

ВЕСТНИК
НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА «ХПИ»

Сборник научных трудов

Тематический выпуск

«Химия, химическая технология и экология»

66'2010

Издание основано Национальным техническим университетом «ХПИ»
в 2001 году

Госиздание

Свидетельство Госкомитета
По информационной политике Украины
КВ № 5256 от 2 июля 2001 года

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, д-р техн. наук, проф.

Секретарь координационного совета

К.А. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.
Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.
Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.
Л.М. Бесов, д-р техн. наук, проф.
А.В. Бойко, д-р техн. наук, проф.
М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.
А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.
В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.
В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.
И.Ф. Домнин, д-р техн. наук, проф.
В.В. Епифанов, канд. техн. наук, проф.
Ю.И. Зайцев, канд. техн. наук, проф.
П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.
В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.
С.И. Кондрашев, д-р техн. наук, проф.
В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.
В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.
Г.В. Лисачук, д-р техн. наук, проф.
В.С. Лупиков, д-р техн. наук, проф.
О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.
В.И. Николаенко, канд. ист. наук, проф.
В.А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.
В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.
Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.
Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.
Н.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ответственный редактор

М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь

Г.Н. Шабанова, д-р техн. наук, проф.

В.Л. Авраменко, канд. техн. наук, проф.
Б.И. Байрачный, д-р техн. наук, проф.
Л.Л. Брагина, д-р техн. наук, проф.
Ф.Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.
Г.И. Гринь, д-р техн. наук, проф.
И.Н. Демидов, д-р техн. наук, проф.
А.М. Каратеев, д-р хим. наук, проф.
Н.Ф. Клещев, д-р техн. наук, проф.
А.Я. Лобойко, д-р техн. наук, проф.
А.П. Мельник, д-р техн. наук, проф.
А.С. Савенков, д-р техн. наук, проф.
Г.Д. Семченко, д-р техн. наук, проф.
С.А. Слободской, д-р техн. наук, проф.
Р.Д. Сытник, д-р техн. наук, проф.
Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, д-р техн. наук, проф.
В.И. Тошинский, д-р техн. наук, проф.
В.П. Шапорев, д-р техн. наук, проф.

АДРЕС РЕДКОЛЛЕГИИ

61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПИ»

Кафедра керамики

Тел. (057) 707-60-51

e-mail: szelentcov@kpi.kharkov.ua

Харьков 2010

УДК 621.833

Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск “Хімія, хімічна технологія та екологія”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2010. – № 66. – 148 с.

У збірнику представлено теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками, спеціалістами різних організацій та підприємств.

Для наукових співробітників, викладачів, аспірантів, спеціалістів.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты научных исследований и разработок, которые выполнены преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками, специалистами различных организаций и предприятий.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, специалистов.

**Друкується за рішенням Вченої ради НТУ “ХПІ”,
протокол № 9 від 13.11.2010 р.**

ISSN 2079-0821

© Національний технічний університет «ХПІ», 2010

В.П. НАДУТЫЙ, докт. техн. наук, проф.,

В.И. ЕЛИСЕЕВ, канд. физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудн.,

В.И. ЛУЦЕНКО, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудн.,

И.П. ХМЕЛЕНКО, инж. 1 кат., ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОВЕСНОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКОГО СЛОЯ СМАЧИВАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В КВАДРАТНОЙ ЯЧЕЙКЕ СИТА ГРОХОТА

Досліджений рівноважний стан змочуючої рідини тонкого шару в чарунці сита грохота. Вивчено поведінку перепаду тиску в чарунці залежно від положення шару рідини.

The equilibrium state of moistening liquid of thin layer in the cell of screen's sieve is explored. The conduct of overfull of pressure in a cell depending on position of layer of liquid is studied.

Введение. Эффективность процессов обезвоживания пористых и сыпучих материалов определяется по остаточной массе жидкости, которая, в случае использования мелкоячеистых сит, может зависеть, в том числе, и от сил капиллярного взаимодействия жидкости с твердой поверхностью в ячейке сита. Для сит с круглыми ячейками в полной постановке эти вопросы были рассмотрены в [1, 2], где было показано, что теоретически капиллярными силами в круглой ячейке могут удерживаться достаточно значимые по величине массы жидкости.

Целью исследований является определение: равновесного состояния в квадратной ситовой ячейке сита грохота, покрытой тонким слоем несмачивающей жидкости; влияния перепада давления на равновесное состояние мениска жидкости в ячейке.

В реальных условиях просеивающие сетки обезвоживающих устройств, как правило, состоят из ячеек квадратного сечения. Для изучения вопроса равновесного состояния слоя жидкости в квадратной ячейке воспользуемся теорией Лапласа [3], устанавливающей взаимосвязь силовых характеристик на границе поверхности с ее геометрическими особенностями, в частности, с кривизной. Общее выражение для средней кривизны поверхности в декартовой системе координат определяется из уравнения, которое можно получить из уравнений дифференциальной геометрии [4]:

$$\frac{1}{R} = \left(1 + \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right)^2 \right)^{-3/2} \cdot \left\{ \left[1 + \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 \right] \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial h}{\partial y} \frac{\partial^2 h}{\partial x \partial y} + \left[1 + \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right)^2 \right] \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \right\} \quad (1)$$

где x, y – система координат; h – поверхность.

Рассмотрим задачу, подобную решенным в [1, 2] для осесимметричного случая. Для получения качественных зависимостей и понимания процесса введем упрощение – отбросим нелинейные члены в выражении (1). Это значительно упростит задачу и даст возможность получения простых выражений, удобных для анализа.

Смачивающая жидкость. Тонкая пленка в ячейке. В случае тонкой пленки смачивающей жидкости (рис. 1) имеем две поверхности верхнюю и нижнюю.

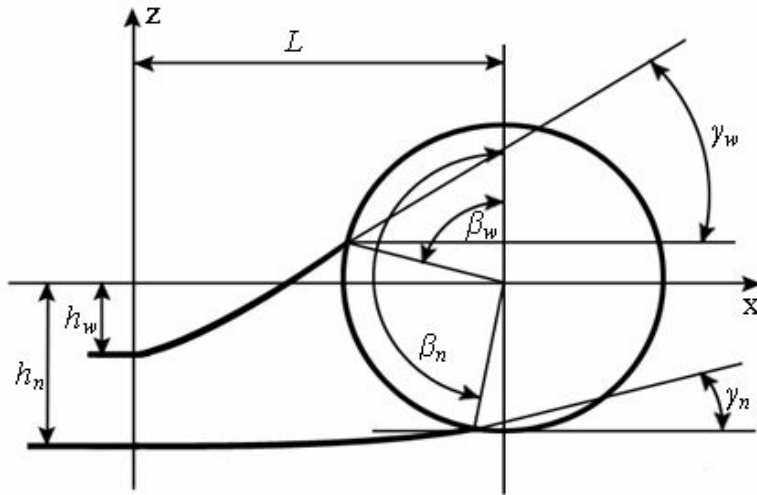


Рис. 1. Расчетная схема равновесия тонкого слоя смачивающей жидкости в ячейке капиллярной сетки

Рассмотрим задачу о статическом положении такой пленки при различных перепадах давления. В этом случае уравнения имеют следующий вид

$$\left(h_{wxx}'' + h_{wyy}'' \right) - \frac{\rho g}{\sigma} \left(h_w + \frac{p_w - p_0}{\rho g} \right) = 0, \quad (2)$$

$$\left(h_{nxx}'' + h_{nyy}'' \right) + \frac{\rho g}{\sigma} \left(h_n + \frac{p_n - p_0}{\sigma} \right) = 0, \quad (3)$$

где индексы 'w' и 'n' обозначают верхнюю и нижнюю поверхности, p_w , p_n , p_0 – давления, соответственно сверху над пленкой, снизу под пленкой и в ячейке в нулевой плоскости, ρ – плотность жидкости; σ – коэффициент поверхностного натяжения; g – ускорение свободно падающего тела; штрих означает производную по координате, соответствующую нижнему индексу.

После преобразований, получим следующие выражения для перепадов давления:

$$\frac{1}{2}Bo \frac{R_W}{L} \left(\cos\beta_{w0} + \frac{p_w - p_0}{\rho g R_W} \right) \left(1 - \sin\beta_{w0} \frac{R_W}{L} \right) = \frac{\sin\beta_{w0} - \operatorname{tg}\alpha \cdot \cos\beta_{w0}}{\cos\beta_{w0} + \operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\beta_{w0}}, \quad (4)$$

$$\frac{1}{2}Bo \frac{R_W}{L} \left(\cos\beta_{n0} + \frac{p_n - p_0}{\rho g R_W} \right) \left(1 - \sin\beta_{n0} \frac{R_W}{L} \right) = -\frac{\sin\beta_{n0} + \operatorname{tg}\alpha \cdot \cos\beta_{n0}}{\cos\beta_{n0} - \operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\beta_{n0}}. \quad (5)$$

где L – полуширина ячейки; R_W – радиус волокна; $Bo = \frac{\rho g L^2}{\sigma}$ – число Бонда.

Исключая из этих выражений p_0 , получим следующую формулу для определения перепада давления в зависимости от положения пленки в ячейке

$$\frac{p_w - p_n}{\rho g R_W} = -(\cos\beta_{w0} - \cos\beta_{n0}) + 2Bo^{-1} \frac{L}{R_W} \cdot \left[\left(1 - \sin\beta_{w0} \frac{R_W}{L} \right)^{-1} \frac{\sin\beta_{w0} - \operatorname{tg}\alpha \cdot \cos\beta_{w0}}{\cos\beta_{w0} + \operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\beta_{w0}} + \left(1 - \sin\beta_{n0} \frac{R_W}{L} \right)^{-1} \frac{\sin\beta_{n0} + \operatorname{tg}\alpha \cdot \cos\beta_{n0}}{\cos\beta_{n0} - \operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\beta_{n0}} \right] \quad (6)$$

где $\alpha = 180 - \theta$, θ – краевой угол смачивания, β_{n0} и β_{w0} – углы показаны на рис. 1.

Чтобы определить максимальную величину перепада, положим $\beta_{n0} = \pi$, тогда

$$\frac{p_w - p_n}{\rho g R_W} = -(1 + \cos\beta_{w0}) + 2Bo^{-1} \frac{L}{R_W} \cdot \left[\left(1 - \sin\beta_{w0} \frac{R_W}{L} \right)^{-1} \frac{\sin\beta_{w0} - \operatorname{tg}\alpha \cdot \cos\beta_{w0}}{\cos\beta_{w0} + \operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\beta_{w0}} + \operatorname{tg}\alpha \right]. \quad (7)$$

Для соответствующих углов можно найти также нижние точки поверхностей

$$\frac{h_w(0,0)}{R_w} = \cos\beta_{w0} - \frac{1}{2} \left(\frac{L}{R_w} - \sin\beta_{w0} \right) \frac{\sin\beta_{w0} - \operatorname{tg}\alpha \cdot \cos\beta_{w0}}{\cos\beta_{w0} + \operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\beta_{w0}}, \quad (8)$$

$$\frac{h_n(0,0)}{R_w} = \cos\beta_{n0} - \frac{1}{2} \left(\frac{L}{R_w} - \sin\beta_{n0} \right) \frac{\sin\beta_{n0} + \operatorname{tg}\alpha \cdot \cos\beta_{n0}}{\cos\beta_{n0} - \operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\beta_{n0}}. \quad (9)$$

При $\beta_{n0} = \pi \frac{h_n(0,0)}{R_w} = - \left[1 + \frac{1}{2} \frac{L}{R_w} \operatorname{tg}\alpha \right]$, что для наших размеров составляет значение -1.75. На рис. 2 и рис. 3 приведены кривые $\frac{\Delta p}{\rho g R_w}$ и $\frac{h(0,0)}{R_w}$ в зависимости от β_{w0} .

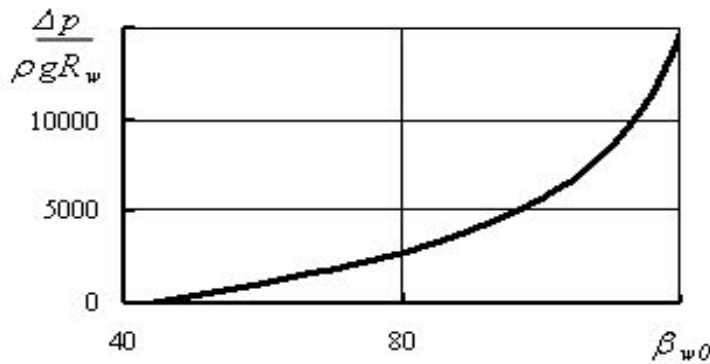


Рис. 2. Перепад давления тонкого слоя смачивающей жидкости ($\alpha = 45^\circ$) в ячейке при различных углах β_{w0} ($\beta_{n0} = 180^\circ$)

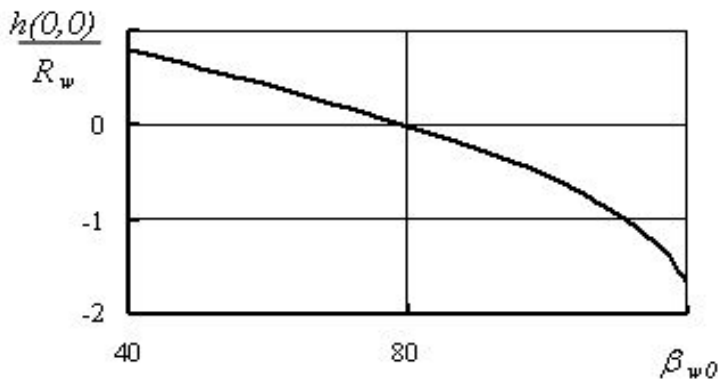


Рис. 3. Нижняя точка мениска тонкого слоя смачивающей жидкости ($\alpha = 45^\circ$) в ячейке при различных β_{w0} ($\beta_{n0} = 180^\circ$)

Из расчетов следует, что перепад давления между верхней стороной ячейки и нижней приводит к тому, что пленка, искривляясь, занимает соответствующее положение, удерживающее этот перепад.

Выводы.

1. Когда нижняя поверхность пленки займет предельное положение ($\beta_{n0} = \pi$), положение верхней поверхности будет зависеть от объема слоя, который однозначно связан с β_{w0} . На рис. 3 показано опускание нижней части верхнего мениска при $\beta_{n0} = \pi$ для различных углов β_{w0} . Соответствующее изменение перепада давления на поверхностях показано на рис. 2. Из него видно, что величина перепада довольно быстро растет. Его рост продолжается до того момента, когда нижняя часть верхнего мениска не достигнет предельной величины для нижнего мениска. Это соответствует значению угла $\beta_{w0} \approx 120^\circ$. В реальности, конечно, такое приближение менисков приводит к неустойчивости пленки и ее разрыву. Момент разрыва наступает значительно раньше, чем указанное значение угла β_{w0} . Если использовать максимальное значение, показанное на графике для перепада давления, то получим оценку перепада $\Delta p \approx 7350H/m^2$, эта величина соответствует значению $H_0/R_w \approx 15000$. Таким образом, узкий слой является достаточно прочным, чтобы выдерживать значительные перепады давлений и, соответственно, воздействие больших нагрузок.

2. Полученные аналитические решения распространяются на очень малые значения числа Бонда, которые, однако, имеют место в теории капиллярных явлений в реальных ячейках. Оценки качественно характеризуют состояния статических и медленно изменяющихся слоев жидкости в квадратных ячейках.

Полученные результаты могут найти применение при изучении различных этапов технологического процесса обезвоживания сыпучих материалов.

Список литературы: 1. Елисеев В.И. Равновесные слои жидкости в капиллярной ситовой ячейке / [В.И. Елисеев, В.И. Луценко, В.П. Надутый, И.П. Хмеленко] // Геотехническая механика. – 2008. – Вып. 74. – С. 44 – 54. 2. Надутый В.П. Результаты исследования равновесного состояния жидкости в ячейке сита обезвоживающего грохота / [В.П. Надутый, В.И. Елисеев, В.И. Луценко, И.П. Хмеленко] // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 3(55). – С. 77 – 80. 3. Финн Р. Равновесные капиллярные поверхности. Математическая теория. / Р. Финн. – М.: Мир, 1989. – 312 с. 4. Смирнов В.И. Курс высшей математики: в 5 т. / В.И. Смирнов. – М.: Наука, 1974. – Т. 2. – 656 с.

Т.В. ЗЕЛЕНЮК, гл. технолог, *А.С. ЮДИН*, директор департамента по техн. и эконом. поддержке, *Ж. ВАНДЕРСТЕН*, директор департамента по пр-ву и ремонт. работам, ПАО «Ватутинский комбинат огнеупоров», г. Ватутино, Украина,
О.Б. СКОРОДУМОВА, докт. техн. наук, зав. каф., УИПА, г. Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАКУУМИРОВАНИЯ КАОЛИНОВЫХ МАСС НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШАМОТА КУСКОВОГО

Досліджено вплив вакуум-пресування на фізико-механічні властивості каолинового шамоту. Вивчено вплив вологості каоліну та тиску пресування на міцність відформованих каолинових брикетів. Встановлено значення оптимальної вологості каоліну. Показано, що використання вакуум-пресування підвищує фізико-механічні характеристики шамоту на 5 – 7 %.

The influence of vacuum-pressing stage on the physical-mechanical properties of kaolin chamotte has been researched. It is studied the influence of kaolin moisture and compacting pressure on the strength of formed kaolin briquettes. It is established the value of optimal kaolin moisture. It is shown that vacuum-pressing use increases the physical-mechanical properties of chamotte to 5 – 7 %.

Публичное акционерное общество «Ватутинский комбинат огнеупоров» – одно из крупнейших в Украине предприятий по переработке вторичных каолинов для специализированных предприятий огнеупорного комплекса, которые производят алюмосиликатные огнеупоры для металлургии, энергетики, машиностроения, строительства, цементной промышленности.

Ватутинский комбинат огнеупоров образован на базе Новоселицкого месторождения вторичных каолинов после проведенных в 50-х годах геолого-разведывательных работ. Эксплуатация Новоселицкого карьера началась в 1963 г., а в 1982 г. было начато освоение второго месторождения – Мурзинского каолинового карьера. В 2006 г. Новоселицкое месторождение исчерпало свои запасы, и добыча ведется только в Мурзинском каолиновом карьере, который обеспечивает работу вращающихся печей комбината.

В настоящее время ПАО «Ватутинский комбинат огнеупоров» производит: шамот кусковой, каолин кальцинированный огнеупорный, порошок каолиновый, мертель, метакаолин, шамот фракционированный, в том числе порошок шамотный и шамот зернистый узкого гранулометрического состава, полученный по специальной технологии.

Шамот кусковой является основным видом продукции и производится во вращающихся печах длиной 75 м, согласно отработанным технологическим режимам по приведенной ниже технологической схеме (рис. 1).

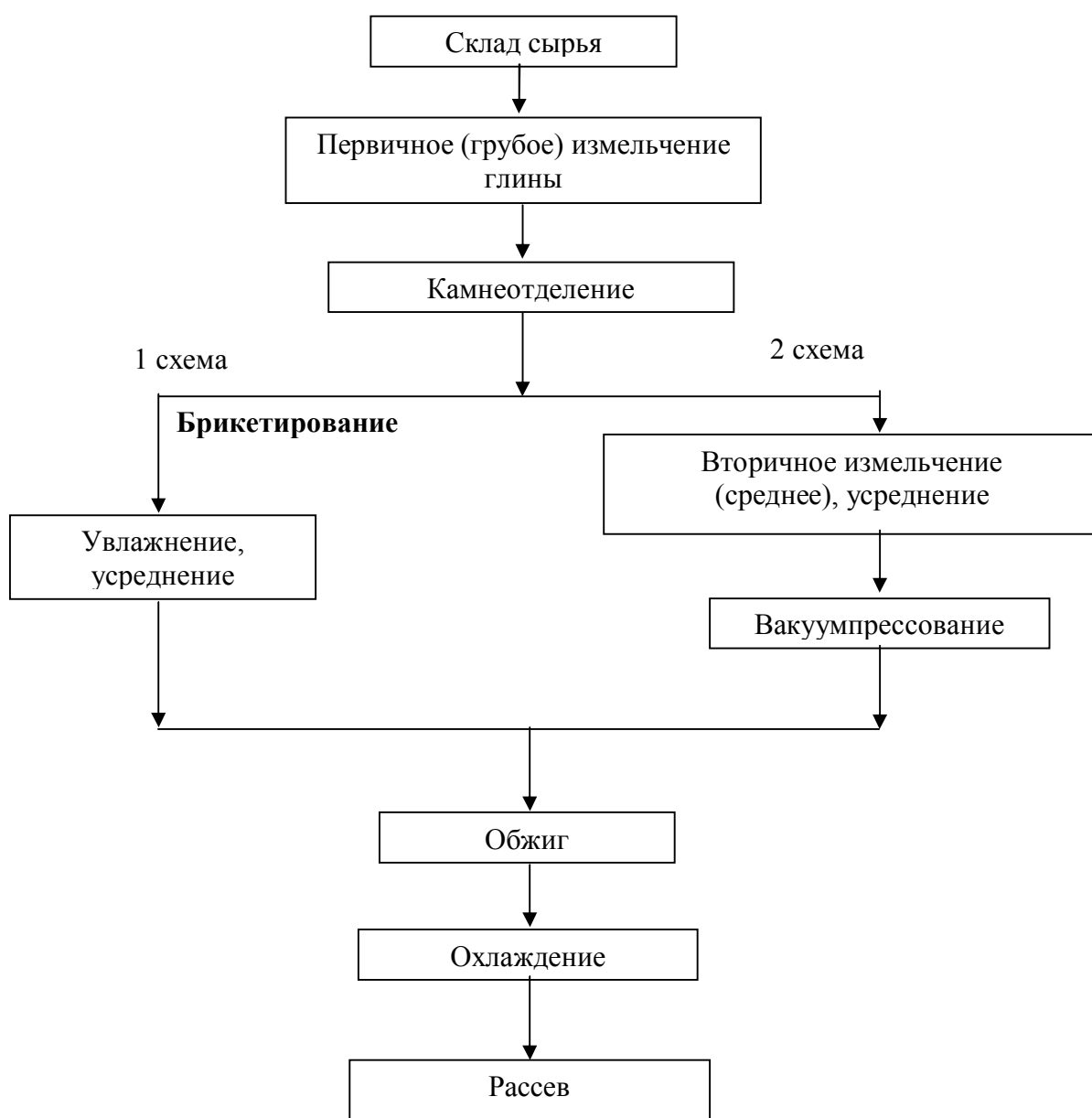


Рис. 1. Технологическая схема производства шамота

Как видно из рисунка, шамот кусковой производится по двум технологическим схемам: с использованием вакуум-пресса и без него.

Перед подачей в печь на обжиг каолин проходит несколько ступеней подготовки: первичное и вторичное измельчение, усреднение, уплотнение и вакуумирование с формированием брикетов-колбасок, если в технологический цикл включен вакуум-пресс.

Поскольку Новоселицкие и Мурзинские каолины отличаются от других

каолинов высокой дисперсностью и низкой связностью, обжиг таких каолинов во вращающихся печах связан с большим пылеобразованием, достигающим 20 %. Это приводит к дополнительным издержкам производства – пылеуносу, а также быстрому износу агрегатов пылегазового тракта. Повторное использование уловленной дегидратированной пыли в процессе обжига снижает качество шамота.

Целью работы являлось исследование влияния вакуумирования каолиновых масс на физико-механические характеристики шамота кускового. Поставленная цель достигалась решением следующих задач:

1. Определить оптимальные параметры брикетирования каолиновой массы.
2. Отработать технологию брикетирования с целью снижения пылеуноса во вращающейся печи.

Испытания по брикетированию каолина влажностью 23 – 27 % проводились на вальцовых цилиндрических прессах. Первые опыты показали, что при загрузке вращающихся печей брикетированным каолином пылеунос снижался незначительно. Для проведения дальнейших исследований, осуществляли прессование брикетов на гидравлическом прессе. Брикеты имели форму чечевицы размером 36 × 50 мм, а также цилиндрическую форму с параметрами 40 × 25 мм. Испытания сформованных брикетов каолина на предел прочности при сжатии выполнялись на специальных рычажных прессах с усилием до 70 кгс и точностью отсчета 0,5 кг. Результаты испытаний приведены в табл. 1 на рис. 2 и 3.

