al_2OC плавятся incongruently при температурах около 2150 К и 2300 К соответственно [22].

В работе [23] указывается, что стабильно существует только тетраоксихарбид Al_2O_3C , монооксихарбид Al_2OC термодинамически нестабилен, но может быть стабилизирован путем образования твердого раствора с изоструктурными соединениями (AlN , SiC и др.).

При взаимодействии Al_2O_3 и углерода при высоких температурах образуются газообразные низшие оксиды алюминия.

Субоксиды алюминия адсорбируются на поверхности углерода и вступают с ним в химические реакции, разрушая связи $Al - O$ и образуя комплексы C_xO_y , которые затем превращаются в адсорбированный CO , а последний десорбируется.

При разрушении связей $Al - O$ возникают новые связи $Al - C$, что приводит к образованию Al_4C_3 . Образование оксихарбидов алюминия является результатом последующих взаимодействий карбида алюминия с атомарным кислородом и субоксидами алюминия [6, 7, 24].