Таблица 1

Прочность брикетированного каолина

№ п/п	Влажность каолина, %	Предел прочности при сжатии брикетов при давлении прессования, МПа:				
		10	20	30	40	50
1	2	-	0,2	0,3	0,3	0,3
2	5	-	0,2	0,3	0,4	0,4
3	7	-	0,25	0,35	0,5	0,65
4	10	-	0,35	0,42	0,65	0,8
5	12	0,1	0,58	0,75	0,8	0,9
6	14	0,1	0,6	0,8	0,9	1,07
7	16	0,1	0,65	0,93	1,04	-
8	18	0,27	0,81	1,0	1,22	-
9	22	0,15	0,6	0,95	1,0	-

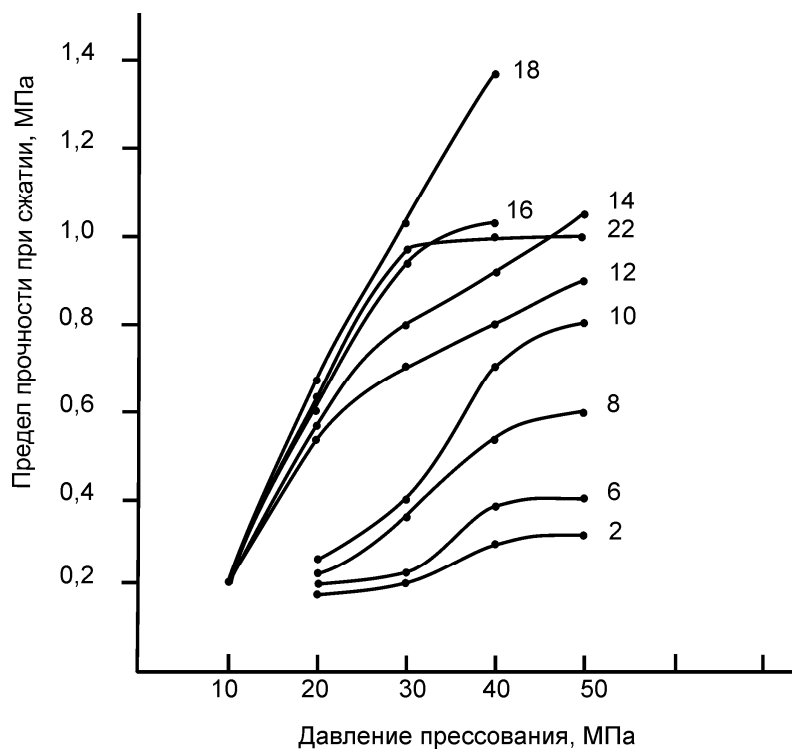


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии брикетов каолина от давления прессования (цифры на кривых – влажность каолина в процентах)

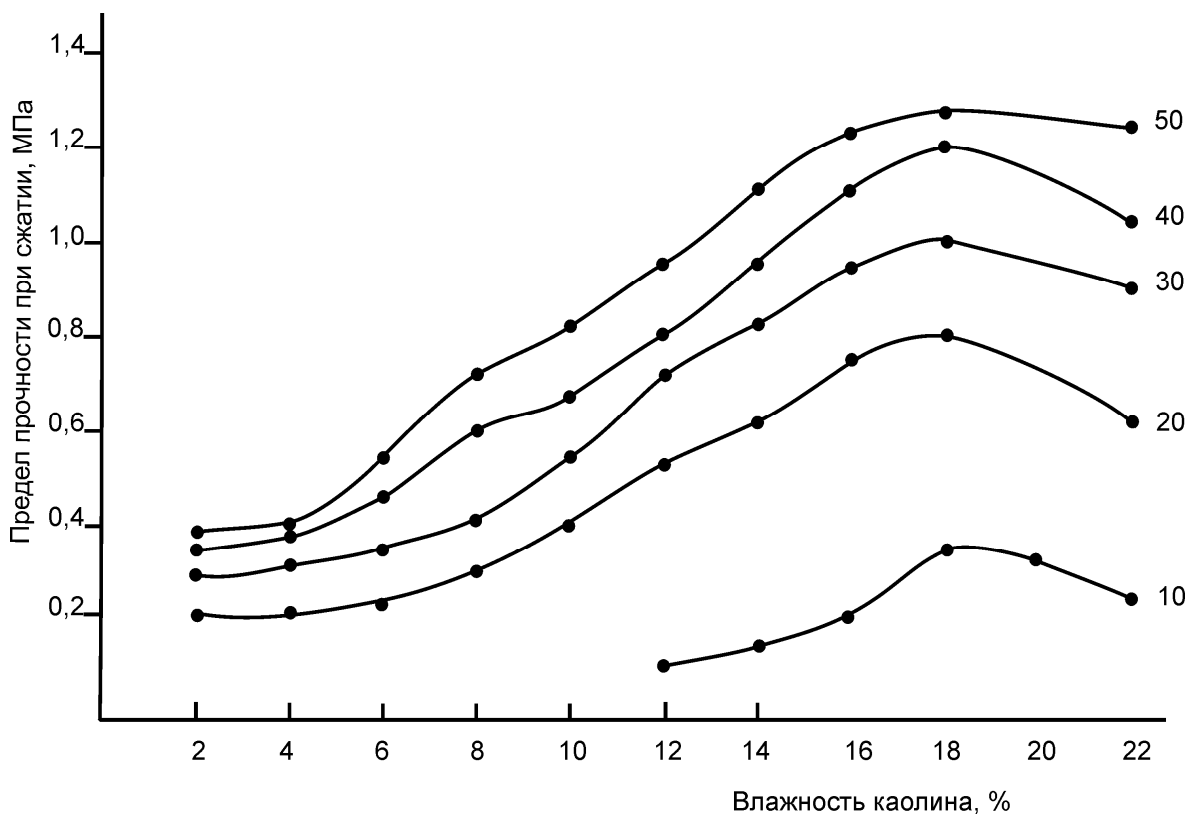


Рис. 3. Зависимость предела прочности при сжатии брикетов от влажности каолина (цифры на кривых – величина давления прессования, МПа)

При влажности каолина в пределах 2 – 8 %, прочность брикетов низка даже при усилиях прессования 40 – 50 МПа.

При повышении влажности каолина от 8 до 18 % прочность брикетов возрастает.

Увеличение влажности каолина до 20 – 22 % приводит к заметному снижению прочности брикетов, что позволяет считать 18 % оптимальной влажностью для каолина.

Брикетирование каолина, завозимого из карьера с влажностью 24 – 27 %, на вальцовых прессах малоэффективно.

Для получения прочных брикетов каолин необходимо подсушивать до влажности не более 18 %. При этом вальцовые цилиндрические брикетные прессы должны обеспечивать давление прессования 35 – 40 МПа.

В вальцовых цилиндрических прессах брикет формируется за счет подачи сырья в ячейку, образованную двумя барабанами, которые вращаются в разные стороны. Плотность брикета зависит от гранулометрического состава измельченного каолина, степени наполняемости ячейки и угла попадания сырья в ячейку. Как при недостаточном, так и при избыточном наполнении ячейки брикеты получаются некачественные, в пресс-формах развивается несоответствующее давление прессования, что отрицательно сказывается на физико-механических характеристиках каолинового брикета.

Вышеприведенные трудности вызвали необходимость решения новой задачи – поиска прессового оборудования, обеспечивающего получение однородных брикетов с постоянной массой, формой, влажностью и более простым изготовлением.

В случае производства каолина кальцинированного огнеупорного, предпочтительно включение в технологическую схему производства вакуум-пресса, обеспечивающего формирование вакуумированных брикетов-колбасок диаметром до 20 мм, длиной 30 – 40 мм, влажностью около 25 %.

Большие линейные размеры брикетов приводят к их разрушению при сушке и образованию избыточного количества пыли.

Пресс СМК-217 предназначен для работы на массах нормальной формовочной влажности с давлением прессования до 1,6 МПа. В процессе его работы осуществляются операции перемешивания, доувлажнения, вакуумирования, формования и прессования и каолиновой массы.

В табл. 2 и 3 приведены результаты определения физико-механических характеристик шамота кускового ШКМ-4 с содержанием алюминия не менее

33 % и каолина кальцинированного марки ШК-44 с содержанием алюминия не менее 44 %. Анализ результатов исследований показывает повышение физико-механических характеристик шамота на 5 – 7 % при использовании вакуум-пресса.

Таблица 2

Результаты определения физико-механических характеристик шамота кускового

Марка шамота	Водопоглощение, %	Каж. плотность, г/см ³	Открытая пористость, %	Гранулометрический состав, %		
				> 6 мм	> 3 мм	< 0,5 мм
ШКМ-4	5,9	2,20	13,1	20,5	18,0	6,5
	5,9	2,21	13,0	25,1	8,3	4,2
	5,6	2,20	12,2	21,0	6,0	7,0
	6,4	2,18	14,0	20,0	5,0	7,0
Требования ТУ	Не более 6,0	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	Не более 30,0
Требования контракта	Не нормируется	Не менее 2,49	Не более 7	Не нормируется	Не нормируется	Не более 15

Таблица 3

Результаты определения физико-механических характеристик каолина кальцинированного

Марка шамота	Водопоглощение, %		Каж. плотность, г/см ³		Открытая пористость, %		Гранулометрический состав, %					
	с ВП	без ВП	с ВП	без ВП	с ВП	без ВП	> 6 мм		> 3 мм		< 0,5 мм	
ШК-44	2,4	2,8	2,49	2,49	5,98	7,03	21	7	27	14	6	18
	2,6	2,7	2,5	2,49	6,5	6,72	6	7	11	12	5	18
	2,5	2,6	2,5	2,49	6,24	6,57	2	7	20	13	12	9
	2,7	2,6	2,49	2,5	6,23	6,5	19	23	16	11	13	26

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что уплотнение и вакуумирование каолиновых масс перед обжигом во вращающейся печи улучшает физико-механические показатели шамота кускового: увеличивается кажущаяся плотность и уменьшается открытая пористость гранул, гранулометрический состав меняется в сторону укрупнения. Достигнутые параметры позволяют производить продукцию более высокого качества с более узкими параметрами, соответствующими требованиям контрактов по экспорту.

О.А. КОРНИЕНКО, мл. научн. сотрудн.,
ИПМ НАНУ им. И.Н. Францевича, г. Киев

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И СВОЙСТВА ФАЗ В СИСТЕМЕ $\text{CeO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$ ПРИ 1100 °С

Уперше вивчені фазові рівноваги в системі $\text{CeO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$ при температурі 1100 °З в усьому інтервалі концентрацій. Нових фаз в системі виявлено не було. У системі існують області твердих розчинів на основі кубічних (З і F) модифікацій оксидів рідкоземельних елементів.

First there have been studied phase equilibria in the system $\text{CeO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$ at 1100 °C in the full range of concentrations. No new phases were found. The fields of solid solutions based on cubic (C and F) modifications of rare-earth oxides were revealed in the system.

Система с оксидами церия и гадолиния является перспективной для разработки альтернативных материалов теплозащитных покрытий и топливных ячеек [1, 2].

Легированный диоксид церия является многообещающим материалом для применения в качестве твердого электролита в кислородных газовых датчиках и твердооксидных топливных ячейках.

Его также можно использовать для управления соотношением топливо – воздух в автомобильных выхлопах.

Оксид церия обладает более высокой ионной проводимостью в сочетании с низкой энергией активации по сравнению с легированным диоксидом циркония.

Это обеспечивает функционирование устройств при температурах ниже 800 °С, что, в свою очередь, дает возможность более гибкого дизайна в подборе материалов для электродов и соединяющих элементов.

Кроме того, эта система может быть широко использована в ядерной энергетике для создания безопасных и надежных технологий утилизации отходов атомной промышленности и развития нового поколения реакторов [3, 4].

Диаграмма состояния системы на основе оксидов церия и гадолиния представляет интерес как с научной, так и практической точки зрения.

Имеющиеся в литературе сведения о фазовых равновесиях в системе

$\text{CeO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$ содержат противоречивую информацию [5, 6].

Поэтому изучение фазовых равновесий в двойной системе $\text{CeO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$ является актуальным и требует дополнительных исследований.

Ранее были изучены фазовые равновесия, в указанной системе, при температуре 1500 °С.

Установлено, что в системе образуются три типа твердых растворов: кубической структуры на основе флюорита F- CeO_2 и C- Gd_2O_3 , а также моноклинной В модификации Gd_2O_3 , которые разделены двухфазными полями (F+C) и (C+B) [7].

Цель настоящей работы – изучение взаимодействия и физико-химических свойств, образующихся фаз в двойной системе $\text{CeO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$ при температуре 1100 °С.

В качестве исходных веществ использовали азотнокислую соль церия $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ марки Ч, азотную кислоту марки ЧДА и Gd_2O_3 марки ГДО-1 с содержанием основного компонента не менее 99,99 %.

Образцы готовили с концентрационным шагом 1-5 мол. % из растворов нитратов выпариванием с последующим разложением нитратов на оксиды путем прокаливании при 1200 °С в течение 2 ч.

Порошки прессовали в таблетки диаметром 5 мм и высотой 4 мм под давлением 10 МПа. Образцы подвергали термообработке в печи с нагревателями Н23У5Т (фехраль) при 1100 °С (10813 ч) на воздухе.

Скорость подъема температуры составляла 3,5 град/мин.

Фазовый состав образцов исследовали методами рентгеновского и микроструктурного анализов.

Рентгенофазовый анализ образцов выполняли методом порошка на установке ДРОН-1,5 (CuK_α -излучение) при комнатной температуре.

Скорость сканирования составляла 1 – 4 град/мин в диапазоне углов $2\theta = 15 - 80^\circ$.

Периоды кристаллических решеток рассчитывали методом наименьших квадратов, используя программу LАТТІС, с погрешностью не ниже 0,0004 нм для кубической фазы.

Состав образцов контролировали с помощью спектрального и химического анализов выборочно.

Изучение твердофазного взаимодействия CeO_2 (тип флюорита, F) и Gd_2O_3 (кубическая модификация оксидов редкоземельных элементов, С) при температуре 1100 °С показало, что в системе $\text{CeO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$ образуются два ти-

па твердых растворов: кубической структуры на основе флюорита F-CeO₂ и C-Gd₂O₃ которые разделены двухфазным полем (F + C) (рисунок).

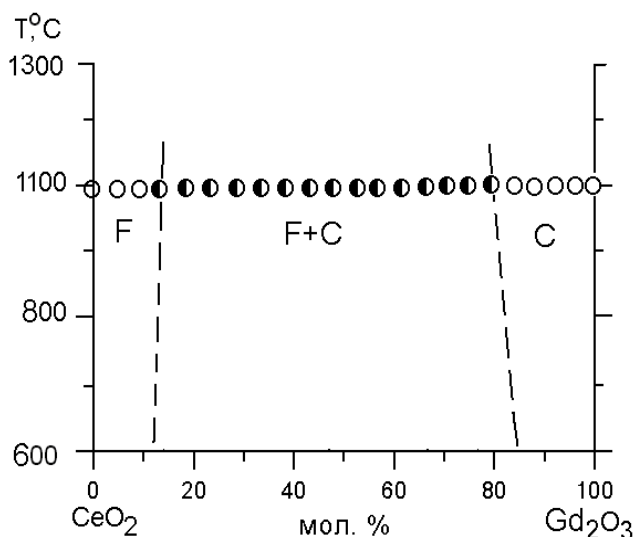


Рисунок – Фазовые равновесия системе CeO₂-Gd₂O₃ при 1100 °С
(○ – однофазные, ● – двухфазные образцы).

Исходный химический и фазовый состав образцов, обожженных при 1100 °С, периоды кристаллических решеток фаз, находящихся в равновесии, приведены в таблице. При 1100 °С границы областей гомогенности твердых растворов на основе F-CeO₂ и C-Gd₂O₃ определяются составами, содержащими 0 – 15, 80 – 100 мол. % Gd₂O₃, соответственно (таблица).

Растворимость Gd₂O₃ в F- модификации CeO₂ составляет 15 мол. %.

Параметр элементарной ячейки увеличивается от $a = 0.5409$ нм для чистого CeO₂ до $a = 0.5414$ нм для образца, который содержит 15 мол. % Gd₂O₃.

Установлено, что при 1100 °С оксид гадолиния кристаллизуется в кубической С модификации оксидов РЗЭ, что согласуется с данными [8].

Параметры элементарной ячейки С-фазы изменяются от $a = 1.07090$ нм для чистого Gd₂O₃ до $a = 1.0772$ нм для состава, содержащего 20 мол. % CeO₂ и 80 мол. % Gd₂O₃.

Обозначения фаз: <C> – твердые растворы на основе кубической модификации оксидов редкоземельных элементов Gd₂O₃; <F> – твердые растворы на основе кубической модификации со структурой типа флюорита CeO₂.

Другие условные обозначения: осн. – фаза, которая составляет основу, сл. – следы фазы, ↑ – количество фазы увеличивается, ↓ – количество фазы уменьшается.

Таблица

Фазовый состав и параметры элементарных ячеек фаз после обжига образцов системы
CeO₂-Gd₂O₃ при 1100 °С, 10813 ч (по данным РФА)

Химический состав, мол. %		Фазовый состав	Параметры элементарных ячеек фаз, нм ($a \pm 0.0002$)	
CeO ₂	Gd ₂ O ₃		<F>	<C>
0	100	<C>	-	1.0790
1	99	<C>	-	1.0782
2	98	<C>	-	1.0784
3	97	<C>	-	1.0766
4	96	<C>	-	1.0765
5	95	<C>	-	1.0780
10	90	<C>	-	1.0784
15	85	<C>	-	1.0772
20	80	<C> + <F>	0.5397	1.0795
25	75	<C> + <F>	0.5409	1.0785
30	70	<C> + <F>	0.5397	1.0795
35	65	<C> + <F>	0.5392	1.0794
40	60	<C> + <F>	0.5397	1.0762
45	55	<C> + <F>	0.5397	1.0805
50	50	<C> + <F>	0.5403	1.0807
55	45	<C> + <F>	0.5403	1.0803
60	40	<C> + <F>	0.5408	1.0819
65	35	<C> + <F>	0.5409	1.0831
70	30	<F> _{осн.} + <C> _{сл.} ↓↓	0.5406	-
75	25	<F> _{осн.} + <C> _{сл.} ↓↓	0.5414	-
80	20	<F> + <C> _{сл. незн.}	0.5416	-
85	15	<F> + <C> _{сл. незн.}	0.5414	-
90	10	<F>	0.5415	-
95	5	<F>	0.5411	-
100	0	<F>	0.5409	-

Выводы:

Изучены фазовые равновесия в системе CeO₂-Gd₂O₃ во всем концентрационном интервале при температуре 1100 °С.

Никаких упорядоченных фаз типа пирохлора не наблюдали.

Для исследованной системы характерно образование ограниченных твердых растворов на основе кристаллических модификаций исходных компонентов.

Автор выражает признательность Украинскому Государственному Фонду Фундаментальных Исследований за финансовую поддержку настоящей работы (грант "ДФФД-РФФИ-2009" № Ф28.3/030 по договору Ф28/252-2009; I-7-09).

Список литературы: 1. *Xiwang Q.I.* Electric conductivity and permeability of modified cerium oxides / [Q.I. Xiwang, Y.S. Lin, C.T. Holt, S.L. Swartz] // J. Mater. Sci. – 2003. – Vol. 38. – P. 1073 – 1079. 2. *Yen-Pei Fu.* Preparation and characterization of $Ce_{0.8}M_{0.2}O_{2-\delta}$ (M=Y, Gd, Sm, Nd, La) solid electrolyte materials for solid oxide fuel cells / *Yen-Pei Fu, Sih-Hong Chen, Jyun-Jyun Huang* // International Journal of hydrogen energy – 2010 – Vol. 35. – 745 – 752. 3. *Dudek Magdalena.* Ceramic oxide electrolytes based on CeO_2 – Preparation, properties and possibility of application to electrochemical devices / *Magdalena Dudek* // Journal of the European Ceramic Society. – 2008. – № 28. – P. 965 – 970. 4. *Tianshu Zhang.* Ionic conductivity in the CeO_2 - Gd_2O_3 system ($0.05 \leq Gd / Ce \leq 0.4$) prepared by oxalate coprecipitation / [Zhang Tianshu, Peter Hing, Haitao Huang, J. Kilner] // Solid State Ionics. – 2002. – Vol. 148. – P. 567 – 573. 5. *Stelzer N.* Phase Diagram of Nonstoichiometric 10 mol % Gd_2O_3 -Doped Cerium Oxide Determined from Specific Heat Measurements / *N. Stelzer, J. Nölting, I. Riess* // Journal of Solid State Chemistry. – 1995. – Vol. 117. – Iss. 2. – P. 392 – 397. 6. *Grover V.* Phase relations, lattice thermal expansion in CeO_2 - Gd_2O_3 system, and stabilization of cubic gadolinia / *V. Grover, A.K. Tyagi* // Materials Research Bulletin. – 2004. – Vol. 39. – P. 859 – 866. 7. *Корниенко О.А.* Взаимодействие и свойства фаз в системе CeO_2 - Gd_2O_3 при 1500 °С / *О.А. Корниенко* // Вестник НТУ «ХПИ» – 2009. – № 45.– С. 86 – 90. 8. *Traverse J.P.* Etude du Polymorphisme des sesquioxides de terres rares / *J.P. Traverse.* – Grenoble: These, 1971. – 150 p.

Поступила в редколлегию 5.07.10

УДК 531.31.01.85

Д.Ю. КОСТРОМИЦКИЙ, аспирант, **Э.П. ЛЕВЧЕНКО**, канд. техн. наук, зав. кафедрой, ДонГТУ, г. Алчевск, Украина

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ С ОБРАБОТКОЙ ДАНЫХ В СИСТЕМЕ STATISTICA

Наведені результати теоретичних досліджень, описання багатofакторного експерименту с подальшої математичної обробки результатів, відомими методами математичної статистики. Обробка даних двох-fакторного експерименту у системі *STATISTICA*.

Results of theoretical investigations, description of complex experiment from further mathematical processing of results with the help of well-known methods of mathematical statics are given. Data processing of bifactorial experiment in the system *STATISTICA*.

При использовании дробильно-измельчительных машин в различных областях промышленности, приоритетным направлением является снижение энергозатрат на переработку материала и повышение качества готового продукта [1].

Исследование технологического процесса дробления аглоспека обычными методами практически неосуществимо, так как вмешательство в непрерывный процесс агломерации и в целом выплавки металла не представляется возможным по причинам экономического характера, обусловленными значительными объемами производства и потерями из-за его остановки для проведения экспериментов [2].

Значительная роль в оптимизации процесса разрушения агломерата отводится теоретическим методам исследований, например, моделированию с последующей апробацией полученных результатов в реально действующем производстве [3].

Для минимизации потерь возможно применение многофакторных исследований с последующей математической обработкой результатов известными методами математической статистики [2].

Определение удельных затрат энергии на разрушение аглопирога.

Зависимость удельной работы на единицу массы дробленного аглопирога $P_{др}$ от размера зазора колосников дробилки h и подачи материала в дробильную камеру q задается формулой: $q = G/t$, где G – масса дробленного аглопирога, ($кг$); t – продолжительность дробления ($с$).

В общем виде зависимость удельной работы записывается так $P_{др} = f(h; q)$.

Предполагая, что $P_{др}$ линейно зависит от факторов процесса, экспериментальные данные можно выразить в виде уравнения регрессии, в котором помимо линейных членов присутствует член, учитывающий эффект парного межфакторного взаимодействия [4]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 \quad (1)$$

где y – значение выхода (т.е. $P_{др}$); x_1, x_2 – кодированные значения факторов; b_0, b_1, b_2, b_{12} – коэффициенты уравнения регрессии, рассчитываемые по экспериментальным данным.

Необходимо задаться уровнями (верхний уровень – “+1”, нижний “-1”) и интервалами варьирования факторов в эксперименте (табл. 1).

Таблица 1

Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Уровни варьирования			Интервалы варьирования
	-1	0	+1	
$h = x_1, \text{ м}$	0,15	0,18	0,21	0,3
$q = x_2, \text{ кг/с}$	45,6	55,6	65,6	10

Затем составляется план эксперимента (табл. 2).

Таблица 2

План полнофакторного эксперимента для двух факторов

№ опыта	x_1	x_2	$x_1 x_2$	№ повт.	λ	$P, \text{ кВт}$	$y_i, \text{ Вт}\cdot\text{с/кг}$
1	-1	-1	+1	1	9,5	3,01	6,948
				2	9,47	3,1	7,178
				3	9,61	3,05	6,96
2	-1	+1	-1	1	9,5	3,2	5,134
				2	9,71	3,1	4,866
				3	9,47	3,15	5,07
3	+1	-1	-1	1	12,1	2,5	4,53
				2	12,07	2,45	4,451
				3	12,15	2,55	4,602
4	+1	+1	+1	1	12,07	2,8	3,536
				2	12,05	2,74	3,466
				3	12,1	2,81	3,54

В первом опыте устанавливаются колосники с зазором (-1) и задается подача (-1).

Во втором опыте колосники с зазором (-1), а подача (+1) и т.д.

Повторность каждого опыта 3-х кратная ($m = 3$).

Опыты проводятся в случайном порядке.

По каждому опыту рассчитывается среднее значение выхода:

$$y_{i\text{cp}} = y_{i1} + y_{i2} + y_{i3} / m.$$

Значение выхода y_i рассчитывается по следующей формуле [4]:

$$y_i = P/q \cdot \lambda \quad (2)$$

где P – значение мощности расходуемой на дробления аглопирога, кВт;
 q – секундная подача аглопирога, кг/с; λ – степень дробления.

С более подробным и полным описанием многофакторного эксперимента, можно ознакомиться в соответствующей литературе [4, 5, 6].

Обработка экспериментальных данных в системе STATISTICA. Создаем файл данных, в котором будет проводиться расчет. Для этого в ячейки столбцов, вводятся кодированные значения варьируемых факторов (табл. 1, значения $x_1, x_2, y_{i1}, y_{i2}, y_{i3}$).

Система STATISTICA позволяет достаточно быстро определить такие статистические параметры, как *среднее значение, стандартное отклонение и т.д.* Выделяем блок значений, столбцы $Y1, Y2, Y3$, затем команду – **Блочные статистики/По строкам/Среднее**. Появится дополнительный столбец, средние величины значений (т.е. $y_{i\text{cp}}$), подсчитанные по строкам (рис.1).

	1	2	3	4	5	6
	X1	X2	Y1	Y2	Y3	Ср.пер. 3-5
1	-1,000	-1,000	6,948	7,178	6,960	7,0287
2	1,000	-1,000	5,134	4,866	5,070	5,0233
3	-1,000	1,000	4,530	4,451	4,602	4,5277
4	1,000	1,000	3,536	3,466	3,540	3,5140
5						

Рис. 1. Результаты расчета средней величины

Определение коэффициентов уравнения регрессии. Выбираем статистический модуль, затем *Углубленный метод анализа/Нелинейное оценивание*. Затем метод *Регрессия пользователя – произвольная функция потерь*. В этом окне (рис. 2), задаем оцениваемую функцию (записать уравнение (1)), заменяя переменные y, x_1, x_2 буквами V6, V1, V2 соответственно. После чего, нажимая **ОК**, возвращаемся в предыдущее окно.

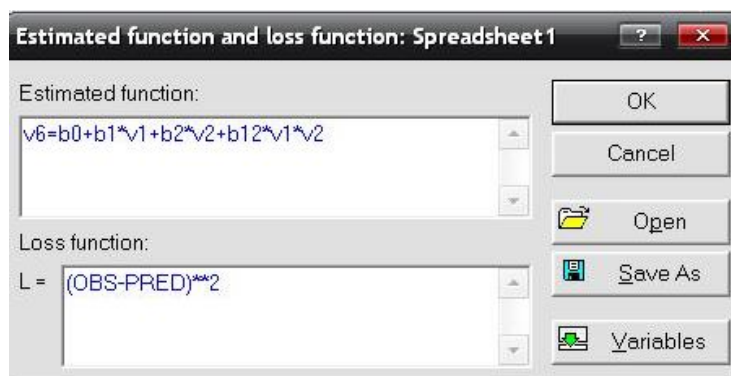


Рис. 2. Параметрическое задание оцениваемой функции

Затем еще раз нажимаем **ОК**, появится окно **Оценивание модели**, выбираем **Квази-Ньютоновский метод**, нажимаем **ОК**. В появившемся окне можно наблюдать за вычислениями. После этого, нажимаем **ОК**, и откроется окно **Результаты**. В данном окне нажимаем **ОК** появляется окно, в котором представлены значения оцениваемых параметров – b_0 , b_1 , b_2 , b_{12} – коэффициентов регрессии (рис. 3).

Workbook1*		Model: v6=b0+b1*v1+b2*v2+b12*v1*v2 (Spreadsheet1)			
Nonlinear Estimation (Spre		Dep. var: Cp.пер. 3-5 Loss: (OBS-PRED)**2			
Nonlinear estimation res		Final loss: 0,000000000 R=1,0000 Variance explained: 100,00%			
Model: v6=b0+b1*v		b0	b1	b2	b12
N=4					
Estimate	5,023417	-0,754750	-1,00258	0,247917	

Рис. 3. Окно с полученными значениями коэффициентов регрессии

После этого возможно просмотреть полученные результаты в **графическом виде**. Для этого нажимаем кнопку **Подробнее**, расположенную в **Окне результатов оценивания функции**. В этом окне нажимаем кнопку **Построение 3D графиков**.

Появится графическое изображение исследуемой функции (рис. 4).

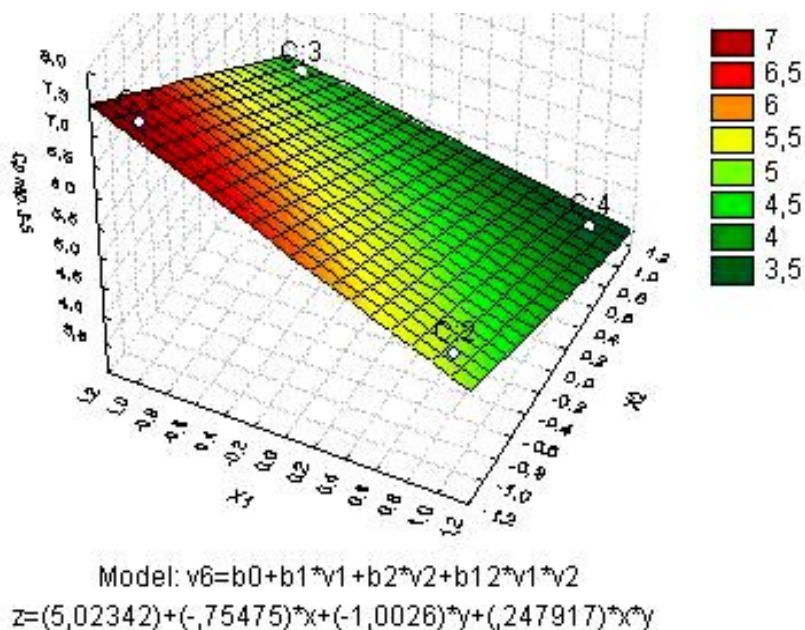


Рис. 4. График рассчитанного уравнения регрессии

Выводы.

При обработке экспериментальных данных в системе **STATISTICA**, необходимо лишь задаться:

- уравнением регрессии; уровнями и интервалами варьирования факторов в эксперименте;

- составить план эксперимента и рассчитать значение выхода y_i , формула (2).

Что значительно упрощает (делает безошибочным) и ускоряет процесс расчета планирования эксперимента.

По полученным графическим зависимостям в системе *STATISTICA*, можно выполнить анализ проведенных исследований и сделать соответствующие выводы.

Возможно решение следующих задач [2]:

- математическое моделирование процесса дробления агломерата;
- получение зависимостей, отображающих влияние разных факторов на технико – экономические характеристики получения агломерата;
- оптимизация параметров технологического процесса дробления; усовершенствование параметров рабочей зоны дробилки.

Список литературы: 1. Левченко Э.П. Моделирование параметров центробежно-ударной дробильно-измельчительной машины. / Э.П. Левченко // *Машинознание і деталі машин: 7-ої регіональної научно-методичної конференції: матеріали.* – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – С. 37 – 38. 2. Левченко О.А. Проблемы дробления и моделирования процесса дробления горячего агломерата / О.А. Левченко // *Сборник научных трудов ДонГТУ.* – 2005. – Вып 19. – С. 178 – 186. 3. Левченко О.А. Перспективы управления качеством дробного агломерата / О.А. Левченко // *Машинознание і деталі машин: 7-ої регіональної научно-методичної конференції: матеріали.* – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – С. 36 – 37. 4. Механизация и технология животноводства: методические указания лабораторной работе. – Барнаул: АГАУ, 2009. – 28 с. 5. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Л.: Колос, Ленингр. отделение, 1960. – 168 с. 6. Славутский Л.А. Основы регистрации данных и планирования эксперимента: учебное пособие / Л.А. Славутский/ – Чебоксары: Изд-во ЧГУ, 2006. – 200 с.

Поступила в редколлегию 15.06.10

Э.С. ГЕВОРКЯН, докт. техн. наук, проф., УкрГАЗТ, г. Харьков
О.М. МЕЛЬНИК, аспирант, УкрГАЗТ, г. Харьков

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ НАНОПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ Al_2O_3 -WC ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Розглянуті процесі гарячого пресування керамічних порошоків. Визначені оптимальні параметри спікання нанопорошків. Було виявлено, що для отримання щільних керамічних матеріалів треба контролювати швидкість піднімання температури.

Ceramic nanopowders hot pressing process investigated . Was find some ceramic nanopowders hot pressing sintering optimal parameters. For getting tick ceramic materials need to control temperature speed increasing.

В настоящее время существуют различные эффективные методы консолидации нанопорошков, которые позволяют получить материалы с наноразмерной структурой. Эти методы, такие как горячее изостатическое прессование (HIP), спекание высокочастотным индукционным нагревом (HFJHS), быстрого компактирования (ROC), спекание в пульсирующей плазме (PPS), сверхвысокого скоростного горячего прессования (UPRC) достаточно хорошо и полно описаны в работах [1 – 5]. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки для спекания моно и полидисперсных электропроводящих и электроизоляционных нанопорошков (табл. 1). Так широко применяемый в настоящее время SPS (Spark Plasma Sintering) метод позволяет получить наноструктурные материалы из тугоплавких соединений, как например, Al_2O_3 , SiC, B_4C , $MoSi_2$ [6].

В разработанном нами методе консолидации нанопорошков тугоплавких соединений при горячем прессовании используются переменные токи 1500 – 2000 А при напряжении 5 – 10 В (рис. 1) [7].

При помощи данной установки был получен материал из нанопорошков монокристалла вольфрама, который нашел применение в качестве инструментального [8]. Однако немалый интерес представляет исследование и другого наиболее часто используемого инструментального материала как оксид алюминия. В основе подавляющей части инструментальных керамических материалов, которые используются в настоящее время используется именно ок-

сид алюминия, который обладает высокой твердостью, химической устойчивостью при высоких температурах.

Таблица 1

Сравнительные характеристики некоторых методов консолидации нанопорошков

Процесс	Температура спекания, °С	Приблизительный размер изделия, м	Давление прессования, МПа	Сложные детали	Капитальные затраты
Электроконсолидация	2500	0,20	70	да	низкие
Горячее изостатическое прессование	2000	1,25	300	да	очень высокие
Ceracop	1500	0,40	400	трудно	средние
Rapid Omnidirectional Compaction	1500	0,40	900	трудно	высокие

Как правило в качестве второго компонента для инструментальных керамических композиционных материалов используется карбид титана, который повышает прочность и трещиностойкость материала. Хотя монокарбид вольфрама имеет более высокую твердость и применяется как основной материал для металлокерамических режущих материалов, так называемых твердых сплавов, он практически не применяется в качестве второго компонента в керамических инструментальных композитах, разработанных ранее.

На наш взгляд ограниченное применение монокарбида вольфрама объясняется некоторой сложностью получения вольфрамового сырья, а также возможностью образования соединения W_2C , который снижает прочность материала. Однако следует предположить, что использование нанопоршковых соединений может дать совершенно другой эффект. Но в этом случае возникает другая проблема, это возможность равномерного смешивания нанопорошков. С этой целью нами была разработана специальная вакуумная камера, куда под давлением 5 – 20 атм, подавался инертный газ аргон, благодаря этому происходило равномерное смешивание. Известно, что кислород отрицательно влияет на свойства монокарбида вольфрама. Эксперименты мы начали путем смешивания равного по массе монокарбида вольфрама и оксида алюминия. В объемном отношении количество оксида алюминия почти в четыре раза больше, чем монокарбида и составляет 75 %.

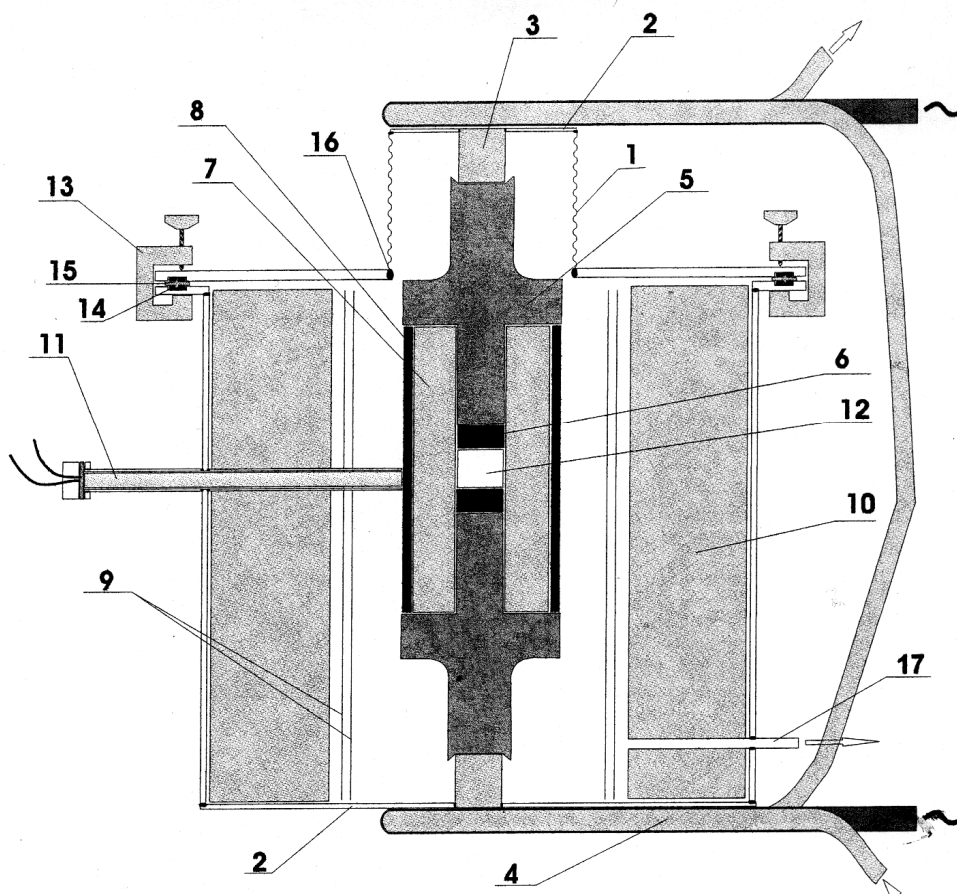


Рис. 1. Схема установки горячего прессования с использованием переменного тока с частотой 50 Гц:

- 1 – сильфон Х18Н10, 2 – фланцы Х18Н10Т, 3 – медные тоководы,
- 4 – водоохлаждаемые тоководы, 5 – пуансоны из графита МПГ-7,
- 6 – прокладка из графитового листа, 7 – разборная пресс-форма МПГ-7,
- 8 – втулка из УУКМ, 9 – экраны из молибденовой жести, 10 – теплоизоляция,
- 11 – термопара ВР-5/20, 12 – образец, 13 – зажимы из диэлектрика,
- 14 – резиновая прокладка, 15 – прокладка из диэлектрика,
- 16 – вакуумная сварка стыков, 17 – вакуумный ввод

Для изготовления пластин использовались импортные порошки монокарбида вольфрама производства Wolfram (Австрия), полученные плазмохимическим методом и нанопорошки оксида алюминия 60 – 80 нм производства компании Infarmat (США) (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав нанопорошка α - Al_2O_3 (Infarmat, США)

Элемент	Fe	Si	Mg	Cu	Na
Содержание, мас. %	0,009	0,15	0,001	<0,001	0,008

Известно, что конструкция прессов для горячего прессования определяется способом нагрева и приложения давления, температурами прессования, необходимостью использования защитной газовой среды или вакуума и рядом других факторов.

Важнейшим фактором является правильный подбор режимов горячего прессования, это температура спекания, приложенное давление, время и скорость подъема температуры.

Все эти факторы существенно влияют на окончательные свойства материала.

Многочисленные эксперименты позволили подобрать оптимальные режимы горячего прессования (рис. 2).

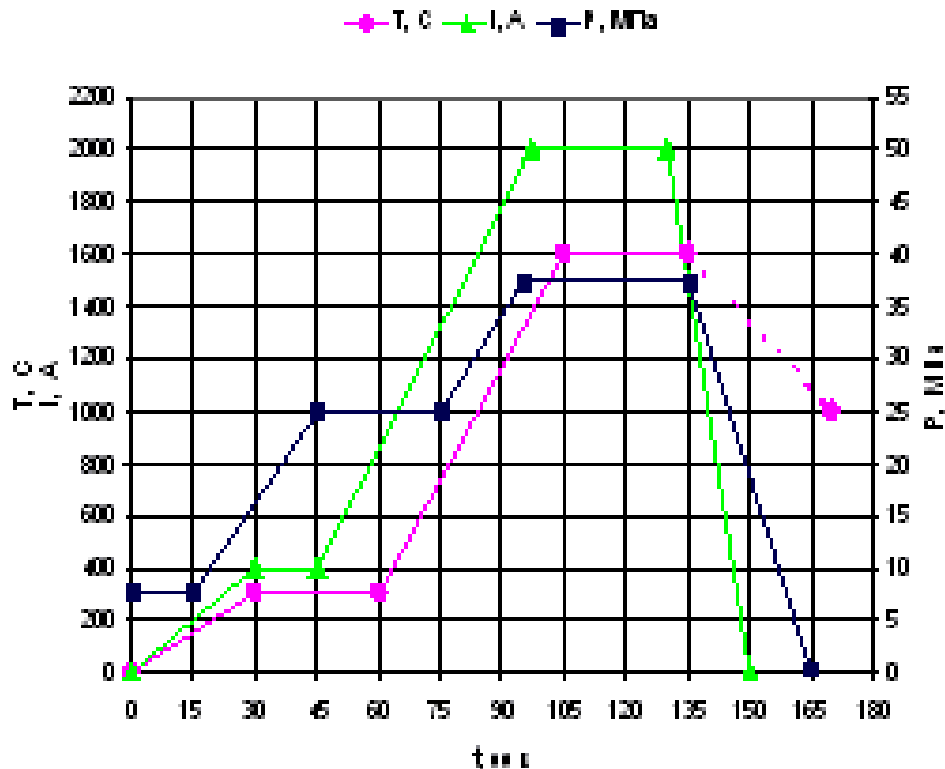


Рис. 2. Режимы горячего прессования смеси Al_2O_3 -WC

Проведенные исследования позволили получить материалы с новым уровнем физико-механических свойств.

При этом снизить температуру спекания и время выдержки, что позволяет интенсифицировать процесс получения материалов за счет скорости подъема температуры, самой температуры спекания и времени выдержки.

При этом подавляется рост зерна, что в конечном итоге благоприятно сказывается на физико-механических характеристиках полученных материала-

лов из керамических нанопорошков.

Нанопорошки керамических составов (часто весьма сложных) обладают метастабильностью структурно-фазового состояния, развитой удельной поверхностью и вследствие этого высокой поверхностной активностью, склонностью к агломерированию.

Метод компактирования нанопорошков прямым пропусканием электрического тока обеспечивает равномерное распределение плотности в прессовках сложной формы без применения каких-либо пластификаторов, являющихся потенциальными источниками примесей и дополнительной пористости в спекаемых изделиях.

В прессовках минимизируются внутренние напряжения и макродефекты (расслоения, трещины и т. п.), тем самым исключаются зародыши возникновения таких макродефектов и при спекании прессовок нанокompозитов.

Экономическая эффективность результатов исследований заключается в повышении качества и эксплуатационных характеристик изделий (пластичности и твёрдости совместно с прочностью, износостойкости, равномерности плотности, электрофизических свойств и т.п.) вследствие формирования наноструктуры в спечённой керамике, исключения пластификаторов в технологии; в повышении экономичности технологического процесса за счёт применения серийного оборудования, сокращения числа операций, энерго- и трудоёмкости процесса.

Применение метода получения изделий из нанодисперсных порошков с размером зерна 60 – 80 нм прямым пропусканием тока позволяет получить высокоплотные материалы, как из проводящих электрический ток порошков, так и непроводящих (рис. 3).

Спекание проводили в графитовых формах при температуре 1600 °С и давлении 45 МПа. Весь процесс нагрева занимает 8 – 10 мин., т. е. скорость подъема температуры составляла 150 – 200 °С/мин.

Твердость полученных образцов составила HRA 92...95, трещиностойкость $K_{Ic} = 8 - 10 \text{ МПа м}^{1/2}$, что говорит о том, что данный материал не уступает наиболее популярной инструментальной керамике ВOK71 (71 % Al_2O_3 ; 21 % TiC ; 9 % ZrO_2), который получается индукционным способом горячего прессования.

Из рис. 4 видно, что наибольшей трещиностойкостью обладает материал, содержащий Al_2O_3 в смеси 50 мас. %.

Пористость этой смеси уже при 1100 °С уже близка к нулю.

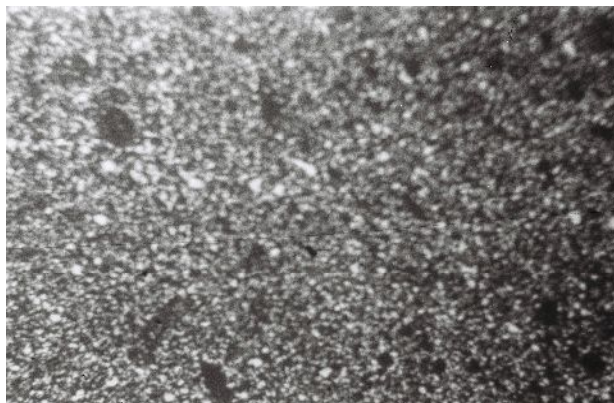


Рис. 3. Структура керамики Al_2O_3 – 50 мас. % WC, полученной при $T=1600\text{ }^\circ\text{C}$ и $P = 45\text{ МПа}$

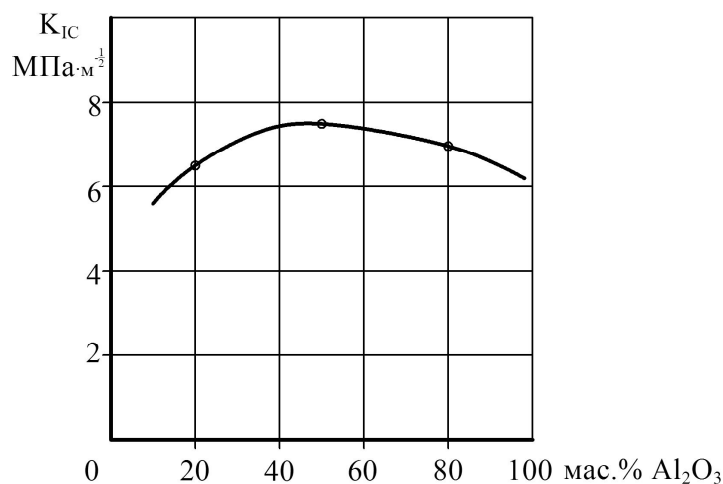


Рис. 4. Зависимость трещиностойкости материала от процентного содержания оксида алюминия в смеси с монокарбидом вольфрама

Одной из особенностей спекания тугоплавких соединений является низкая диффузионная подвижность, которая затрудняет достижение требуемой для инструментальной керамики нулевой пористости.

Обычно для активации спекания тугоплавких соединений используют различные активаторы.

В случае химического активирования вводятся различные добавки, которые создают жидкую фазу.

Этот процесс имеет ряд особенностей и не всегда целесообразен при изготовлении инструментальной керамики в связи с тем, что жидкая фаза снижает твердость и износостойкость материала.

Применение метода горячего прессования с прямым пропусканием переменного тока (электроконсолидации) при получении оксидной керамики позволяет снизить температуру спекания и получить материал с плотностью,

близкой к теоретической.

К примеру, из глинозема различных марок без добавок и с добавкой 0,2 – 0,4 % MgO при давлении 50 МПа и температурах 1700 °С могут быть получены образцы с плотностью 98,5 – 99,5 %.

При обычном спекании такая плотность получается при температуре 1800 – 1900 °С. В случае спекания смеси нанопорошков Al₂O₃ – 50 мас. % WC методом горячего прессования прямым пропусканием тока уже при 1500 °С получается 100 %-ная плотность (рис. 5).

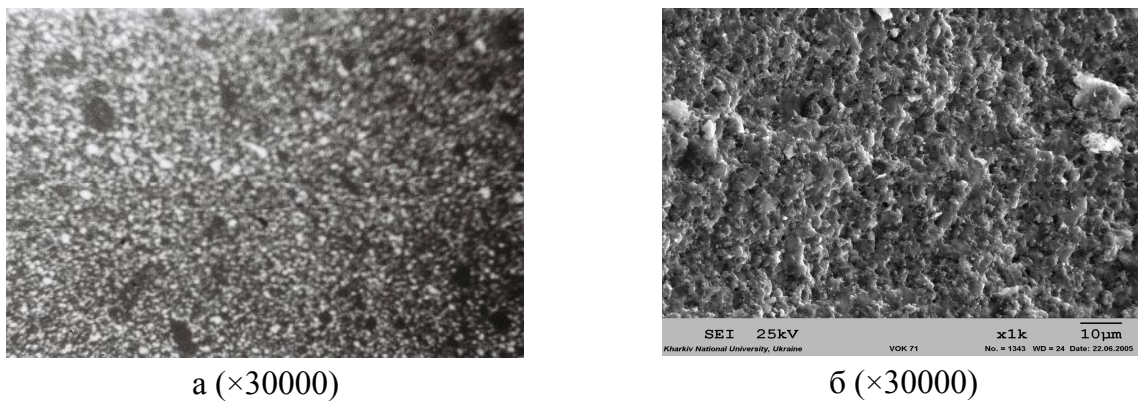


Рис. 5. Микроструктура образца, полученного из нанопорошков Al₂O₃ – 50 %WC (а) и излом (б)

Высокая чистота исходного порошка, его узкий гранулометрический состав повышают однородность микроструктуры спекаемого материала и температуру катастрофического роста зерна.

При данном давлении определялась температура начала и конца усадки, которая определялась датчиком перемещения и акустической эмиссией.

Начало деформации порядка 900 °С, а окончание усадки 1600 °С.

Поэтому температура ограничивалась 1650 °С.

В табл. 3 представлены данные по процессу горячего прессования.

Таблица 3

Свойства керамики Al₂O₃ – 50 % WC

№	P, МПа	T, °С	ρ, г/см ³	HRA	σ _{изг}	K _{1с}
1	45,0	1550	5,68	93	530	3,5
2	45,0	1600	5,96	94	590	5,8
3	45,0	1650	5,83	93	560	5,2

Из образцов готовились режущие пластины размерами (11,75×11,75×4,75) мм и определялась стойкость их при резании закаленной стали ШХ15 по указанным выше режимам.

Лучший результат – 29 минут – на 30 % больше, чем для стандартных пластин ВОК–71 производства Светловодского завода твердых сплавов (22 минуты).

При исследовании структур полученной из нанопорошков оксида алюминия и монокарбида вольфрама керамики, обнаружилось, что величины зерен составляющих фаз оксида алюминия и карбидов вольфрама составляют (0,1 – 0,2 мкм).

Плотность полученной керамики Al_2O_3 – 50 %, WC – 5,96 г/см³ выше, чем ВОК-71 – 4,2 ÷ 4,27 г/см³, что способствует более эффективному отводу тепла из зоны резания и, тем самым, снижению температуры в ней.

Таким образом, использование добавок WC вместо TiC при производстве режущих пластин из окиси алюминия является эффективным.

Как видно из табл. 3, температура спекания $T = 1600$ °С наиболее оптимальная для горячего прессования прямым пропусканием переменного электрического тока промышленной частоты 50 Гц.

Таким образом, проведенные исследования позволяют также сделать вывод, что оптимальная температура спекания смеси оксида алюминия и монокарбида вольфрама под давлением горячего прессования 45 МПа 1600 °С (1550 °С недостаточно при данном времени выдержки), а 1650°С превышает температуру межфазного взаимодействия WC – Al_2O_3 , при котором выделяется СО и образуется закрытая пористость: давление прессования ограничивается только характеристиками графита и составляет $P = 45$ МПа, при этом максимальное давление необходимо прикладывать только при достижении максимальной температуры в прессовке (для полной дегазации сорбированных газов).

Температуру необходимо поднимать с контролируемой скоростью нагрева 50 °С/мин до 500 °С, 250 °С/мин до 900 °С и 500 °С/мин до 1600 °С. Приложение максимального давления при более низких температурах приводит к повышенной пористости из-за наличия сорбированных газов.

Список литературы: 1. *Nersisyan H.H., Lee J.H.* Large-scale synthesis method of transition metal nanopowders / *H.H. Nersisyan, J.H. Lee* // *C.W. Won. Int. J. SHS.* – 2003. – № 12. – P. 149 – 158. 2. *Groza J.R.* Sintering activation by external electrical Field / *J.R. Groza, A.K. Zavaliangos* // *Material Science.* – 2000. – № 28. – P.171 – 177. 3. *Goldberger W.M.* The Development of Non-Intrusive Methods

of Sencing and Control of Densification During Electroconsolidation / *W.M. Goldberger, R.R. Fessler* // *Advances In Process Measurements for the Ceramic Industry*. – 1999. – Vol. 18, № 42. – P. 337 – 345.

4. *Скоруход В.В.* Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних системах / *В.В. Скоруход, І.В. Уварова, А.В. Рагуля*. – К.: Академперіодика, 2001 – 180 с.

5. *Stanciu L.A.* Effects of heating rate on densification and grain growth during field activated sintering of Al_2O_3 and $MoSi_2$ / *L.A. Stanciu, V.Y. Kodash, J.R. Groza* // *Mat. Metal. Trans.* – 2001. – № 32. – P. 2633 – 2638.

6. *Berhard F.* Dense nanostructured materials obtained by Spark Plasma Sintering and Field Activated pressure assisted synthesis sintering from mechanical activated powder mixtures / *F. Berhard, S. Le Gallet, N. Spinassou* // *Science of Sintering*. – 2004. – № 36. – P. 155 – 164.

7. *Геворкян Э.С.* Горячее прессование нанопорошков монокристалла вольфрама при нагревании электрическим током / [*Э.С. Геворкян, Л.А. Тимофеева, В.А. Чижикала, П.С. Кислый*] // *Наноструктурное материаловедение*. – 2006. – № 2. – С. 46 – 51.

8. Пат. № 6617271 US, В1 МКИ С 04 В 35/36. Tungsten carbide cutting tool materials / *E.S. Gevorkian, V.Yu. Kodash*; заявл. 19.03.2002; опубл. 9.10.2003.

Поступила в редколлегию 15.07.10

УДК 620.193.16

О.А. ЛИТВИНЕНКО, канд. техн. наук, доц., НУХТ, м. Київ

О.І. НЕКОЗ, докт. техн. наук, проф., НУХТ, м. Київ

В.П. КАВУН, асистент, НУХТ, м. Київ

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНОЇ КЕРАМІКИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ГІДРОДИНАМІЧНИХ КАВІТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ

У статті наведені результати досліджень кавітаційно-ерозійної стійкості конструкційної кераміки. Встановлено, що процес її руйнування має циклічний характер і визначається коефіцієнтами інтенсивності навантаження і критичною густиною потужності деформації.

The results of researches of cavitation-erosive firmness of construction ceramics are resulted in the article. It is proved that the process of its destruction has cyclic character and concerns by the coefficients of intensity of loading and critical density of power deformation.

В процесі експлуатації робочі органи гідродинамічних кавітаційних апаратів (ГКА) зазнають спрацювання.

Через певний час роботи, що визначається фізико-хімічними властивостями оброблюваних середовищ і умовами технологічного процесу, робоча проточна камера ГКА піддається кавітаційно-ерозійному руйнуванню.

При фіксованому розміщенні кавітуючих елементів – кавітаторів – в камері ГКА змінюється величина пристінного зазору, що визначається коефіцієнтом стиснення потоку.

Внаслідок цього змінюються умови реалізації процесу оброблення, продукт не набуває необхідних властивостей (дисперсність, стабільність, стійкість до розшарування, газонасичення тощо), підвищується тривалість оброблення та питомі енерговитрати.

Традиційно для виконання робочих вузлів ГКА застосовують вуглецеві сталі звичайної якості: від тих, які є на підприємстві, до сталі 20, 45, хромисті 30Х, 40Х або їх замітники, а коли це передбачено санітарно-гігієнічними умовами або при використанні хімічно-корозійних середовищ – з нержавіючих сталей типу 12Х18Н10.

Однак, практично всі вони виявляють недостатню кавітаційно-ерозійну стійкість і мають схильність до спрацювання у відносно короткий термін.

Відомо, що зносостійкість конструкційних матеріалів у технологічних середовищах, зокрема харчової промисловості, часто зумовлена їхніми антикорозійними властивостями, а характеристики міцності мають другорядне значення [1].

Через це заслуговують на увагу полімерні, композитні та керамічні матеріали для виготовлення деталей і вузлів обладнання, при роботі якого кавітаційні режими є нормальними.

Крім того, вони мають високу корозійну стійкість, легко піддаються механічному обробленню, дешеві і недефіцитні.

Змінюючи їх склад і мікроструктуру, можна одержувати матеріали з заданими технологічними властивостями.

На нашу думку перспективним способом підвищення надійності та довговічності вузлів ГКА, зокрема проточної робочої камери, є використання для їх виготовлення неметалевих конструкційних матеріалів, зокрема керамічних.

Керамічні матеріали мають комплекс таких фізико-хімічних властивостей, що дає можливість розглядати їх як перспективний конструкційний матеріал для робочих вузлів ГКА.

Дослідженнями та з досвіду промислової експлуатації накопичено певні дані про їх властивості за різних умов експлуатації [2, 3].

Зокрема встановлено, що в керамічних матеріалах, як і в металах, внаслідок ударно-хвильової дії кавітаційних бульбашок виникають пружні де-

формації, які спричиняють утворення поверхневих тріщин, та їх поступове руйнування.

Кінетичні діаграми зношування керамічних матеріалів, одержані авто-рами, дозволяють спрогнозувати поведінку конструкційних матеріалів за різних умов навантаження, зокрема при циклічному навантаженні при захопленні на поверхні або біля неї кавітаційних бульбашок.

Експериментальні дослідження кавітаційного зношування зразків з керамічних матеріалів під дією ультразвукової кавітації показують, що за зносостійкістю вони не поступаються традиційним конструкційним матеріалам [5].

Попередні дослідження показали, що так званий інкубаційний період накопичення кавітаційних ушкоджень, що передує стрибкоподібній втраті маси зразків, характерний для руйнування металевих матеріалів, для керамічних матеріалів відсутній [3].

Дослідження зносостійкості зразків з вмістом 92% Al_2O_3 у водопровідній воді при частоті коливань МСВ 22 кГц показали, що за час досліджень маса зразка зменшилась на 16%.

Водночас, втрати маси зразків з сталі 45 в аналогічних умовах майже в 7 разів більші.

Відповідно до задачі досліджень способом гарячого пресування підготовлено зразки з керамічних матеріалів і визначено їх основні технічні характеристики, які наведено у таблиці.

Таблиця

Показники	Матеріал зразка			
	Al_2O_3 (99 %)	Al_2O_3 (92 %)	AlSi + ZrO ₂	Al_2O_3 + ZrO ₂
Щільність, г/см ³	3,7	3,4	3,7	4,1
Міцність на згинання, МПа	300	250	300	340
Ударна в'язкість, кДж/м ²	4,0	4,0	4,0	4,3
Модуль пружності, ГПа	300	220	300	360

Дослідження кавітаційної стійкості зразків проводили на установці УЗДН-2Т з МСВ при частоті 22 і 44 кГц, амплітуді коливань концентратора МСВ 20 мкм. Зразки розміщували на певній відстані від концентратора (0,5 мм) яку контролювали за допомогою щупа.

Як робоче середовище використовували відстояну водопровідну воду,

температуру якої підтримували 20 ± 1 °C і контролювали термометром ТЛ - 2.

Інтенсивність зношування визначили ваговим методом за втратою маси через фіксовані проміжки часу за допомогою лабораторних електронних вагів Radwag 210, з точністю до 0,0001 г.

Перед зважуванням зразки попередньо послідовно промивали у дистильованій воді та спирті, просушували при температурі 70...80 °C протягом 5 хв. в сушильній шафі, охолоджували та зберігали в ексікаторі.

Зразки для досліджень одержували з попередньо помеленого технічного глинозему з вмістом оксиду алюмінію Al_2O_3 α , β та γ модифікацій.

Вихідний матеріал подрібнювали до 2...5 мкм на вібротлинах, просіювали, змішували з пластифікатором ПВС (полівініловий спирт) та піддавали гарячому пресуванню на гідравлічному пресі під тиском 3 т/см².

Після пресування зразки відпалювали при температурі біля 1500 °C .

Вибраний тиск, як показали мікроскопічні спостереження, забезпечує низьку пористість зразків, оскільки з її підвищенням характеристики міцності зразків знижуються внаслідок концентрації напружень навколо порожнистості (пор) та зменшення контактної поверхні зерен.

Вибрана температура випалювання дозволила перевести β та γ -модифікації глинозему в α -форму, внаслідок чого відбулась його усадка та збільшився вміст дрібних часточок, що підвищує фізико-механічні властивості зразків.

Найбільшу зносостійкість мають керамічні матеріали на основі карбиду бора, дещо меншу - на основі оксиду алюмінію Al_2O_3 .

Однак, зважаючи на технічно-економічні показники, використання матеріалів на основі Al_2O_3 більш раціональне.

Швидкість зношування визначали за відношенням $\Delta G/\Delta t$, де ΔG -сумарні втрати маси зразка за час випробувань Δt . Для всіх досліджених зразків при встановлених частотах коливань (рис. 1 та рис. 2) виявлені певні закономірності: зношування має циклічний характер, який сильніше проявляється при частоті коливань 22 кГц, коли кавітаційний вплив найбільш жорсткий, причому незалежно від частоти коливань зношування зразків має подібний характер.

Водночас при встановлених частотах коливань МСВ спостерігається циклічний характер зміни швидкості зношування зразків протягом досліджень, що свідчить про циклічність розвитку втомлюваних тріщин і реалізації механізму руйнування внаслідок зміни щільності дислокацій в поверхневому шарі при

ультразвуковій кавітації.

Подібний характер зміни властивостей поверхневих шарів досліджуваних зразків виявлено і при гідроабразивному зношуванні [6].

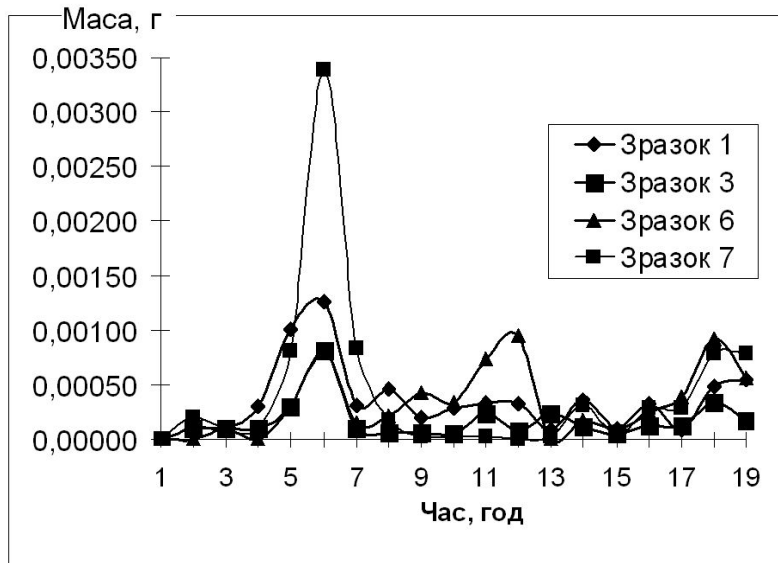


Рис. 1. Швидкість втрати маси зразками при частоті коливань МСВ 22 кГц

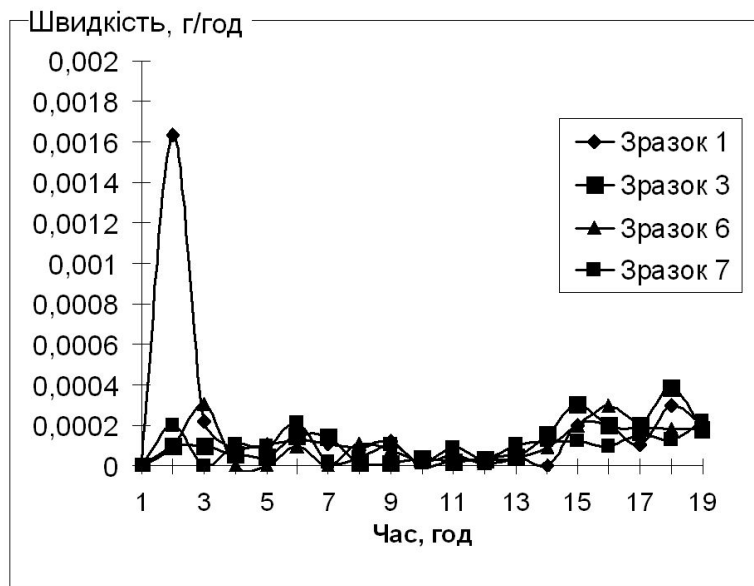


Рис. 2. Швидкість втрати маси зразками при частоті коливань МСВ 44 кГц

Відповідно до структурно-енергетичної теорії зношування [4], інтенсивність руйнування матеріалів при гідродинамічному навантаженні визначається відношенням щільності потоку енергії деформації (навантаження), яка вноситься в матеріал мікроударами кумулятивних мікрострумків або абразивних часток до узагальненої критичної щільності потужності деформації (руйнування).

Однак, як показали дослідження авторів для керамічних матеріалів потужність деформації визначається не лише складом і властивостями, а й мікроструктурою матеріалу, що приводить до реалізації локальних мікротріщин, та коефіцієнтом інтенсивності напружень K_{Ic} .

Висновки.

Як показали проведені дослідження, керамічні конструкційні матеріали перспективні для роботи в умовах кавітаційно-ерозійного зношування, вивчення закономірностей якого має суттєве науково-прикладне значення.

Список літератури: 1. *Прейс Г.А.* Повышение износостойкости оборудования пищевой промышленности / *Г.А. Прейс, Н.А. Сологуб, А.И. Некроз.* – М.: Машиностроение, 1979. – 208 с. 2. *Прис К.М.* Кавитационная эрозия / *К.М. Прис.* // Эрозия. – М.: Мир, 1982. – С. 230 – 269 3. *Пилиповский Ю.А.* Композиционные материалы в машиностроении / [*Ю.А. Пилиповский, Т.В. Грузина, А.Б. Сапожникова и др.*]. – К. Техніка, 1990. – 141с. 4. *Погодаев Л.И.* Структурно-энергетические модели надежности материалов и деталей машин / *Л.И. Погодаев, В.Н. Кузьмин.* – С.-Пб.: Академия транспорта РФ, 2006. – 608 с. 5. *Коваленко В.Н.* Разрушение керамики при воздействии кавитации / *В.Н. Коваленко, В.Г. Маринин.* – Х.: ХФТИ АН УССР, 1988. – 7 с. – (Препринт ХФТИ 88-65) 6. *Опанащук Н.Ф.*, Кавитационная стойкость порошковых материалов на основе тугоплавких соединений / [*Н.Ф. Опанащук, А.И. Некоз, А.Б. Жидков и др.*] // Проблемы трения и изнашивания. – 1983. – № 24. С. 70 – 74. 7. *Балкевич В. Л.* Техническая керамика / *Н.Ф. Опанащук.* – М.: Издательство литературы по строительству, 1986. – 33 с.

Надійшла до редколегії 15.06.10

Г.Д. СЕМЧЕНКО, докт. техн. наук, проф.;

О.Н. БОРИСЕНКО, мл. научн. сотрудник;

И.Ю. ШУТЕЕВА, научн. сотрудник, НТУ «ХПИ», г. Харьков;

Ю.И. РЯБКОВ, докт. хим. наук, зав. лаб., УрО РАН, г. Сыктывкар

В.Н. НИКОЛАЕНКО, науч. сотрудник;

Е.Е. СТАРОЛАТ, науч. сотрудник; *М.А. ПАНАСЕНКО*, аспирант;

И.Н. РОЖКО, мл. научн. сотрудник, НТУ «ХПИ», г. Харьков

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ТЕТРАЭТОКСИСИЛАНА И ГЕЛЕЙ НА ЕГО ОСНОВЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕПЛОВЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Аморфный кремнезем образуется как при пиролизе тетраэтоксисилана, так и при термообработке гелей на його основі. При механичному навантаженні при здрібнюванні кремнезем і-з ТЕОС та ЕТС кристалізується в α -кварц, гель при термообработці перетворюється в β -кристобаліт, порожнини, яких стають нанореакторами для синтезу β -SiC.

Amorphous silica appears both at pyrolysis of TEOS and to heat treatment of gels on his basis. At the mechanical loading at growing shallow silica from TEOS and ETS is crystallized in a α -quartz, gel at heat treatment grows into a β -cristobalite, cavities which become nanoreactors for a synthesis β -SiC.

Создание керамических материалов на основе порошков тугоплавких соединений с высокими показателями прочности и трещиностойкости обеспечивается [1, 2] путем модифицирования этих порошков алкоксидом кремния. Установлено [3], что в результате пиролиза алкоксида кремния и термодеструкции гелей при высоких скоростях нагревания образуется аморфный кремнезем, в том числе с захваченными в его структуру этильными и этоксильными группами, которые являются источником углеродных клатратов ($-\text{C}\text{H}_3$). При термообработке аморфный SiO_2 кристаллизуется в одну из его полиморфных модификаций, которые впоследствии могут образовывать эвтектики с компонентами шихт в процессе спекания. Расплав, с одной стороны, способствует спеканию порошков тугоплавких наполнителей, с другой стороны, увеличивает хрупкость материала. Поэтому важно знать при каких температурах могут образовываться расплавы, чтобы снизить температуру спекания, в том числе при горячем прессовании. Однако количество образующегося расплава должно быть минимальным, чтобы исключить силикат-

ные прослойки между зернами наполнителя.

Спекание тугоплавких порошков SiC и Si₃N₄ зависит от характера физико-химических процессов взаимодействия компонентов шихт и температуры термообработки. Характер расплава, появляющегося при ГП, и температура его образования влияют на уплотнение материала. Обеспечение достаточного пластического течения при ГП и образование расплава при более низких температурах способствует не только лучшему уплотнению материала, но и снижает энергозатраты на этот процесс. Образование расплава при других видах формования и спекания SiC и Si₃N₄ материалов не только улучшает спекание, снижает температуру спекания, но является толчком к синтезу нитевидных кристаллов SiC и Si₃N₄ в матрицах [4]. Источником наноразмерных частиц и волокон могут быть наноразмерные углеродные прекурсоры. Их появлению может способствовать модификация порошков тугоплавких соединений SiC и Si₃N₄ элементоорганическими веществами, при механохимических превращениях которых возникают радикалы (-CH₃), являющиеся источником атомарного углерода.

В связи с тем, что при модифицировании порошков тугоплавких соединений (Al₂O₃, графита, SiC, Si₃N₄, B₄C и др.) в процессе механоактивации наблюдали синтез β-SiC [5] из алкоксида кремния (ТЭОС) и этилсиликата (ЭТС-32), важно было определить, какие фазы SiO₂ начинают кристаллизоваться из аморфного кремнезема этой кремнеорганики и при каких условиях, предположить какие же структуры в большей степени благоприятны для образования клатратов (соединений внедрения) радикалов (-CH₃) в SiO₂, какая модификация SiO₂ более благоприятна в качестве нанореактора.

Механохимическая обработка порошков тугоплавких соединений с участием алкоксида кремния или этилсиликата ЭТС-32 представляет интерес потому, что она сопровождается повышением давления и температуры в результате механодеструкции исходных модифицирующих веществ – алкоксида кремния или ЭТС-32 – и продуктов их превращения.

Механодеструкция высокомолекулярных веществ подобных нашим модификаторам сопровождается разрывом межатомных связей по свободно-радикальному механизму [6]. Исследования [3] показали, что образовавшиеся радикалы (-CH₃) при механодеструкции алкоксида кремния и этилсиликата являются источником атомарного углерода для низкотемпературного синтеза наноразмерного β-SiC, так как в результате рекомбинации этого радикала образуется атомарный углерод по реакции:



Радикалы $(-\text{CH}_3)$ образуют соединения внедрения в аморфном SiO_2 , в который превращается гелевый кластер β -кristобалитовой структуры при воздействии тепла. Переход гелевого кластера в аморфный SiO_2 установлен методом ДТА при температуре 220°C (рис. 1). Радикалы $(-\text{CH}_3)$ входят в полости решеток SiO_2 . Причем полости в аморфном кремнеземе значительно больше, чем в кристаллических модификациях SiO_2 , что облегчает образование соединений включения.

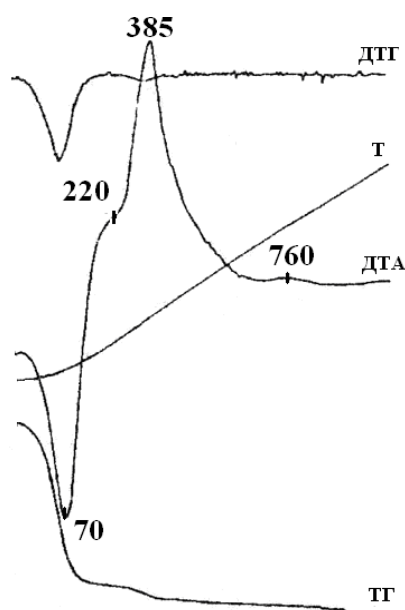


Рис. 1. Дериватограммы геля ЭТС-32/80 при нагреве $10^\circ\text{C}/\text{мин}$

Микроструктура аморфного кремнезема SiO_2 подобна таковой для низкоплотных модификаций кристаллического SiO_2 , т.е. параметры межатомных связей в тетраэдрах SiO_4 – основных структурных элементов аморфного кремнезема – достаточно близки межатомным расстояниям Si-O и углам связей $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$ в кристаллических диоксидах кремния.

Пространственное распределение тетраэдров в объеме аморфной фазы часто описывают в так называемой модели бесконечной неупорядоченной сети, согласно которой в SiO_2 определен ближний порядок – тетраэдры SiO_4 соединены между собой мостиковыми атомами кис-

лорода.

Углы мостиковых связей $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$ варьируются в широком интервале, определяя характер «промежуточного порядка».

Дальний порядок в аморфном SiO_2 отсутствует.

Одним из вариантов возможного «промежуточного» порядка рассматриваются кольца, звеньями которых являются SiO_4 группировки в количестве от 3 до 7.

Считается, что наиболее вероятно формирование 6-звенных колец, которые значительно устойчивее колец наименьшего размера, включающие три сиботаксические группы SiO_4 .

Другие авторы [10] считают, что SiO_4 кольца являются «дефектами упа-

ковки» аморфного SiO_2 .

Наличие именно таких дефектов способствует, как они отмечают, росту химической активности аморфной фазы.

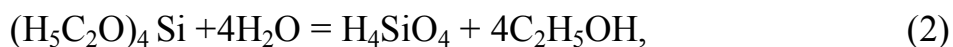
Предполагают, что именно SiO_4 кольца могут выступать как активные центры поверхности аморфного SiO_2 .

Наличие дефектных структур компонентов взаимодействия способствует снижению температуры синтеза новых фаз.

Для низкотемпературного синтеза заданной фазы двухкомпонентного состава важно использовать аморфные составляющие, которые, как известно, проще всего получать раствором методом, в первую очередь, золь-гель методом.

При использовании в качестве исходного вещества тетраэтоксисилана или этилсиликата можно получить SiO_2 аморфной и кристаллической структуры после термообработки гелей разного состава.

В результате гидролиза ТЭОС при содержании гидролизующего агента (H_2O) больше стехиометрической нормы образуются поликремниевые кислоты:



при соблюдении стехиометрического соотношения между алкоксидом кремния и водой образуется коллоидный кремнезем:



Исходя из того, что SiO_2 имеет разные источники происхождения (поликремниевая кислота или коллоидный кремнезем), его энергетический потенциал и природа будут различны, а, следовательно, различными будут степень аморфности и их кристалличность, а также реакционная способность.

Отсюда вытекает, что варьируя условия гидролиза и термообработки, можно регулировать физико-химические свойства этих структур.

Целью данной работы является исследование структуры и степени кристалличности SiO_2 гелей, полученных гидролизом тетраэтоксисилана и этилсиликата в кислой среде разным количеством воды, после термообработки их при разных температурах с разными скоростями подъема температур.

В качестве исходного вещества использовали ЭТС-32 и ТЭОС производ-

ства ОАО «Кремнийполимер» (г. Запорожье), в качестве катализаторов гидролиза 0,8 % HCl или 0,6 % HNO₃.

Гели сушили в естественных условиях, потом измельчали до размера частиц менее 60 мкм и термообработывали при разных скоростях подъема температур.

Термообработку осуществляли на дериватографах ОД-103. Структуру и фазовый состав термообработанных гелей исследовали на ДРОН-3.

Исходный ЭТС-32 и ТЭОС для исследований заливали в тигель, после отверждения проводили ДТА исследования.

Гели разных составов термообработывали по заданным режимам, после чего исследовали рентгенографически.

Для модифицирования порошков тугоплавких соединений в процессе измельчения можно использовать различные кремнийорганические добавки. Как указывалось, нами использовался чистый тетраэтоксисилан (алкоксид кремния) и этилсиликат.

Физико-химические превращения ТЭОС и ЭТС при термообработке важны тем, что можно предположить, что при механохимическом воздействии на эти вещества происходят превращения, подобные превращениям при термообработке.

Нами установлено, что при термообработке как тетраэтоксисилана, так и этилсилката ЭТС-32 из аморфного кремнезема образуется одна и та же кристаллическая фаза – α-кварц. При этом SiO₂, образовавшийся в результате пиролиза тетраэтоксисилана, остается аморфным до более высоких температур, чем в результате термодеструкции компонентов, составляющих этилсиликат ЭТС-32 (рис. 2).

Причем, при скорости подъема температуры при нагревании 4 град/мин тетраэтоксисилан остается аморфным до 1500 °С, этилсиликат ЭТС-32 только до 900 – 950 °С.

При достижении 1000 °С пики α-кварца уже отчетливо видны (рис. 2).

При увеличении скорости нагрева кристаллизация SiO₂ ускоряется и в тетраэтоксисилане и в этилсилкате.

Отмечено, что при скорости подъема температуры 10 град/мин кристаллизация раньше начинается у SiO₂ этилсилката, при возрастании скорости нагрева до 20 град/мин кристаллизация этилсилката уменьшается, а тетраэтоксисилан при скорости 10 град/мин при температуре 1370 °С практически остается еще аморфным.

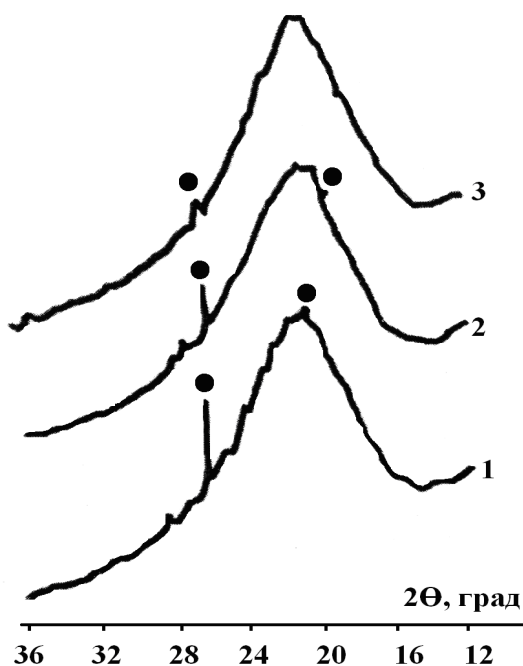


Рис. 2. Дифрактограммы термообработанных исходных тетраэтоксисилана и этилсиликата ЭТС-32 при разных скоростях нагрева:
 1 – ЭТС-32, 10 град/мин, 1000 °С;
 2 – ЭТС-32, 20 град/мин, 1000 °С;
 3 – ТЭОС, 10 град/мин, 1000 °С;
 ● – кварц

Связующие стехиометрического состава (ЭТС-32/80) цельные или же разбавленные водой или водными растворами пластификаторов хорошо себя показывают при использовании в шихтах плавящихся наполнителей (электрокорунд, периклаз) и при изготовлении изделий методом прессования, при изготовлении обмазок и покрытий.

Поэтому большой интерес представляют процессы превращений всех этих связующих при термообработке.

Уменьшение количества гидролизующего агента с 40 до 30 %, как известно, приводит к изменению продуктов гидролиза, а именно, происходит образование иной поликремниевой кислоты.

Однако процессы дегидратации и термодеструкции геля в обоих случаях (рис. 3) носят идентичный характер. Следовательно, степень аморфности кремнезема и кристаллизация из него β -кристобалита или α -кварца также зависит от предыстории геля и скорости термообработки.

Для производства покрытий, литых изделий сложной конфигурации и неформованных огнеупоров могут быть применены связующие на основе этилсиликата с различным составом гидролизатов, в т.ч. модифицированных органическими пластификаторами.

Вид связующего должен учитывать тип наполнителя, его дисперсность и характер поверхности, пористость и т.д.

Опыт показывает, что для литых изделий на основе ультрадисперсных порошков, тонкодисперсных кварцевых, нитридкремниевых и карбидкремниевых порошков лучше использовать этилсиликатные связующие, полученные гидролизом воды, количество которой значительно больше стехиометрического (связующие ЭТС-32/60).

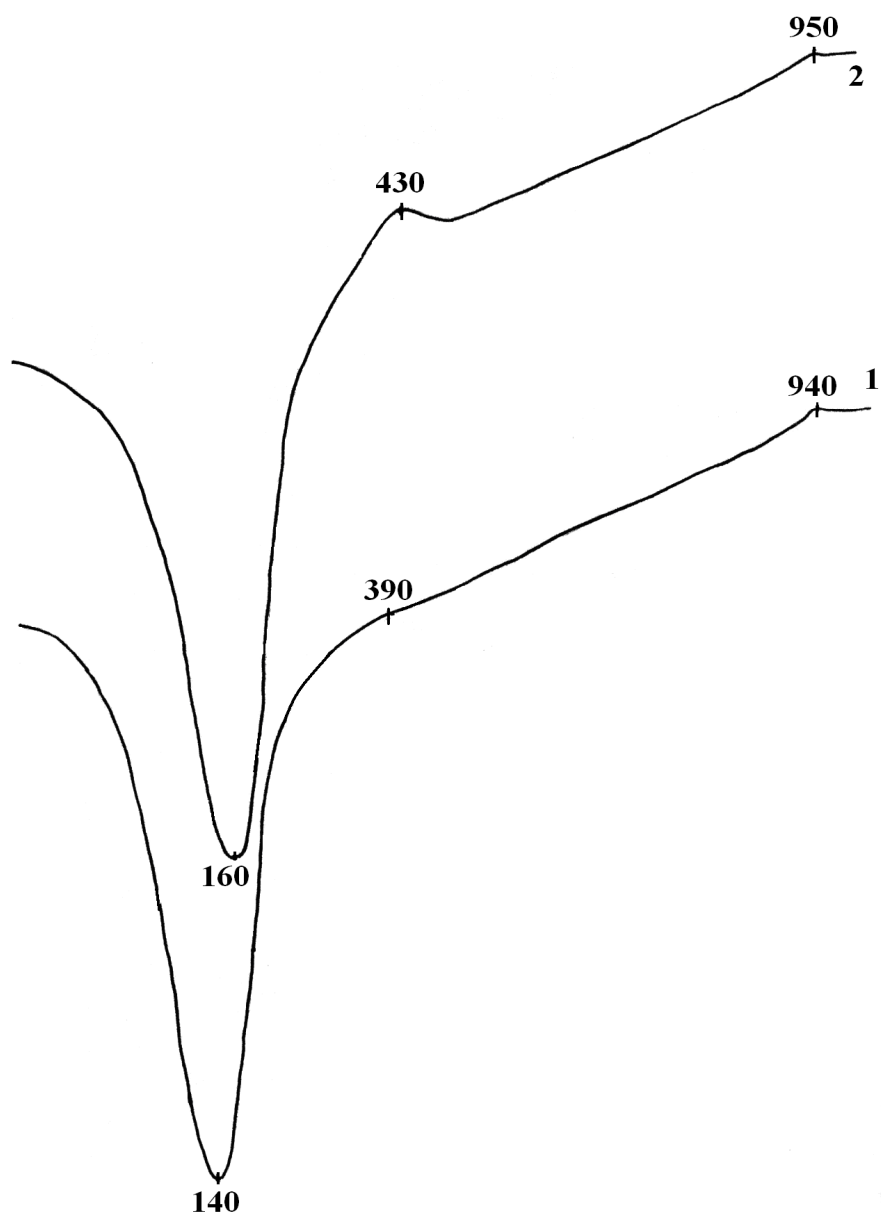


Рис. 3. ДТА кривые гелей ЭТС 32/60 (1) и ЭТС 32/70 (2)
при скорости нагрева 10 град/мин

В результате термообработки гелей, полученных гидролизом этилсиликата различным количеством воды, при температуре 1000 °С получают аморфный кремнезем, который обладает высокой реакционной способностью благодаря развитой удельной поверхности.

Механохимические превращения существенно модифицируют структуру и изменяют свойства как силикатов, так и кремнийорганических веществ 1000 °С получают аморфный кремнезем, который обладает высокой реакционной способностью благодаря развитой удельной поверхности.

Механохимические превращения существенно модифицируют структу-

ру и изменяют свойства как силикатов, так и кремнийорганических веществ.

Для исследования влияния механической активации на изменение фазового состава геля последний получали гидролизом ЭТС-32 стехиометрическим количеством воды, после поликонденсации продуктов гидролиза и золь-гель перехода гель выдерживали на воздухе в течение одного месяца, а затем измельчали в шаровой мельнице уралитовыми шарами. Измельчали пробы геля без и с добавкой 1 % алкоксида кремния, а затем определяли фазовый состав.

При воздействии температуры на гель (катализатор гидролиза HCl) SiO_2 остается в аморфном состоянии выше 1000°C , и только в результате длительных выдержек и при более высоких температурах (1400°C) в результате температурного воздействия начинает кристаллизоваться β -кristобалит независимо от скорости подъема температуры (рис. 4).

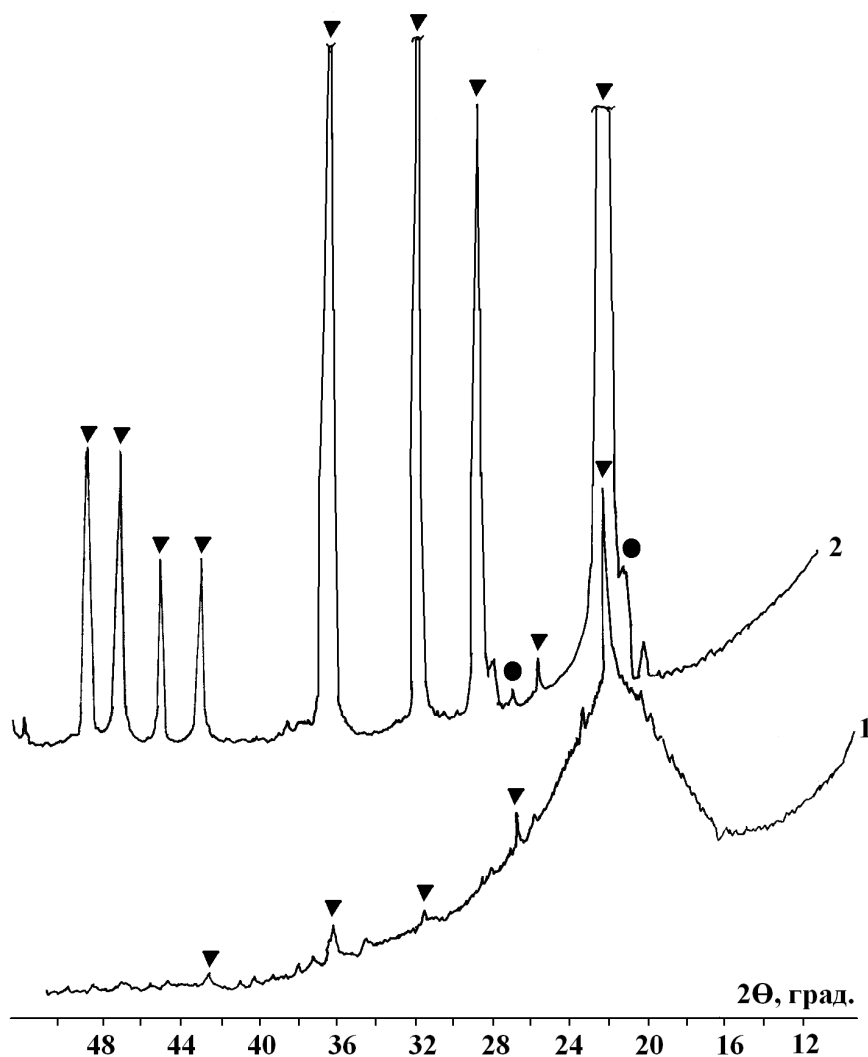


Рис. 4. Дифрактограммы геля ЭТС 32/60 термообработанного со скоростью нагрева 10 град/мин до 1430°C (1) до 1500°C (2) без выдержки:
 ∇ – β -кristобалит, \bullet – α -кварц

Таким образом, в процессе механического и температурного воздействия превращения геля без модификатора носят идентичный характер, с модифицирующей добавкой – различный.

При этом аморфный кремнезем самой модифицирующей добавки как ТЭОС, так и ЭТС-32 и при измельчении и при термообработке кристаллизуется в α -кварц, гель превращается в β -кристобалит.

Следовательно, при термообработке геля нанореактором является β -кристобалит, а в модифицированных порошках, где присутствует ТЭОС и гель на его основе, образовавшийся в результате механо-химических превращений, нанореакторами для синтеза наноразмерных новообразований могут служить полости структуры α -кварц и β -кристобалит.

Список литературы: 1. Семченко Г.Д. Повышение качества нитридкремниевой керамики / [Г.Д. Семченко, Е.Е. Старолат, О.Б. Скородумова и др.] // Аннотации стендовых докладов участников семинара Европейской комиссии, 13-16 октября 1992 г. – Киев: ИПМ НАНУ. – 1992. – С. 59 – 60. 2. Семченко Г.Д. Уплотнение тонкодисперсных модифицированных порошков SiC при прессовании / [Г.Д. Семченко, Л.А. Анголенко, И.Н. Опрышко и др.] // Теория и практика процессов измельчения, разделения, смешения и уплотнения: межведомственный сб. научных трудов. – Одесса: ОГМА, 1999. – С. 74 – 77. 3. Семченко Г.Д. Часть 1. Получение связующих для керамических производств золь-гель методом. Создание углеродных клатратов в гелевых кластерах / Г.Д. Семченко // Огнеупоры и техническая керамика. – 1999. – № 7. – С. 6 – 14. 4. Семченко Г.Д. Синтез нитевидных кристаллов β -SiC и α -Si₃N₄ из золь-гель композиций / Г.Д. Семченко, Е.Е. Старолат, Н.П. Дьяконенко Н.П. // Стекло и керамика. – 1997. – № 6. – С. 21 – 24. 5. Семченко Г.Д. Синтез бескислородных соединений из золь-гель композиций / Г.Д. Семченко, А.С. Бережной, Е.Е. Старолат // XIII Укр. конф. з неорган. хімії: тез. допов. – К.: КГУ, 1992. – Ч. 2. – С. 245. 6. Барамбой И.К. Механохимия высокомолекулярных соединений / И.К. Барамбой. – М.: Химия, 1978. – 363 с.

Поступила в редколлегию 10.09.10

С.М. ЛОГВИНКОВ, докт. техн. наук, ст. научн. сотрудн.,
Н.К. ВЕРНИГОРА, канд. техн. наук, ст. препод.,
Д.А. БРАЖНИК, канд. техн. наук, научн. сотрудн., НТУ “ХПИ”

САМООРГАНИЗАЦИЯ ФАЗ И ФОРМИРОВАНИЕ ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Розглянуто спряження твердофазних обмінних реакцій. Наведено розвиток процесів самоорганізації та формування дисипативних структур при різних температурах у термодинамічно закритій системі $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$.

The conjugate of solid-phase exchange reactions was considered. The development of self-organization processes and dissipative structures formation at different temperatures in a thermodynamically closed $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ system was shown.

Возникшее в середине 70-х годов прошлого века новое междисциплинарное направление научных исследований – синергетика (от греческого – совместное действие) познает общие закономерности процессов самоорганизации в системах различной природы.

Термин «самоорганизующаяся система» введен в научный лексикон в 1947 г. английским кибернетиком У.Р. Эшби, а в становление синергетики существенный вклад внес профессор Штутгартского университета Герман Хакен, основываясь на фундаментальных исследованиях Ильи Пригожина (Нобелевский лауреат 1977 г., бельгийский ученый русского происхождения) по термодинамике необратимых процессов и по теории диссипативных структур.

Термин «диссипативная структура» И. Пригожин ввел для подчеркивания отличия от равновесных структур.

Диссипативные структуры формируются в процессе самоорганизации большого количества элементов неизолированной термодинамической системы и характеризуются как структурно-временной, так и функциональной упорядоченностью, что определяет их динамичность и повышенную устойчивость к внешним воздействиям.

Возможность пространственно-временной упорядоченности структур около стационарного состояния (достаточно удаленного от термодинамиче-

ского равновесия), где наблюдаются колебания величины скорости производства энтропии при сохранении положительного знака, – была показана И. Пригожиным в 1955 г.

Однако, экспериментальное подтверждение своей теории он увидел лишь в конце 1961 года после публикации А. М. Жаботинским исследований кинетики колебаний концентраций реагентов в реакции Б.П. Белоусова.

Возможность протекания колебательных (периодических, осциллирующих, самоорганизующихся, автокаталитических) химических реакций вызвала информационно-исследовательский бум у мировой научной общественности и смену старой парадигмы о запрете на подобные реакции на новую, в которой они занимают фундаментальные позиции в изучении предбиологической эволюции материи.

В исследованиях [1 – 8] показано, что твердофазные химические реакции подчиняются общим закономерностям химических взаимодействий и могут приводить к самоорганизации фаз и формированию диссипативных структур в тугоплавких материалах на основе трех- и более многокомпонентных оксидных систем.

Повышенная адаптационная способность таких материалов к внешним воздействиям определяет актуальность исследований развития твердофазных обменных реакций для технологии тугоплавких неметаллических материалов.

Цель работы предусматривает анализ термодинамического сопряжения элементарных стадий твердофазных обменных реакций в системе $MgO - Al_2O_3 - SiO_2$, детерминирующих процессы самоорганизации фаз и формирования диссипативных структур.

В работе использованы результаты расчетов изменений свободной энергии Гиббса (ΔG) от температуры (T) для твердофазных обменных реакций при нормальном давлении. Расчеты выполнены для твердофазных реакций системы $MgO - Al_2O_3 - SiO_2$ (далее используется сокращения M, A и S, соответственно) с учетом температурной зависимости теплоемкостей реагентов.

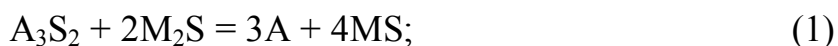
Исходные термодинамические данные и методика расчетов описаны [3]. Результаты расчетов термодинамических равновесий твердофазных реакций оказались пригодны для прогнозирования значимых факторов, определяющих развитие процессов самоорганизации в закрытой термодинамической системе.

Расчетные методы неравновесной термодинамики для количественного анализа подобных процессов в настоящее время разработаны недостаточно.

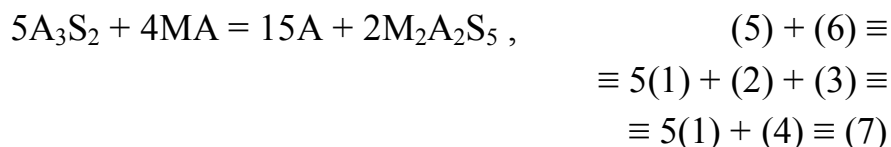
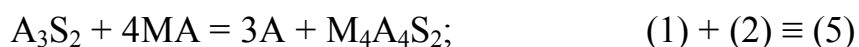
По аналогичной причине не представлялось возможным учесть в расчетах возможность образования твердых растворов на основе соединений, участвующих в рассматриваемых твердофазных реакциях.

Формула стехиометрического сапфирина принята $M_4A_4S_2$, а ранее принимавшаяся формула $M_4A_5S_2$ относится нами к метастабильному твердому раствору, изменения в составе которого реализуются в зависимости от температуры и сопровождаются перестройкой структурного типа кристаллической решетки согласно закономерностям, описанным в работе [5].

Механизм массообмена при синтезе тройных оксидных соединений системы $MgO - Al_2O_3 - SiO_2$ – сапфирина и кордиерита, а также твердофазных обменных реакций определяют «элементарные» стадии:



Возможность сопряжения трех «элементарных» реакций в четырех возможных комбинациях – определяет протекание твердофазных обменных реакций:



где знаком тождества (« \equiv ») отмечены возможные комбинации сопряжения.

Результаты расчетов значений ΔG для реакций (1) – (7) при различных температурах представлены в таблице.

Результаты расчетов

№ реакции	ΔG , кДж/моль при T, К											T _{обр.} , К
	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	
1	-31,807	-27,437	-23,009	-18,526	-13,990	-9,401	-4,760	-0,067	4,677	9,473	14,322	1501
2	-23,179	-14,522	-4,940	5,492	16,716	28,678	41,335	54,649	68,584	83,115	98,213	1047
3	90,565	70,297	48,882	26,431	3,037	-21,222	-46,282	-72,086	-98,584	-123,734	-153,497	1213
4	67,386	55,775	43,942	31,927	19,753	7,456	-4,947	-17,743	30,000	-42,619	-55,284	1360
5	-54,987	-41,960	-27,951	-13,035	2,723	19,273	36,570	54,577	73,256	92,583	112,529	1183
6	-36,663	-39,451	-43,155	-47,674	-52,923	-58,828	-65,324	-72,355	-79,876	-87,839	-96,206	-
7	-91,650	-81,411	-71,106	-60,710	-50,200	-39,554	-28,753	-17,777	-6,619	4,744	16,322	1658

Из данных табл. видно, что за исключением реакции № 6 все другие реакции обратимы в рассмотренном интервале температур.

Основная информация для экстраполяции результатов расчетов, полученных в рамках классической линейной термодинамики, в существенно неравновесную область, где проявляются нелинейные свойства системы, заключена в точках пересечения зависимостей $\Delta G = f(T)$ для твердофазных реакций.

Такие точки могут отвечать температурам начала процессов сопряжения твердофазных реакций.

В точках сопряжения устанавливается локальное равенство термодинамических потенциалов для развития реакций, подобно тому, как пересечение кинетических зависимостей для скоростей реакций отвечает установлению стационарных состояний при локальном равенстве концентраций реагентов.

По сути, термодинамическое сопряжение и стационарное состояние – взаимодополняющие факторы одного и того же процесса.

Термодинамическое сопряжение позволяет прогнозировать расчетную температуру начала процесса самоорганизации фаз в отличие от кинетических исследований установления стационарных состояний, которые проводят по результатам обработки значительного объема экспериментальных данных.

Термодинамическое сопряжение отображает в обобщенном виде энергетическую возможность объединения реакций в единый механизм через наличие общих массообменных стадий, а кинетическое сопряжение показывает согласованность процессов переноса по скоростям протекания.

Проверка на возможность сопряжения проводится алгебраическим суммированием уравнений реакций, зависимости $\Delta G = f(T)$ которых пересекаются.

Если суммарное уравнение взаимодействия не противоречит правилу фаз Гиббса по количеству соединений при равновесии, то реакции имеют общие массообменные стадии и сопряжение возможно.

Сопряжение рассматривается как бифуркация.

Следует это из того, что до температуры, отвечающей пересечению зависимостей $\Delta G = f(T)$, происходят постоянные флуктуации состава из-за конкурентности в протекании реакций.

При температуре, соответствующей пересечению зависимостей, происходит ветвление термодинамических решений и возникает неустойчивость из-за неопределенности доминантного взаимодействия.

Наличие общих массообменных стадий у сопрягающихся реакций позволяет развиваться флуктуациям состава до макроуровня (бифуркация) с направленным отбором среди термодинамически возможных фаз тех, которые отвечают суммарному механизму взаимодействия.

В точке бифуркации реакционная система скачкообразно удаляется от состояния термодинамического равновесия, т.к. сопряженному процессу взаимодействия отвечает значение ΔG равное сумме значений ΔG реакций (согласно закону Гесса), объединяющихся через общий механизм массообменных стадий.

Эти обстоятельства определяют самоорганизацию фаз и формирование диссипативной структуры в полном соответствии с обобщенным принципом Ле-Шателье, согласно которому реакционная система противодействует внешним факторам для сохранения целостности и автономности.

Сопрягаться могут как реакции в прямом, так и в обратном направлении протекания.

Поэтому для анализа удобно строить графические зависимости $\Delta G = f(T)$, зеркально отображая от оси температур ветви положительного квадранта значений ΔG – в отрицательную область значений, т.е. фактически используя замену положительного знака на отрицательный у рассчитанных значений ΔG (табл.) и обозначая реакции в обратном направлении протекания значком «'» после номера реакции (рис. 1).

На рис. 1 имеется множество точек пересечения зависимостей $\Delta G = f(T)$, но не все они могут отвечать термодинамическому сопряжению и в ходе анализа будем отмечать лишь имеющие значение.

При анализе рационально выделить основные процессы сопряжения и температуры, до которых сохраняется термодинамическая стабильность комбинаций фаз $A-M_2A_2S_5$ и $A-M_4A_4S_2$, устанавливаемых твердофазными реакциями (5) – (7). Значения отмечаемых температур будут ориентировочно оцениваться из графических данных.

Сразу отметим, что вне поля рис. 1 имеется точка пересечения зависимостей $\Delta G = f(T)$ для реакций (1) и (2) при 553 К, отвечающая температуре сопряжения и началу развития реакции (5).

Фактически, сапфиринообразованию и установлению стабильности комбинации фаз $M_4A_4S_2-A$ в низкотемпературной области могут препятствовать лишь кинетические и стерические факторы.

Термодинамически выгодное твердофазное взаимодействие по реакции (6) при низких температурах ингибируется недостатком синтезирующегося по реакции (5) сапфирина и более высокой термодинамической выгодностью реакций (4)' и (3)', в которых кордиерит расходуется.

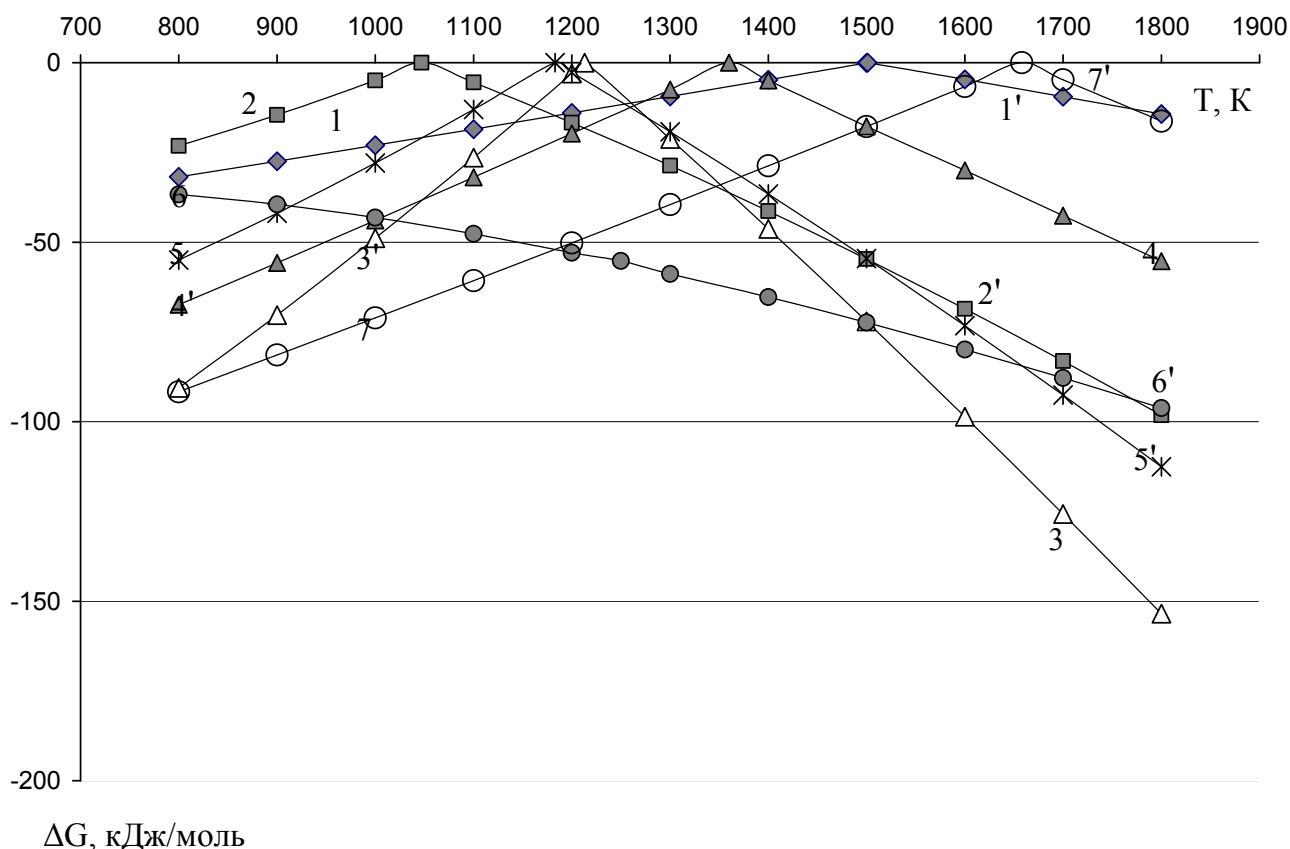


Рис. 1. Зависимости $\Delta G = f(T)$ для анализируемых твердофазных реакций

Следует также учесть, что вероятность протекания реакции (6) в низкотемпературном интервале обеспечивается конкурентностью значительно невыгодного развития реакции (3) и четырех прогонов термодинамически выгодной реакции (1).

Влияние неблагоприятных для кордиеритообразования факторов нивелируется при температуре 913 К, отвечающей пересечению зависимостей $\Delta G = f(T)$ для реакций (5) и (6).

Сопряжение этих реакций обеспечивает скачкообразное удаление системы от состояния равновесия с доминантным развитием суммарного взаимодействия по реакции (7).

При этом термодинамическая выгодность развития взаимодействия (6) увеличивается, а для реакции (5) уменьшается, что обусловлено характером зависимостей «элементарных» стадий в их суммарном развитии:

$$5(1) + (2) + (3).$$

Реальное кордиеритообразование вероятнее осуществляется выше 1023 К, т.к. при этой температуре сопрягаются реакции (6) и (3)', что отвечает возможности протекания четырех прогонов реакции (1), которые необходимы для развития реакции (6).

С 1023 К лишь «элементарная» реакция (1) остается термодинамически выгодной, а реакции (2) и (3) идут «в гору».

При 1043 К отмечается обратимость реакции (2), что обеспечивает перестройку коннод в субсолидусной области системы MgO – Al₂O₃ – SiO₂ из-за повышения термодинамической стабильности комбинации фаз MA – MS в сравнении с M₂S – M₄A₄S₂ (рис. 2).

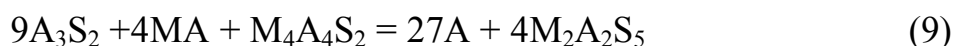
При этой же температуре возможно сопряжение реакций (3)' и (4)', что обеспечивает стабильность трехфазной комбинации MA – MS – M₄A₄S₂ из-за скачкообразного удаления реакционной системы от термодинамического равновесия в связи с развитием суммарного взаимодействия:



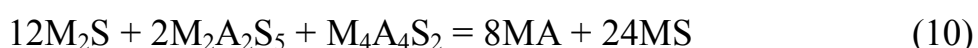
При 1133 К возможно сопряжение реакций (2)' и (5), что эквивалентно развитию взаимодействия (1) и указывает на баланс (1) = 2(2)' в механизме реакции (5).

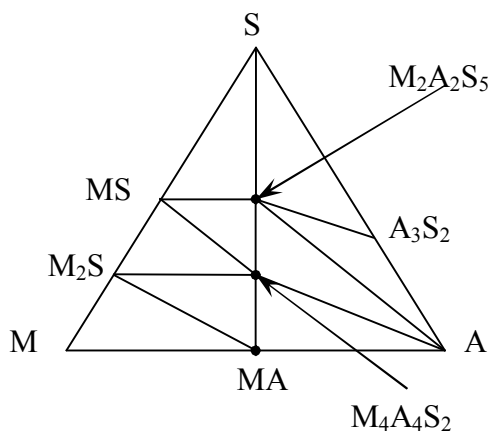
Несколько более высокая температура (1163 К) отвечает сопряжению реакций (3)' и (2)', усиливающего стабильность комбинации фаз MA–MS (согласно(8)) в связи с развитием реакции (4)'.

Температура 1183 К отвечает обратимости реакции (5) и сопряжению реакций (6) и (7), что резко усиливает стабильность комбинации фаз A–M₂A₂S₅ из-за развития суммарного взаимодействия:

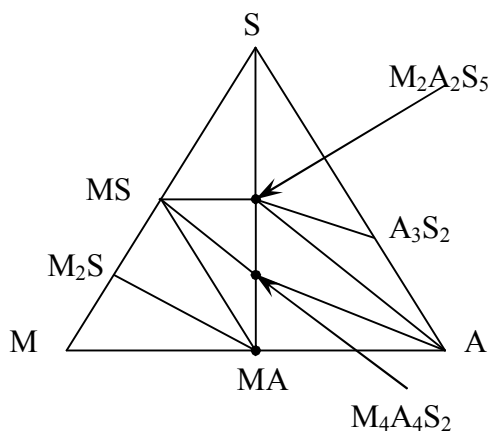


Выше 1213 К термодинамически выгодным становится протекание реакции (3) в прямом направлении, но установлению стабильности комбинации фаз M₂S–M₂A₂S₅ препятствует сопряжение реакций (2)' и (4)':

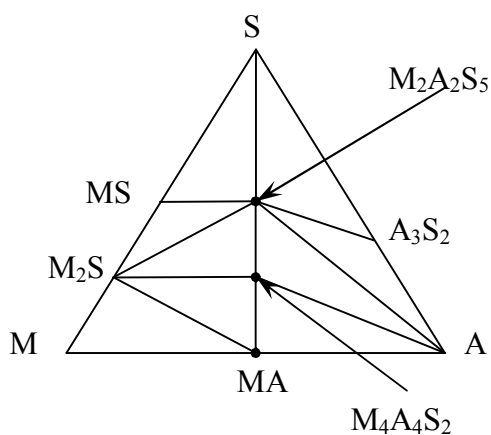




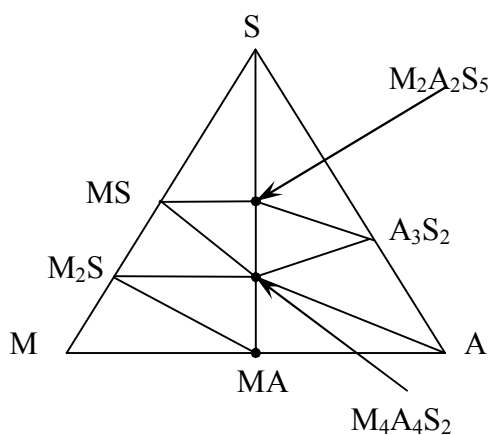
а) до 1043 К



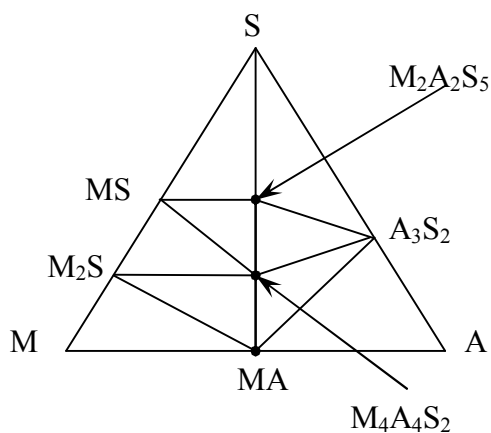
б) в интервале $1043 \leq T \leq 1360$ К



в) в интервале $1360 \leq T \leq 1658$ К



г) в интервале $1658 \leq T \leq 1733$ К



д) выше 1733 К

Рис. 2. Субсолидусное строение системы $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ при различных температурах

Около 1253 К отмечается возможность пересечения сразу четырех кри-

вых, отвечающих зависимостям $\Delta G = f(T)$ для реакций (1), (3), (4)' и (5)'.

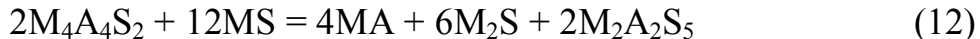
Количество проверяемых вариантов сопряжения (P) представляет сумму возможных сочетаний (C) n числа пересекающихся зависимостей $\Delta G = f(T)$ по m штук:

$$P = \sum_{i=2}^m C_n^m = \sum_{i=2}^m \left(\frac{n!}{m!(n-m)!} \right) \quad (11)$$

При пересечении в одной точке четырех кривых необходимо проверить 10 вариантов сопряжения ($P = C_4^2 + C_4^3 + C_4^4 = 6 + 3 + 1 = 10$).

Из всех вариантов сопряжение возможно для всех четырех реакций, кривые $\Delta G = f(T)$ которых пересекаются, а также реакций (4)' и (3), (5)' и (1), что эквивалентно одинаковому взаимодействию по механизму реакции (2)'.

Проверяемое сопряжение реакций (5)', (3) и (1) хотя и не противоречит правилу фаз Гиббса, но является вырожденным из-за наличия в продуктах взаимодействия соединений, принадлежащих одной конноде ($MA-M_2A_2S_5$), но разделенных точкой состава соединения, не входящего в продукты взаимодействия ($M_4A_4S_2$):



При 1353 К пересекаются три кривых и из четырех вариантов, проверяемых на сопряжения, отмечается вырожденное сопряжение реакций (3) и (2)', продукты суммарного взаимодействия которых не составляют элементарного треугольника и содержат соединения эквивалентные реакции (12).

Реакция (4) обратима при 1360 К, чем обусловлено сосуществование форстерита с кордиеритом и изменение субсолидусного строения системы (рис. 2).

Повышение температуры до 1373 К приводит к возможности сопряжения реакций (7) и (5)', что отвечает суммарному взаимодействию по реакции (6). Развитие реакции (1) выше 1501 К становится термодинамически невыгодным в прямом направлении.

Выше 1658 К комбинация фаз $A-M_2A_2S_5$ становится термодинамически нестабильной из-за обратимости реакции (7).

При 1658 К отмечается также пересечение зависимостей $\Delta G = f(T)$ для реакций (6) и (5)', при более высокой температуре реакция (5)' предпочтительнее и идет в сторону образования A_3S_2 и MA.

Это кажущаяся предпосылка к одновременной перестройке при 1658 К не только конноды $M_2A_2S_5 - A$, но и $M_4A_4S_2 - A$ на конноду $MA - A_3S_2$.

Однако, из-за конкурентности реакций (6) и (7)' выше 1658 К коннода $M_4A_4S_2 - A$ остается еще стабильной до более высокой температуры, а при 1658 К происходит лишь перестройка коннод с $M_2A_2S_5 - A$ на $M_4A_4S_2 - A_3S_2$ (рис. 2).

Температура дестабилизации комбинации фаз $M_4A_4S_2 - A$ определяется из следующих выкладок: $(5)' = (7)' + (6) \equiv (1)' + (2)'$ или $(7)' - (1)' \equiv (2)' - (6)$ и искомая температура отвечает отдельным решениям левой и правой частей последнего тождества.

Из рис. 1 наглядно следует, что пересечения зависимостей $\Delta G = f(T)$ для реакций (1)' и (7)', (6) и (2)' отмечаются при 1733 К выше которой меняется субсолидусное строение системы из-за перестройки коннод с $M_4A_4S_2 - A$ на $MA - A_3S_2$.

Таким образом, система $MgO - Al_2O_3 - SiO_2$ является самоорганизующейся за счет периодического сопряжения твердофазных обменных реакций в неизотермических условиях.

Список литературы: 1. Логвинков С.М. О механизмах твердофазных химических реакций в системе $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ / С.М. Логвинков, Г.Д. Семченко, Д.А. Кобызева // Огнеупоры и техническая керамика. – 1998. – № 8. – С. 29 – 34. 2. Логвинков С.М. Методология разработки огнеупорных материалов с учетом обратимых твердофазных химических реакций / [С.М. Логвинков, Г.Д. Семченко, Д.А. Кобызева, С.В. Тищенко] // Сб. научн. трудов УГНИИО "Решение научных и практических проблем в технологии огнеупоров". – Х.: Каравелла, 1998. – С. 175 – 182. 3. Логвинков С.М. Характеристики субсолидусного строения системы $NiO-MgO-Al_2O_3-SiO_2$ / [С.М. Логвинков, Д.А. Кобызева, Г.Д. Семченко, Д.С. Логвинков] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2003. – № 6. – С. 6 – 11. 4. Логвинков С.М. Влияние периодических реакций в системе $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ на фазовый состав и свойства кордиеритсодержащих материалов / [С.М. Логвинков, Г.Д. Семченко, Д.А. Кобызева и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2001. – № 6. – С. 16 – 23. 5. Логвинков С.М. Кинетическое моделирование твердофазных реакций в системе $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ / Д.А. Кобызева, С.М. Логвинков // Вісник НТУ "ХПІ". – 2001. – Вип. 19. – С. 42 – 44. 6. Логвинков С.М. Термодинамика фазовых взаимоотношений в субсолидусе системы $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ / [С.М. Логвинков, Г.Д. Семченко, Д.А. Кобызева, В.И. Бабушкин] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2001. – № 12. – С. 9 – 15. 7. Логвинков С.М. Наноструктурирование и высокотемпературное упрочнение материалов системы $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ при твердофазных обратимых реакциях / [С.М. Логвинков, Н.К. Вернигора, Г.Н. Шабанова и др.] // XX Всесоюзн. совещ. по температуроустойчивым функциональным покрытиям (к 60летию Института химии силикатов), 27-28 ноябр. 2007 г.: тезисы докл. – С.-Пб., 2007. – С. 55 – 56. 8. Логвинков С.М. Концепция управления твердофазными обменными реакциями при получении гетерофазных оксидных материалов / С.М. Логвинков // Технология и применение огнеупоров и технической керамики в промышленности: междунар. науч.-техн. конф., 26-27 апр. 2009 г.: тезисы докл. – Х., 2009. – С. 30 – 31.

А.В. АНЦИФЕРОВ, канд. техн. наук, доц.; *И.В. КОМАРОВА*, аспирант,
Национальный горный университет, Днепропетровск

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОУДАРЕНИЯ ТЕЛ ЧЕРЕЗ СЛОЙ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА

Експериментальним шляхом досліджується процес ударного здрібнення порошкового матеріалу. Приведені результати удару по нерухомому шару порошку і вплив його товщини на коефіцієнт відновлення швидкості. Також вивчається залежність споживання потужності електродвигуном млина від маси помольних тіл і порошкового матеріалу. Проводиться порівняння отриманих даних з відомими.

An experimental way is research the process of grinding of various materials. The results of hitting the stationary layer of powder and influence of his thickness to speed recovery factor. Dependence of consumption of power is also studied by the electric motor of mill from mass of milling bodies and powder material. A comparison of the data obtained with known

Характерной особенностью вертикальных вибрационных мельниц (МВВ) является возможность обеспечения виброударного режима нагружения измельчаемых порошков [1].

Данный процесс для хрупких материалов существенно увеличивает кинетику измельчения и одновременно осуществляет их активацию.

Однако подбор технологических параметров виброударного режима осуществляется экспериментальным путем по результатам пробных помолов и отсева полученных порошков.

Теория работы МВВ подробно изложена в [2]. Но предложенный подход применим для общего динамического расчета машины и определения ее амплитудно-частотной характеристики.

Для оценочного расчета технологических режимов МВВ возможно применение теории виброударных систем [3].

Но предложенная здесь гипотеза наличия порошкового слоя требует опытной проверки.

Отметим, что первое исследование совместного учета находящихся в помольной камере технологической загрузки и порошка изложено в [4]. МВВ с инерционным приводом и односторонним взаимодействием загрузки с помольной камерой.

Целью данной работы является экспериментальное исследование обеспечения виброударного режима в МВВ с учетом загружаемого в камеру измельчаемого материала.

Решались 2 задачи.

1. Изучение процесса удара шара по слою порошка;
2. Получение и анализ характеристик мощности и шума рабочего процесса измельчения материала в помольной камере МВВ.

1. Методика первого эксперимента и результаты.

Процесс взаимодействия шарика и неподвижной платформы снимается на видеокамеру и прибор для измерения вибрации при помощи акселерометра. Акселерометр представляет собой портативный шумомер, предназначенный для прецизионных звуковых измерений. Также используемый для измерения вибрации.

Видеокамера нам показывает, высоту отскока шара, а акселерометр обеспечивает время между ударами, рис. 1а.

На рис. 1б изображены звуковые данные, полученные при помощи акселерометра, где Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 – время между ударами.

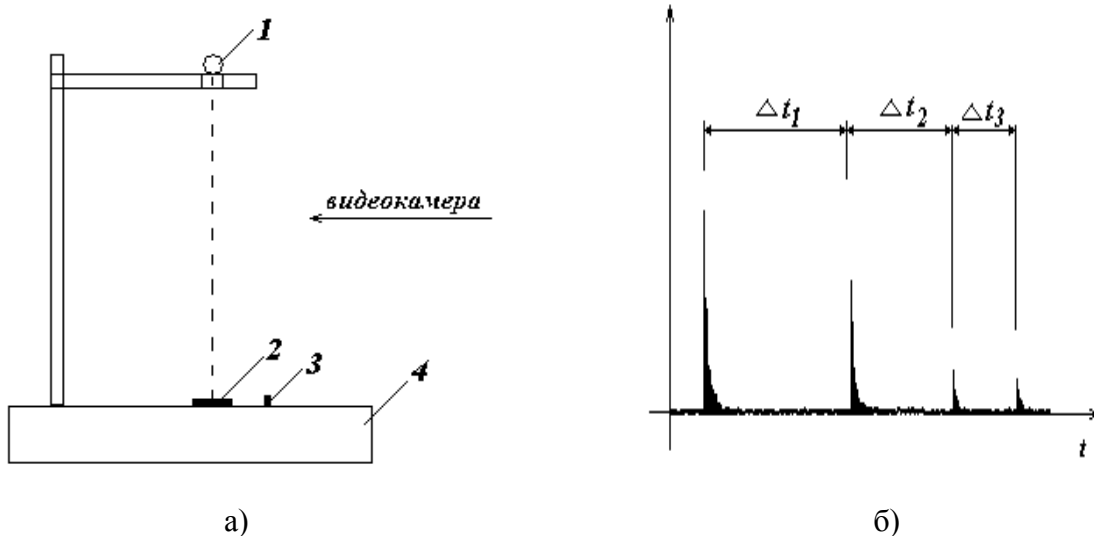


Рис. 1. а) экспериментальная установка (1 – мелющее тело, 2 – форма заданной толщины с порошком, 3 – датчик, 4 – неподвижная платформа),
б) данные акселерометра

Проведены следующие эксперименты:

- 1) взаимодействие элементов без наличия порошка;
- 2) взаимодействие элементов с наличием порошка разной плотности и фракции (металл – 100 – 150 мкм, песок 150 – 200 мкм);

- 3) взаимодействие элементов с различной толщиной слоя порошка;
- 4) взаимодействие элементов с различной высоты падения шарика.

На рис. 2 представлены зависимости коэффициента восстановления удара от толщины слоя порошка и плотности, для шарика диаметром 20 мм: а) металлический порошок, б) песок, R – коэффициент восстановления удара, h – толщина слоя порошка.

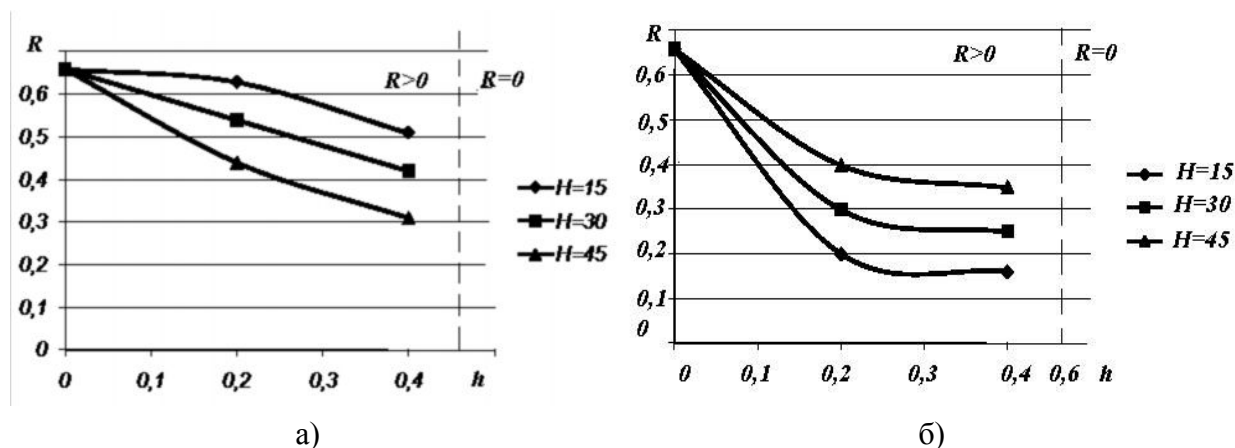


Рис. 2. Зависимость коэффициента восстановления удара от толщины слоя порошка для шарика диаметром 20 мм

Следующим этапом данной теории было проведение аналогичного эксперимента, для шарика диаметром 40 мм.

В общем, результат аналогичен предыдущему, на рис. 3а – процесс ударного взаимодействия с наличием металлического порошка, рис. 3б – с наличием песка.

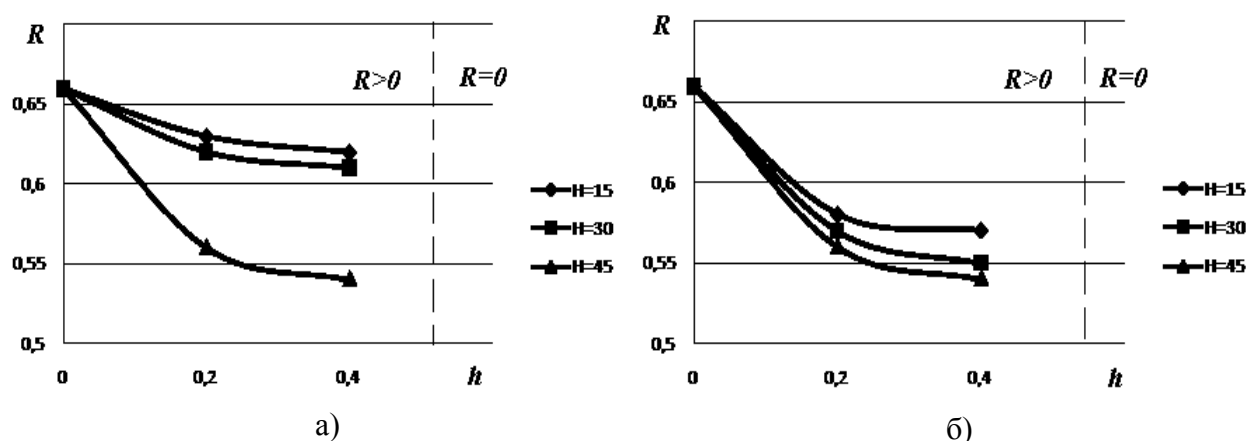


Рис. 3. Зависимость коэффициента восстановления удара от толщины слоя порошка для шарика диаметром 40 мм

Стоит заметить, что кривые взаимодействия элементов системы через

слой металлического порошка, при высоте падения 30 см и 15 см практически совпадают.

То есть эффективность измельчения шарика 40 мм при высоте падения 15 – 30 см одинаковая.

Вывод по первой задаче

До определенной толщины слоя, зависящей от свойств порошка и диаметра мелющих тел, удар можно считать упругим.

2. Методика второго эксперимента и анализ результатов.

Эксперимент проводился на лабораторной вертикальной вибрационной мельнице. При помощи ваттметра снимались показания потребляемой мощности для каждого процесса. Микрофон фиксировал шум рабочего процесса измельчения материала в помольной камере.

Проведены следующие эксперименты:

- 1) взаимодействие элементов без наличия порошка;
- 2) взаимодействие элементов с различным количеством порошка.

Полученные данные сравнивались с экспериментальными исследованиями полученными [4].

На рис. 4, а представлена зависимость потребляемой мощности при работе мельницы с наличием измельчаемого материала в количестве 10 % от веса загрузки, а на рисунке 3б результаты экспериментальных исследований Писарева [4], где m – вес мелющих тел, N – потребляемая мощность.

Стоит отметить, что на рис. 3б – представлено одностороннее взаимодействие загрузки и камеры с ярко выраженным пиком, а на рисунке 3а – двухстороннее взаимодействие, которое обуславливает сглаженность пика.

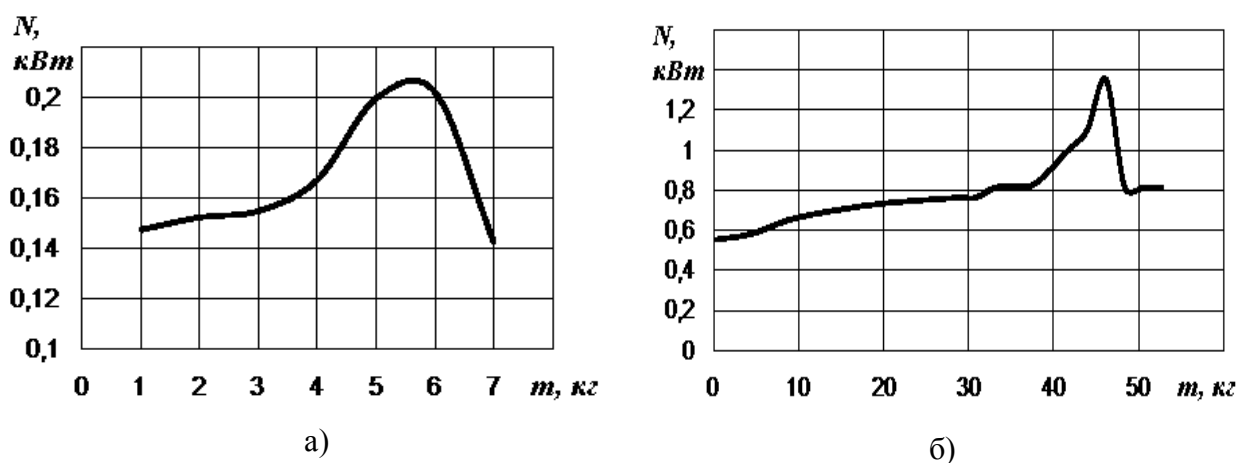


Рис. 4. Зависимость потребления мощности от веса загрузки

На рис. 5 представлены вышепоказанные графики, только приведенные к абсолютным величинам.

Можно заметить, что максимум у них совпадает, то есть кривые имеют схожий характер.

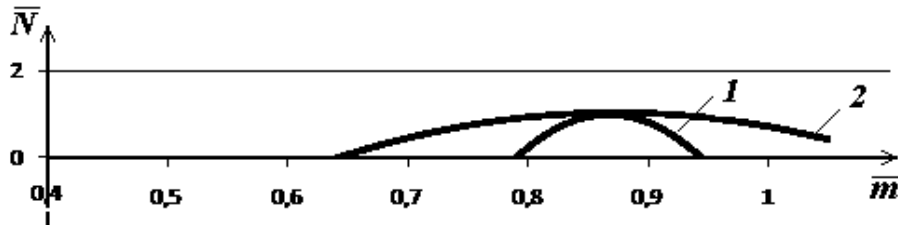


Рис. 5. Потребление мощности в абсолютных величинах (1 – исследования Писарева, 2 – исследования на лабораторной вертикальной вибрационной мельнице)

После этого проводился эксперимент с содержанием измельчаемого материала в соотношении 20 % и 30 % от веса загрузки.

В результате чего были получены следующие зависимости, представленные на рис. 6.

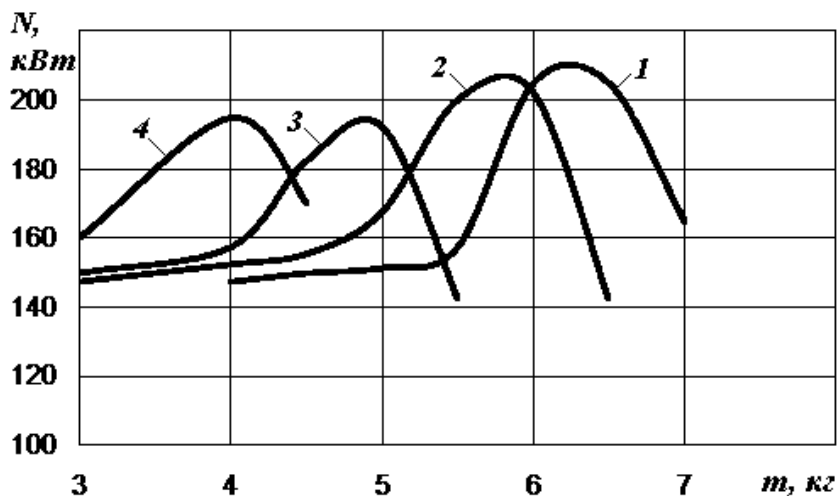


Рис. 6. Зависимость потребления мощности от веса загрузки (1 – без измельчаемого материала, 2 – 10 % измельчаемого материала, 3 – 20 % измельчаемого материала, 4 – 30 % измельчаемого материала)

Выводы по второй задаче

1) На величину потребляемой мощности влияет диаметр и объем мелющих тел;

2) Чем больше вес загрузки, тем больше расход мощности.

При попытке определить мощность потребляемую камерой, без измель-

чаемого материала, был получен звуковой файл, рис. 7, на котором четко видно 34 пика, то есть загрузка соударялась как с крышкой камеры, так и с днищем.

После того как был засыпан измельчаемый материал мы получили 17 пиков, что говорит о том что микрофон ловит только удары о крышку.

Так как у днища находится измельчаемый материал, то микрофон их не фиксирует.



Рис. 7. Звуковой файл, полученные при помощи микрофона

Список литературы: 1. *Анциферов А.В.* Экспериментальное исследование поведения многомассовой системы внутри камеры с вертикальным направлением вибрации / *А.В. Анциферов* // Вісник НТУ «ХП». – 2006. – № 30. – С. 42 – 49. 2. *Франчук В.П.* Конструкция и динамический расчет вибрационных мельниц / *В.П. Франчук* // Техника и технология обогащения руд. – М: Недра, 1995. – С. 143 – 160. 3. *Анциферов А.В.* Неупругое взаимодействие элементов виброударной системы / *А.В. Анциферов, И.В. Комарова* // Вісник НТУ «ХП». – 2009. – № 45. – С. 91 – 98. 4. *Писарев С.П.* Определение механических параметров / *С.П. Писарев* // Сборник научных трудов. – Москва: МГИ, 1960. – № 32. – С.63 – 64.

Поступила в редколлегию 20.08.10

В.А. БАТЛУК, докт. техн. наук, проф.; **В.В. БАТЛУК**, пошукач;
Е.В. РОМАНЦОВ, пошукач, НУ “Львівська політехніка”, м. Львів

ПИЛОВЛОВЛЮВАЧ ПРИНЦИПОВОГО ТИПУ В ПРОЦЕСАХ СЕПАРАЦІЇ ПОЛІДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ

В статті наводяться результати експериментальних досліджень високоефективних апаратів очистки повітря від пилу, основною відмінністю яких є можливість автоматично регулювати кут повороту жалюзі в залежності від типу, якості і розміру пилу та режимів роботи установки та по введеному в пам'ять машини графіку, що дозволяє значно збільшити ефективність їх роботи.

In clause results of experimental researches of highly effective devices for clearing air of a dust which basic difference is the opportunity of automatic control of a corner of turn of jalousie depending on type, qualities and the size of a dust and operating modes of installation on graduated and entered in memory of the machine to the schedule that allows to increase efficiency of its work considerably are resulted.

Постановка проблеми. Екологічний стан багатьох районів нашої країни викликає законну тривогу громадськості. У численних публікаціях показано, що в багатьох регіонах нашої країни спостерігається стійка тенденція до багаторазового, у десятки і більше разів перевищення санітарно-гігієнічних норм по вмісту в атмосфері міст шкідливих речовин. Значний внесок в наведені вище небезпеки вносять процеси подрібнення, розділення, змішування та ущільнення полідисперсних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень. Основним засобом запобігання всіх цих явищ є створення безвідходних виробництв, при яких відходи виробництва зведені до мінімуму або повністю переробляються у вторинні матеріальні ресурси. Технологічні цикли в безвідходних виробництвах організовані таким чином, що всі повітряні і газові потоки, які містять забруднення, ізольовані від навколишнього середовища і знаходяться в замкнутих контурах, а при виході з них проходять через спеціальні очисні пристрої.

В даний час очистка забрудненого повітря і газів від шкідливих домішок є основним способом охорони повітряного середовища у всіх випадках, коли застосування активних методів знищення виділення цих речовин в самому технологічному процесі поки неможливе або економічно недоцільне.

При всіх існуючих методах очистки повітря від пилу прекрасні результати досягаються при вловленні великодисперсних частинок, а дрібнодиспе-

рсні частинки при цьому неможливо вивести з пилоповітряного потоку, а їх частка в загальному об'ємі колосальна.

Зважаючи на це, сьогодні найважливішим є створення пиловловлювачів, які здатні високоефективно вловлювати дрібнодисперсний пил.

В апаратах одноступеневої дії досягти необхідного ефекту неможливо, тому в даний час авторами статті створена ціла серія двоступневих апаратів відцентрово-інерційної дії, які суміщають в одному корпусі ефект відцентрового виділення великодисперсних частинок аерозолу і ефект інерційного розділення дрібнодисперсного пилу при проходженні через жалюзі відокремлювача певної конструкції, встановленого коаксіально корпусу апарата.

Недоліком таких пиловловлювачів є неможливість регулювання кута повороту його жалюзі, тобто для всіх типів пилу жалюзі відокремлювача мають одне, точно зафіксоване положення, що робить його малоефективним при вловленні полідисперсного пилу (наприклад при подрібненні, розділенні, змішуванні та ущільненні полідисперсних матеріалів).

Ми поставили перед собою **завдання** створити пиловловлювач для полідисперсного пилу, в якому підвищення ефективності роботи досягається шляхом автоматичного самовстановлення жалюзі, що забезпечує для даного типу пилу створення мінімального кута атаки (кута між напрямком руху потоку і площиною кожної жалюзі).

Виклад основного матеріалу. Існують пиловловлювачі, в яких встановлення оптимального кута повороту жалюзі відбувається природним шляхом, тобто самовстановленням жалюзі в залежності від типу пилу і технологічних режимів роботи установки в подальшому позначені, як і апарат.

Але не завжди цей кут забезпечує мінімальний кут атаки, через те, що пил – полідисперсний і його склад не відповідає медіанному діаметру і в умовах виробництва визначення дисперсного складу пилу декілька разів на день є задачею, яку неможливо виконати.

Крім того в залежності від тиску і концентрації пилу змінюються і технологічні параметри роботи установки, тобто розхід повітря в стенді і швидкості входу пилогазової суміші в апарат, тобто існує певна досить довга в часі інертність у реєстрації цих параметрів, що в свою чергу приводить до встановлення кута повороту жалюзі, який не є мінімальним кутом атаки. Тому виникла необхідність у створенні пиловловлювача, в якому кут повороту жалюзі встановлюється механічним шляхом (рисунок).

Жалюзі відокремлювача повертаються навколо вертикальної осі на пев-

ний кут за рахунок руху патрубка для виходу чистого повітря, який жорстко з'єднаний з регулюючим кільцем, а це дає можливість регулювати кут атаки в залежності від типу, розміру, якостей пилу і режиму роботи установки пилоочищення.

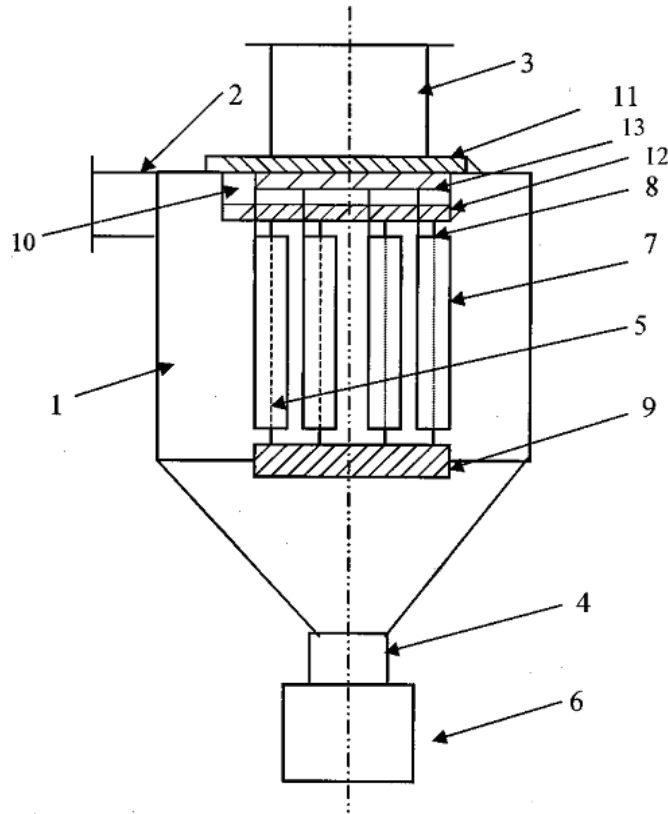


Рисунок – Пиловлловлювач для полідисперсного пилу

Зі зміною цих параметрів змінюється взаємне розташування жалюзі, тобто кут між напрямком руху потоку і площиною кожної з пластин жалюзі. Чим більший кут атаки, тим гострішим стає кут, під яким пилоповітряна суміш попадає в щілини між жалюзі відокремлювача, тим більше частинки пилу відстають від потоку і тим ближче до зовнішньої кромки жалюзі (в сторону корпусу апарата) частинки пилу стикнуться з жалюзі і тим більша ймовірність їх відбиття в сторону зовнішньої стінки корпусу, де рухається грубодисперсний пил, тобто все це веде до збільшення ефективності очистки.

Крім того, можливість автоматичного регулювання кута атаки дає можливість за допомогою ЕОМ встановлювати певний кут повороту жалюзі в залежності від типу, якостей, розміру пилу і режимів роботи установки, тобто підбирати для них оптимальний кут атаки, регулюючи таким чином процес пилоочистки.

Знаючи наперед характеристики пилу, який нам необхідно вловити, ми

за допомогою ЕОМ і системи автоматики повертаємо патрубок для виходу чистого повітря, а з ним і регулююче кільце таким чином, щоб жалюзі відокремлювача повернулися навколо вертикальної осі так, щоб створити оптимальний кут атаки для цього типу пилу і забезпечити йому умови найсприятливішого вловлення.

Пиловловлювач працює наступним чином.

Через тангенціальний патрубок 2 пилоповітряна суміш вводиться в корпус апарата 1, де вона гвинтоподібно обертається навколо патрубка для виходу очищеного повітря 3. Тут на потік діє відцентрована сила, яка відкидає грубодисперсні частинки пилу до стінки корпусу 1.

Таким чином здійснюється первинна очистка повітря від грубодисперсного пилу і в результаті – найбільш забруднене повітря рухається вздовж стінки корпусу 1.

Частинки пилу, що залишилися з повітрям, захоплюються потоком, що рухається вздовж жалюзійного відокремлювача 5 і за рахунок своєї інерції не встигають за повітряним потоком, який рухається вздовж корпусу 1, який і транспортує їх до пилувипускного патрубка 4, а через нього в бункер 6 або рухаються вздовж жалюзійного відокремлювача вниз у напрямку патрубка 4 і бункера 6.

Таким чином, при проходженні через жалюзійний відокремлювач 5 відбувається вторинна очистка потоку від дрібнодисперсного пилу.

Обертаючи патрубок для виходу чистого повітря 3 навколо своєї осі (вручну або автоматично) ми створюємо зусилля обертання, яке через регулююче кільце 13 і направляючий штир 12 повертає жалюзі 7 на кут від 0 до 60 градусів.

Таким чином, змінюється кут атаки (кут між напрямом руху потоку і площиною кожної з пластин жалюзі), який визначає оптимальні умови вловлення кожної складової полідисперсного пилу, або кожного конкретного виду пилу.

Визначивши оптимальні кути атаки для цілого ряду пилу і внісши ці дані в ЕОМ, ми зможемо в подальшому автоматично або вручну, запропонованим вище способом, встановлювати їх в залежності від умов кожного конкретного виробництва.

При потребі вловлення великодисперсного пилу або для створення режиму з великим розходом повітря, жалюзі 7 повертаються таким чином, щоб створити мінімально можливий кут атаки, що дозволяє посилити дію сил іне-

рції на тверді частинки пилу, їхнє відбивання від жалюзі, приблизити місце їх стикання з жалюзі ближче до зовнішньої її частини (в напрямку корпусу апарата), а в результаті – це призведе до збільшення ефективності роботи апарата.

Зі зменшенням розмірів і маси частинок пилу (дрібнодисперсний пил) в створенні режиму роботи установки з невеликими витратами повітря збільшується кут нахилу жалюзі 7 по відношенню до траєкторій обертового руху потоку навколо жалюзійного відокремлювача 5 таким чином, щоб забезпечити максимально можливе відбиття частинок пилу від жалюзі 7 і не допустити їх проникнення всередину відокремлювача 5, тобто збільшити ефективність очистки.

При цьому жалюзі 7 повинні мати певні межі повороту в горизонтальній площині, тому що при дуже великому повороті, частинки пилу можуть зовсім не стикнутися з жалюзі, а легко проникнути всередину відокремлювача 5, або потрапити на ту частину жалюзі 7, яка відіб'є їх всередину відокремлювача 5.

Експериментальні дослідження запропонованого пиловловлювача проведені на стандартному експериментальному стенді Національного університету „Львівська політехніка” на стандартному, приготовленому нами пилу – кварцовому піску.

У табл. 1 наведені результати експериментальних досліджень залежності ефективності вловлення пилу від витрат повітря в установці, швидкості входу пилоповітряної суміші в апарат і медіанного розміру пилу.

Таблиця 1

Залежність ефективності пиловловлення від витрат газу, швидкості входу пилогазової суміші в апарат і медіанного діаметра пилу

Параметр, що визначає ефективність	Ефективність вловлення пилу, %									
	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	
Витрати повітря в стенді, м ³ /год	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
Швидкість входу в апарат, V _{вх} , м/с										
Медіанний діаметр пилу, δ ₅₀ =8·10 ⁻⁶ м	87,6	88,3	89,1	91,0	91,3	91,2	89,8	89,2	88,3	
δ ₅₀ =16·10 ⁻⁶ м	89,1	89,7	91,2	93,0	93,6	93,4	92,8	92,2	91,3	
δ ₅₀ =32·10 ⁻⁶ м	92,3	92,5	93,1	93,8	95,1	94,8	93,9	93,5	92,8	
δ ₅₀ =50·10 ⁻⁶ м	93,2	94,1	94,9	96,0	97,8	98,1	97,3	96,9	95,2	

Порівняльні дослідження трьох типів апаратів: перший – з самостійно

встановлюючими жалюзі, другий – запропонований, третій – циклон ЦН-11 наведені в табл. 2.

Досліджувалися три типи апаратів: перший – апарат з самостійно встановлюючими жалюзі, другий – запропонований апарат, третій – циклон ЦН-11. Дані досліджень наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняльні дослідження пиловловлювачів

Витрати повітря, Q, м ³ /год	Ефективність вловлення пилу, η, %											
	І апарат				ІІ апарат				ІІІ апарат			
	Розмір пилу, δ ₅₀ , 10 ⁻⁶ м											
	8	16	32	50	8	16	32	50	8	16	32	50
1000	87	88,9	91,4	92,6	87,6	89,1	92,3	93,2	81,2	84,3	88,5	90,6
1500	87,6	89,1	91,8	93,0	88,3	89,7	92,5	94,1	82,3	84,7	89,1	91,5
2000	88,4	89,8	92,7	93,8	89,1	91,2	93,1	94,9	82,7	85,1	91,2	92,8
2500	89,5	91,2	93,4	94,7	91,0	93,0	93,8	96,0	83,8	85,8	92,3	93,9
3000	90,2	93,3	94,2	96,1	91,3	93,6	95,1	97,8	84,1	86,0	93,0	94,6
3500	90,3	93,1	93,8	95,3	91,2	93,4	94,8	98,1	84,0	85,9	93,0	94,5
4000	89,0	92,4	93,2	95,1	89,8	92,8	93,9	97,3	83,1	85,3	92,7	94,3
4500	87,3	91,0	91,9	94,3	89,2	92,2	93,5	96,9	81,0	84,1	92,4	93,8
5000	86,4	89,7	90,0	93,2	88,3	91,3	92,8	95,2	80,3	82,0	91,9	92,3

Висновки та перспективи подальших досліджень.

Таким чином, пиловловлювач по першому варіанту дозволяє отримати ефективність, яка перевищує ефективність найкращого з існуючих сухих апаратів для очистки повітря від пилу циклона ЦН-11 на 2 – 4 %, що досягається завдяки встановленню в корпусі апарата другого ступеня очистки – жалюзійного відокремлювача, жалюзі якого самовстановлюються в залежності від витрат повітря і розміру пилу.

Це особливо необхідно у виробництвах, де дуже часто ці параметри змінюються і немає можливості миттєво реагувати на такі зміни.

Найвищу ефективність вловлення пилу ми змогли досягти в пиловловлювачі другого варіанту, запропонованому нами апараті, коли в залежності від зміни параметрів пилогазового потоку і пилу, ми автоматично (за допомогою ЕОМ) змінюємо кут повороту жалюзі по градуйованому і введеному в пам'ять машини графіку.

Запропонований нами апарат знайшов застосування в будівельній галузі для вловлення полідисперсного пилу, який утворюється при обробці різних

за фізико-хімічним і морфометричним складом матеріалів при їх подрібленні, розділенні, змішуванні та ущільненні.

Список літератури: 1. Батлук В.А. Нові методи очистки повітря в коксохімічному виробництві / [В.А. Батлук, А.В. Ляшеник, С.В. Шибанов та ін.] // Вестник НТУУ «КПІ». – 2008. – № 52. – С. 41 – 49. 2. Батлук В.А. Дослідження розподілу статичного тиску в сепараційній зоні пиловловлювача з жалюзійним відокремлювачем / В.А. Батлук, В.С. Джигерей, Ю.Р. Дадак // Промислова гідравліка і пневматика. – 2007. – № 4(18). – С. 27 – 30.

Надійшла до редколегії 20.08.10

УДК 666.9.015.66

Д.А. БРАЖНИК, канд. техн. наук, наук. співроб.,
Г.Д. СЕМЧЕНКО, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків

ВЛИЯНИЕ ФОСФАТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРИКЛАЗОХРОМИТОВЫХ ОГНЕУПОРОВ

У данній статті наведено та порівняно фізико-механічні властивості периклазо-хромітових матеріалів в залежності від різних типів фосфатних зв'язуючих та введення різних домішок. Визначено, що найбільш раціональним є введення триполіфосфату натрію.

In given clause are resulted and the physycal-mechanical properties periclase-cgromite of materials are compared depending on different of types phosphate binding and introduction of the various additives. Is determined, that most rational is the introduction treepolyphosphate sodume.

Периклазохромітові огнеупори нашли широкое применение в сводах мартеновских печей, для огнеупорной футеровки печей плавления феррованадия, сталеразливочных ковшей, футеровке агрегатов внепечного вакуумирования стали, в камерах струйного вакуумирования, вакуум – камерах [1, 2].

Широкое их использование обусловлено возможностями применения безобжиговых изделий, что позволяет повысить технико – экономическую эффективность ремонта футеровки агрегатов.

Твердение и структурирование материлов на фосфатных связующих при низких температурах, их упрочнение способствует успешному развитию и

созданию новых композитов и способов их получения, в том числе и периклазохромитовых.

Потому задача создания базобжиговых периклазохромитовых огнеупоров с использованием фосфатных связующих является актуальной.

Цель работы состояла в исследовании свойств периклазохромитовых материалов, полученных при использовании фосфатных связующих различных видов по безобжиговому способу.

В качестве исходного сырья использовали хромит и периклаз, химический состав которых представлен в таблице 1.

Состав фракции периклаза: 2 – 1 – (50 мас. %), 1 – 0,5 – (10 – 15 мас. %), < 0,5 – (10 – 15 мас. %), тонкомолотой составляющей – (20 – 25 мас. %).

Тонкомолотая составляющая состояла из периклаза и хромита в соотношении 70 : 30 мас. %, соответственно.

Таблица 1

Химический состав сырья

Содержание оксидов	П.п.п., мас. %	SiO ₂ мас. %	Al ₂ O ₃ мас. %	CaO мас. %	MgO мас. %	Cr ₂ O ₃ мас. %	Fe ₂ O ₃ мас. %
MgO _{сп.}	1,17	3,52	1,43	1,65	91,3	-	0,87
Хроміт	0,99	9,4	10,2	2,6	17,3	43,3	16,2

Образцы размерами 30 × 30 × 30 мм формовали методом прессования при давлении 50 МПа. В качестве фосфатных связующих использовали АХФС (алюмохромфосфатное связующее), ТПФ (триполифосфат натрия), МФС (магнийфосфатное связующее), которые смешивали с водой в соотношении 1 : 2, 1 : 1 та 1 : 2, відповідно.

В качестве добавок применяли магнезит по ДОСТ 1216 – 87 (2 мас. %), глину ДН – 2 по ТУ 14-8-183 (2 мас. %) та СДБ по ГОСТ 8518-57 (0,06 мас. %).

Образцы подвергали термообработке в сушильном шкафу в воздушной среде до температуры 433 К, изотермическая выдержка составляла 4 часа.

Результаты физико-механических свойств образцов представлены в таблице 2 и на рисунке.

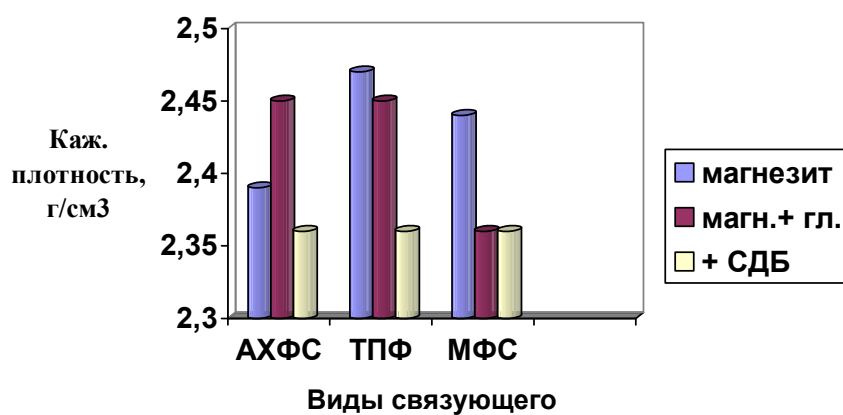
Как видно из результатов, указанных в табл. 2, наибольшими значениями предела прочности при сжатии характеризуются образцы материалов, формованных с использованием связующего ТПФ.

При этом введение глины (до 2 мас. %) снижает прочностные характеристики. Значения кажущейся плотности также максимальны для этого материала, что по-видимому, связано с меньшими потерями при нагревании, согласно [4].

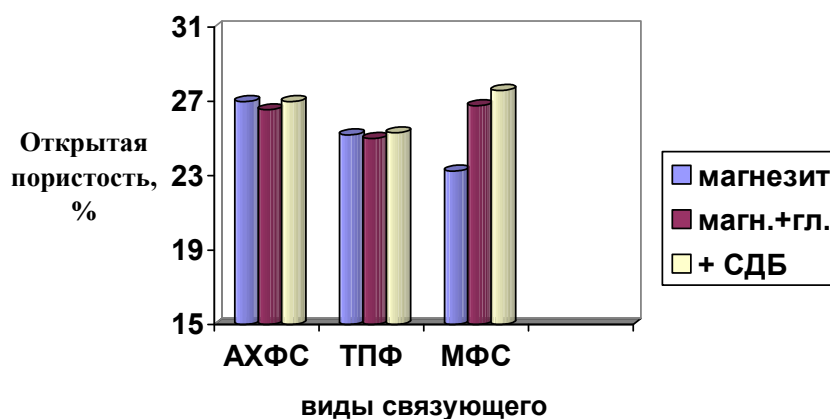
Таблица 2

Показатели прочности образцов на фосфатных связующих

Добавки	Прочность образцов, кг/см ²		
	АХФС	ТПФ	МФС
Магнезит	25,6	42,4	29,68
Магнезит + глина	33,92	36,04	32,04
Магнезит + глина + СДБ	26,7	42,4	25,44



а



б

Рисунок – Результаты кажущейся плотности (а) и открытой пористости (б) периклазохроми-товых базобжиговых материалов при введении различных видов фосфатных связующих

Следует отметить, что все материалы с использованием различных фосфатных связующих при одновременном одинаковом введении добавок (магнезита, глины и СДБ) характеризуются одинаковыми значениями кажущейся плотности – 2,36 г/см³.

Таким образом, наиболее рациональным для технологии прессованных периклазохромитовых огнеупоров, изготавливаемых по безобжиговому способу, является использование в качестве фосфатного связующего триполифосфата натрия, способствующего упрочнению материалов при 433 К.

Одновременное введение каустического магнезита с добавками глины (до 2 мас. %) и СДБ показывает однозначность их влияния при использовании различных видов фосфатных связующих на кажущуюся плотность образцов.

Список литературы: 1. Романовский Л.Б. Магнезиально-шпинелидные огнеупоры / Л.Б. Романовский. – М.: Металлургия. – 1983. – 143 с. 2. Семченко Г.Д. Неформованные огнеупоры: уч. пособие. / Г.Д. Семченко. – Х.: НТУ «ХПИ», 2007. – 304 с. 3. Онода К.К. Внедрение нового состава торкрет-массы для футеровки сталевыпускных железобетонных конструкций / [К.К. Онода, В.М. Галушка, С.А. Сидоров и др.] // Сталь. – 2003. – № 10. – С. 10 – 13. 4. Копейкин В.А. Огнеупорные бетоны на фосфатных связующих / В.А. Копейкин, В.С. Климентьева, Б.Л. Красный. – М.: Металлургия, 1986. – 102 с.

Поступила в редколлегию 22.08.10

Б.В. ВИНОГРАДОВ, докт. техн. наук, проф.,

И.А. ОСТАШКО, аспірант, ДВНЗ УДХТУ, м. Дніпропетровськ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ РОТОРНО-ІМПУЛЬСНОГО АПАРАТУ ДЛЯ ДИСПЕРГУВАННЯ ТВЕРДОГО ЗАЛИШКУ ПІРОЛІЗУ ЗНОШЕНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН

У статті представлені результати дослідження процесу диспергування твердого залишку піролізу зношених шин у роторно-імпульсному апараті. Показана доцільність застосування диспергованого твердого залишку в якості замітника технічного вуглецю низької активності.

In the article the presented results of research of the process dispergating of hard remain of pyrolysis of worn-out tires are in a rotor-impulsive vehicle. The shown expediency of application of dispergating of hard remain is as a substitute of technical carbon of subzero activity.

Актуальність роботи. Одним з перспективних шляхів утилізації зношених автомобільних шин є метод піролізу. Для підвищення ефективності утилізації цим методом необхідно знайти економічно обґрунтований напрямок застосування твердих залишків піролізу (ТЗП), що утворюються в результаті піролізу зношених шин.

Таким напрямком, при достатньо тонкому подрібненні, є застосування твердого залишку в якості технічного вуглецю, як наповнювача гумотехнічних виробів.

З відси постає задача визначення найбільш раціонального методу та обладнання для диспергування твердого залишку піролізу зношених автомобільних шин.

Роторно-імпульсний апарат (РІА) є одним з перспективних обладнань для багатofакторного імпульсного впливу на гетерогенні системи з метою отримання сталих, високодисперсних сумішей, емульсій та суспензій [1]. РІА використовуються для обробки таких систем як «рідина-рідина», «рідина-тверде тіло» та «газ-рідина» за рахунок широкого спектру факторів впливу на оброблювану суміш: механічні, гідродинамічні, гідроакустичні [2].

Постановка цілей та задач дослідження. Універсальні РІА зазвичай використовуються в малотоннажному виробництві [3] з широким спектром номенклатури вироблюваного продукту та для вирішення дослідницьких завдань.

У рамках даної роботи таким завданням є дослідження ефективності диспергування твердих залишків піролізу зношених автомобільних шин.

Об'єктом дослідження – є процес диспергування твердих залишків піролізу зношених автомобільних шин.

Для проведення дослідження створено лабораторну установку РІА радіального типу.

Схема лабораторної роторно-імпульсної установки представлена на рис. 1.

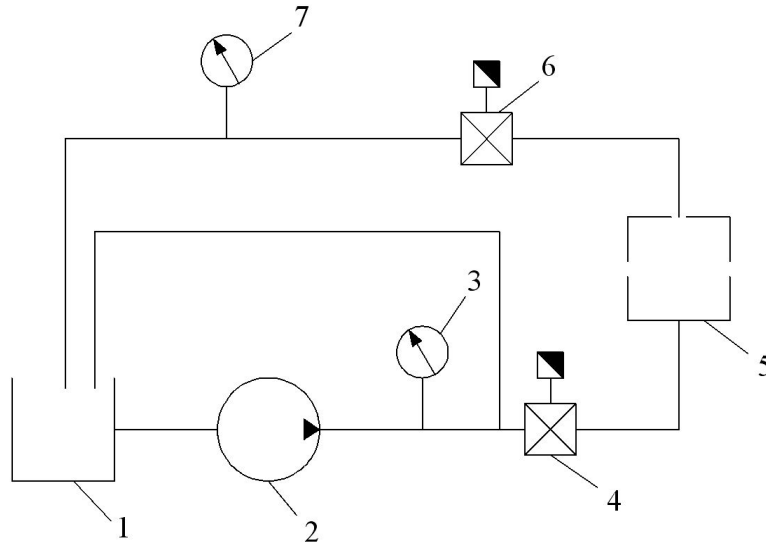


Рис. 1. Схема лабораторної роторно-імпульсної установки:

- 1 – бак; 2 – відцентровий насос; 3 – манометр; 4 – регулюючий дросель; 5 – роторно-імпульсний апарат; 6 – регулюючий дросель; 7 – манометр.

Вихідним матеріалом для дослідження була суміш води та твердого залишку піролізу (ТЗП) у масовому співвідношенні 20 кг води та 1 кг ТЗП.

Попередньо ТЗП був механічно подрібнений до розмірів менших 100 мкм оскільки зазор між ротором та статором на лабораторній установці РІА виконано саме 100 мкм. Вихідний гранулометричний склад ТЗП у суміші визначений ситовими методами представлений у таблиці

Таблиця

Гранулометричний склад вихідного ТЗП у суміші

Діапазони крупності	Масова доля, %	Маса, г
100-80 мкм	35,7	714
80-60 мкм	32,6	652
60-40 мкм	24,1	482
<40 мкм	7,6	152

Вибір оптимального режиму роботи РІА виконувався с позиції визначен-

ня режиму в якому процес кавітації буде найбільш інтенсивним.

Підбір режиму виконувався за допомогою дроселів на вході та виході з РІА. Критерієм інтенсивності кавітації був максимальний перепад тиску на апараті.

Відповідно до цього критерію був обраний режим роботи відповідно до якого перепад тиску на РІА складав 0,15 МПа, а продуктивність складала $1,6 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{с}$.

У лабораторних умовах був реалізований замкнутий цикл обробки суміші на протязі 16 хвилин, виходячи з продуктивності апарату можна зазначити, що матеріал котрий піддавався подрібненню пройшов 35 циклів обробки у РІА.

Через кожні 2 хвилини бралася проба суміші на виході з РІА, для аналізу адсорбції дибутилфталата ТЗП, попередньо проба фільтрувалась та збезводнювалась.

Після 16 хвилин проводився аналіз гранулометричного складу оптичними методами, а саме аналізу на мікроскопі.

Також відбиралося 150 г. обробленого на РІА ТЗП для випробування його в якості наповнювача гумотехнічних виробів.

Викладення основного матеріалу та результатів дослідження. Одним з основних характеристик технічного вуглецю є така характеристика як його структурність [4], вона характеризує поверхневу активність часточок технічного вуглецю (ТВ).

Критерієм, що характеризує структурність ТВ є показник адсорбції дибутилфталату (ДБФ). Визначення показника ДБФ виконувалося у відповідності до [5].

На рис. 2 представлена кінетика диспергування ТЗП у РІА.

Аналіз графіку на рис. 2 показує, що процес диспергування ТЗП відбувається на протязі всього часу обробки матеріалу.

Досягнення показника ДБФ $103 \text{ см}^3/100\text{г}$ є досить суттєвим оскільки максимальне значення показника яке вдавалося досягти механічними методами подрібнення складає $86 \text{ см}^3/100\text{г}$, а показник промислового ТУ 514 складає $115 - 125 \text{ см}^3/100\text{г}$.

Аналіз подрібненого матеріалу на мікроскопі показав, що після обробки матеріалу в РІА кількість часток розміром менше 60 мкм складає більше 93 %, в той час як у вихідному матеріалі кількість частинок менше 60 мкм складала лише 31,7 %.

Основним напрямком застосування подрібненого твердого залишку піролізу, є його використання в якості наповнювача гумотехнічних виробів (ГТВ), то, з цього впливає доцільність перевірки ефективності використання твердих залишків піролізу в якості наповнювачів ГТВ.

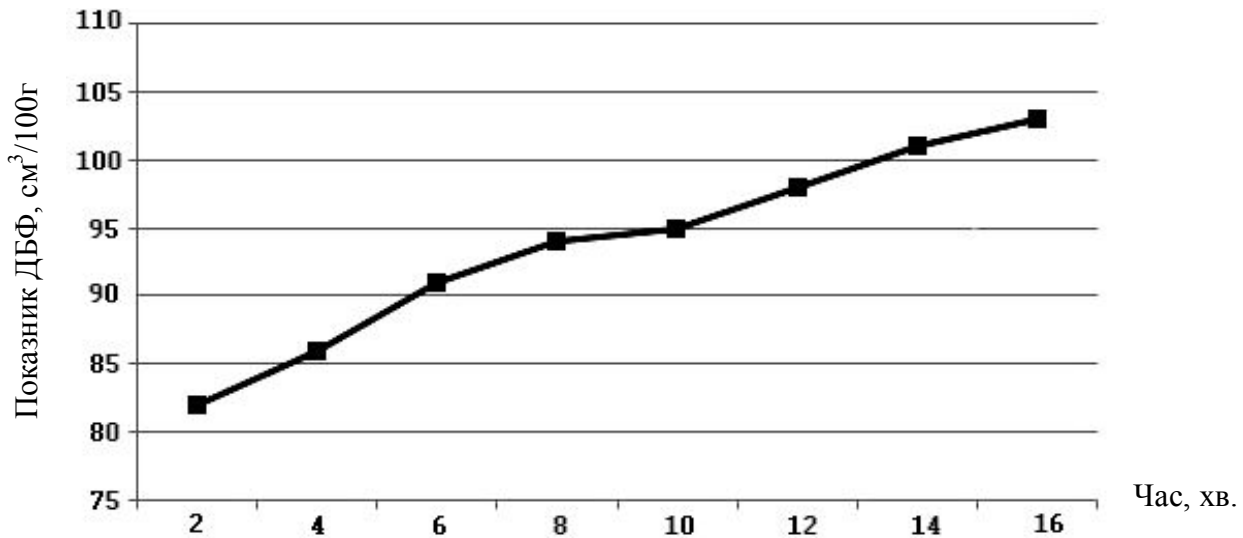


Рис. 2. Кінетика процесу диспергування ТЗП у РІА

В процесі обробки матеріалу в РІА утворюється статично стійка піна на поверхні суспензії.

Тому було проведено дослідження на ефективність застосування в якості наповнювача еластомерів як утвореної піни так і твердого залишку, що залишився в суспензії.

Для виявлення ефективності обробки твердого залишку піролізу у РІА також було перевірено вихідний матеріал в якості наповнювача.

Випробування проводилися при нормальних умовах [6], визначалися такі властивості гуми як: опір розриву, твердість, еластичність, опір роздеру, відносне подовження, умовне напруження при подовженні у 100 %.

На рис. 3 представлена діаграма міцності досліджуваних гум.

На рис. 4 представлена діаграма опору роздеру отриманих гум.

Аналізуючи рис. 3, 4 можна зробити висновок про ефективність диспергування твердого залишку піролізу у роторно-імпульсному апараті, оскільки властивості гуми отриманої з використанням в якості наповнювача продукту після подрібнення у РІА, переважають властивості гуми виготовленої з використанням вихідного продукту.

Як видно з рис. 4 найкращі показники міцності досліджуваної гуми має ТЗП котрий знаходився у піні після обробки на РІА, що може бути пояснено

найбільшою дисперсністю цих часточок.

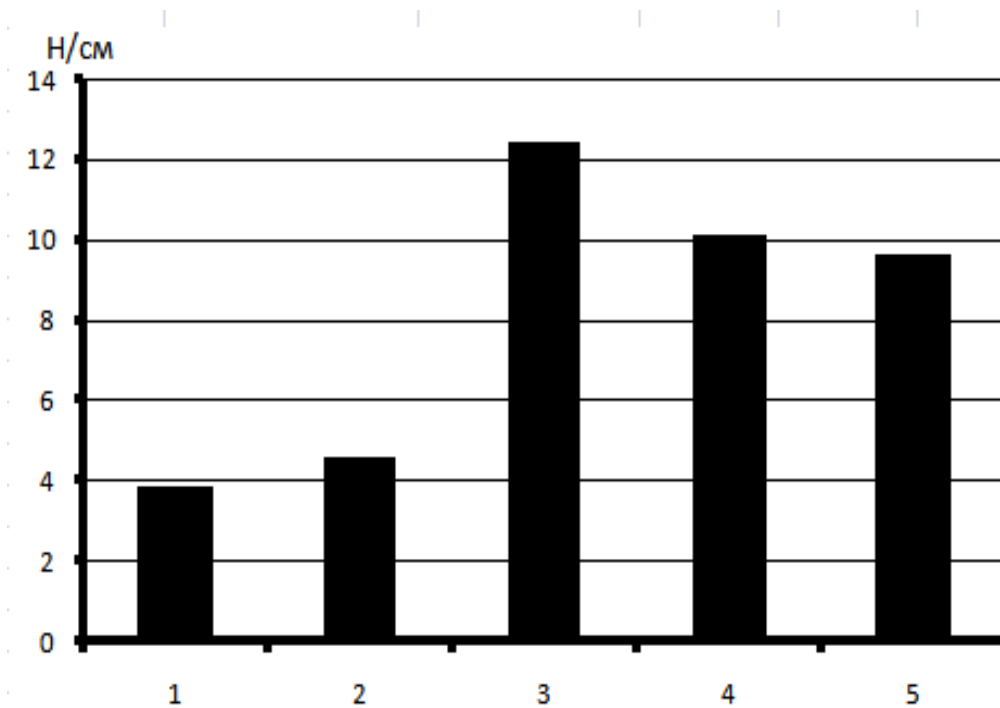


Рис. 3. Міцність досліджуваних гум:

1 – без наповнювача; 2 – наповнювач крейда;
3 – наповнювач ТЗП з піни утвореної після обробки на РІА;
4 – наповнювач ТЗП з суспензії після обробки на РІА; 5 – вихідний матеріал

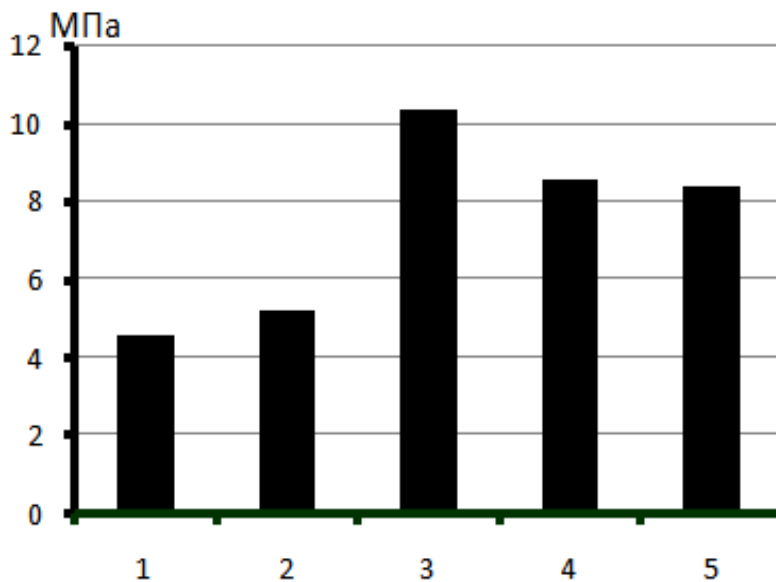


Рис. 4. Опір роздеру досліджуваних гум:

1 – без наповнювача; 2 – наповнювач крейда;
3 – наповнювач ТЗП з піни утвореної після обробки на РІА;
4 – наповнювач ТЗП з суспензії після обробки на РІА; 5 – вихідний матеріал

Найбільшим же опором до роздираючих впливів, серед гум з використанням ТЗП, має гума виготовлена з наповнювачем, що знаходився в суспензії після обробки в РІА, що може бути пояснено наявністю меншої кількості летучих компонентів в обробленому ТЗП.

Виходячи з вищесказаного, можна зробити висновок, що в залежності від вимог до властивостей гум ефективним буде використання ТЗП як з піни так і з суспензії що отримані після обробки на РІА.

Висновки:

1. Дослідження показали, що обробка у роторно-імпульсному апараті значно підвищує поверхневу активність твердого залишку, оскільки було досягнуто значення коефіцієнта ДБФ $103 \text{ см}^3/100\text{г}$, що переважає максимальне значення показника ДБФ $86 \text{ см}^3/100\text{г}$ яке вдавалося досягти механічними методами подрібнення.

2. Незначне підвищення якості модельних гум при обробці ТЗП у РІА можна пояснити підвищенням зольності кінцевого продукту за рахунок солей металів, що знаходяться у воді і залишаються у продукті після її випарювання.

3. Аналіз гуми показав, що в утвореній статично стійкій піні концентруються найменші часточки подрібненого ТЗП, що може бути пояснено процесом флотації.

Список літератури: 1. Балабишко А.М. Гидро-механическое диспергирование: монография / А.М. Балабишко, А.И. Зимин, В.П. Ружецкий. – М.: Наука, 1998. – 330 с. 2. Богданов В.В. Эффективные малообъемные смесители: монография / В.В. Богданов, Е.И. Христофоров, Б.А. Клоунг. – Л.: Химия, 1989. – 224 с. 3. Промтов М.А. Применение роторного аппарата для утилизации отходов микробиологических производств / М.А. Промтов, В.М. Червяков, Ю.В. Воробьев // Процессы и аппараты микробиологических производств: тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф. – М., 1989. – С. 172 – 186. 4. Туренко С.В. Наполнители для резин: монография / [С.В. Туренко, А.Ф.Пучков, В.Ф. Каблов и др.]. – Волгоград: ВолгГТУ, 2005. – 72 с. 5. Методы определения удельной адсорбционной поверхности технического углерода. Технические требования: ГОСТ 25699.5-90. – [Введ. 1990-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 8 с. 6. Осотник И.А. Практикум по технологии резиновых изделий: монография / И.А. Осотник, В.С. Шейн. – Л.: Химия, 1989. – 224 с.

Поступила в редакцію 22.08.10

Г.Д. СЕМЧЕНКО, докт. техн. наук, проф;

Н.Ю. КОБЕЦЬ, мол. наук. спів., *В.В. ДАВИСКИБА*, студентка,
НТУ“ХПІ”, м. Харків

ІМПОРТОЗАМІНЮЮЧІ АЛЮМОСИЛКАТНІ НЕФОРМОВАНІ ВОГНЕТРИВИ

У роботі розглядається можливість заміни імпортних алюмосилкатних неформованих вогнетривів для футерування і ремонту сталеразливочних ковшів вітчизняної продукція. Показано, що застосування МЦ волокна пластифікаторів дозволяють отримувати неформовані вогнетриви із заданими властивостями.

In work possibility of replacement import alumsilicate not formed refractory for lining and repair steel botting ladles domestic production is considered. It is shown that application МЦ of a fibre, softeners allow to receive not formed refractors with the set properties.

В останній час усе частіше використовуються вогнетривкі бетони для футерівки високотемпературних теплових агрегатів, при створенні яких застосовують зволожені суміші корундового наповнювача на глиноземистому чи високоглиноземистому цементі. Для того, щоб не відбулось вибуху при нагріванні кладки під час сушіння необхідно проводити постійний контроль кількості зволожуючої речовини, температури та часу витримки при сушінні, вологості маси і проникненості матеріалу [1]. Проникненість матеріалу залежить від його пористості і розподілу пор за розміром. Встановлено, що кількість пор та їх розміри можна контролювати за допомогою введення вигоряючої добавки у вигляді органічних волокон. Так, введення органічних волокон збільшує кількість пор розміром до 20 мкм, причому, їх кількість напряму залежить від кількості введеного органічного волокна. При цьому показано, що при збільшенні температури сушіння від 200 до 500 °С уявна щільність та модуль пружності зменшуються як без добавки волокон, так і з ними, пористість безумовно, зростає. Введення органічного волокна впливає не тільки на пористість відливок, але, імовірно, і на плинність маси, а також на усі фізико-механічні процеси при її термообробці.

Задача даної дослідної роботи – встановити вплив кількості органічного волокна на властивості зразків із суміші Al_2O_3 та SiC на високоглиноземистому цементі “Gorkal-70”.

Для виготовлення мас використовували суміш плавленого корунду і електрокорунду фракцій 3,0 – 2,5 мм, 1,25 – 0,63 мм та ≤ 0,315 мм, чорний карбід кремнію фр. менше 1,25 мм. Для забезпечення спікання мас при низьких температурах в шихту додатково вводили глину ДН-2, в'язучим було обрано високоглиноземистий цемент "Gorkal-70", співвідношення глина : цемент = 1 : 1.

В шихту вводили невеликі добавки (1 %) кремнію та графіту фр. 0,63 мм.

В якості пластифікатора окрім кремнію і графіту використовували триполіфосфат натрію або гель ЕТС-40/76 (табл. 1).

Таблиця 1

Склад експериментальної шихти

Компонент шихти	Фракційний склад, мм	Кількість, %
Корунд плавлений	3,0 – 2,5	16
	1,25	12
Електрокорунд	1,25 – 0,63	6
	0,315	5
Карбід кремнію	1,25 – 0,63	6
	0,63 – 0,315	5
	< 0,315	25
Глина ДН-2	0,315	12,5
Цемент «Gorkal-70»	< 0,315	12,5
Кремній	< 0,63	1
Графіт	< 0,63	1
Волокно МЦ	–	1 – 3
Пластифікатор	0,315	1

Проводили дослідження впливу кількості волокна МЦ (метілцелюлозне) з добавками та без добавок інших пластифікаторів на розтікаємість дослідних мас представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Дослідження корундових мас з пластифікаторами на розтікання

№	Кількість МЦ волокна, %	Вологість маси, W, %	Пластифікатори		Діаметр розплаву мас, мм
			Триполіфосфат Na, %	Гель ЕТС-40/76, %	
1	1	13	–	–	55
2	1	15	–	–	70
3	0	15	–	–	60
4	3	15	–	–	25
5	1	15	1	–	65
6	0,5	15	–	1	75
7	0,5	15	0,5	0,5	80

Як видно із таблиці, підвищення кількості волокна до 3 % зменшує розтікаємість маси. При введенні 1 % волокна МЦ в масу з вологістю 15 % розтікаємість складає 70 мм, при додаванні триполіфосфату розтікання зменшується у порівнянні з використанням одного волокна МЦ.

Введення 0,5 % волокна МЦ разом з 1 % гелю ЕТС-40/76 покращує розтікання на 25 %, а при введенні 0,5 % волокна МЦ та 0,5 % гелю і 0,5 % триполіфосфату на 33 % по зрівнянню з введенням тільки 3 % волокна.

Дослідження фізико-хімічних процесів при термообробці має з добавками волокна МЦ показали, що при нагріванні на кривих ДТА (рис. 1) відзначаються два ендоефекти відповідно при 80 °С та 530 °С, які відповідають за дегідратацію цементного в'язучого та розклад $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [3]. Екзоефекти при 360 °С і 460 °С відповідні за термодеструкцію МЦ волокна та його окиснення. Втрати маси корундового бетону з добавками МЦ волокна практично однакові при введенні 1 та 3 % та складають відповідно 7,3 та 7,5 % від маси.

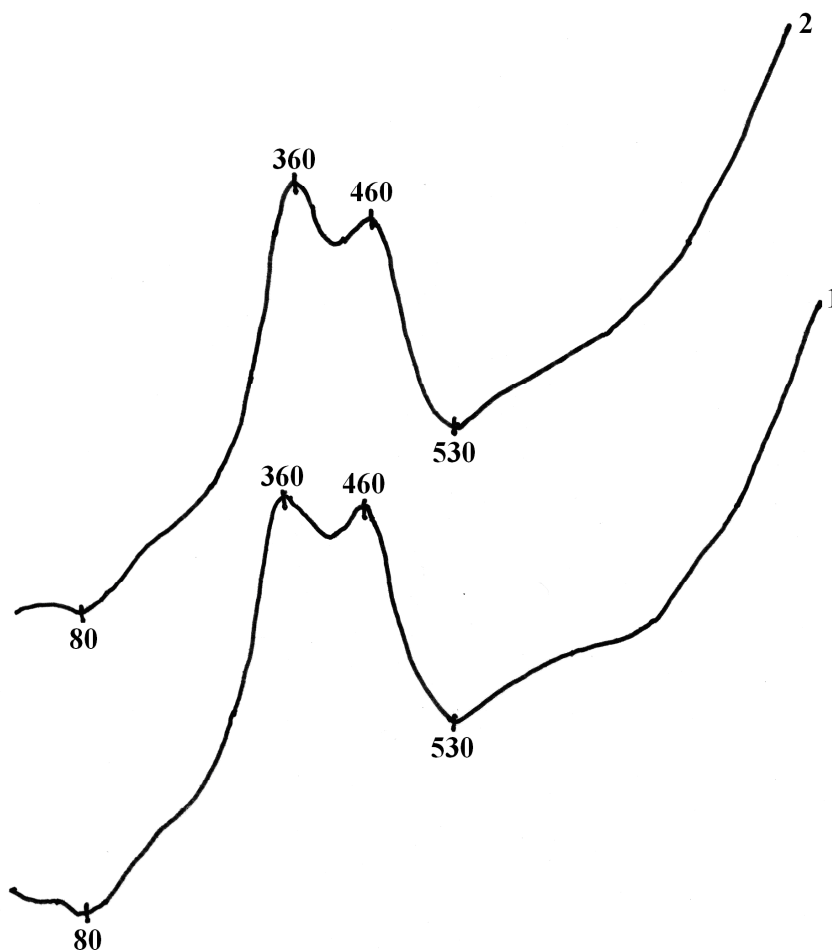


Рис. 1. Термографічний аналіз корундових шихт з додаванням волокна:

1 – 3 % МЦ волокна; 2 – 1 % МЦ волокна

Маси з добавками МЦ волокна термооброблені при 1000 °С, досліджували за допомогою рентгенофазового аналізу.

Результати аналізу представлено на рис 2.

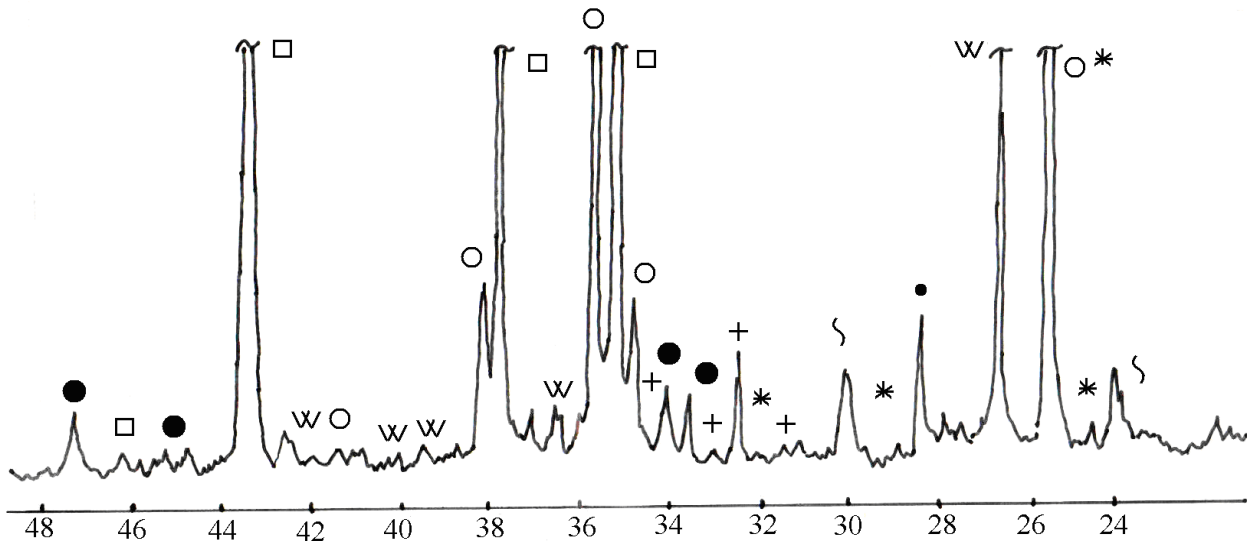


Рис. 2. Рентгенофазовий аналіз зразка термообробленого при температурі 1000 °С.

● – SiC; □ – Al₂O₃; ○ – SiC; w – SiO₂; § – CaAl₂O₄; * – CaAl₄O₇; • – Si

При термообробці мас з цементу синтезувалися нові фази: CaAl₂O₄ та CaAl₄O₇.

Властивості зразків після випалу залежать від кількості введеного волокна. Залежність пористості зразків від тиску пресування показано на рис 3, а залежність міцності від стиску – на рис. 4.

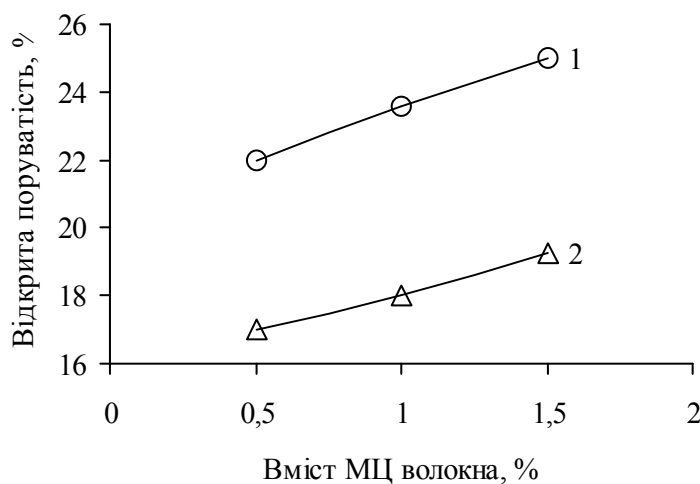


Рис. 3. Залежність відкритої поруватості від кількості МЦ волокна

При збільшенні кількості введення волокна МЦ в корундові маси властивості спечених зразків погіршуються: відкрита поруватість збільшується, а міцність на стиск різко зменшується. Тому кількість МЦ волокна у масах має бути обмеженою і не перевищувати 1 – 1,5 %.

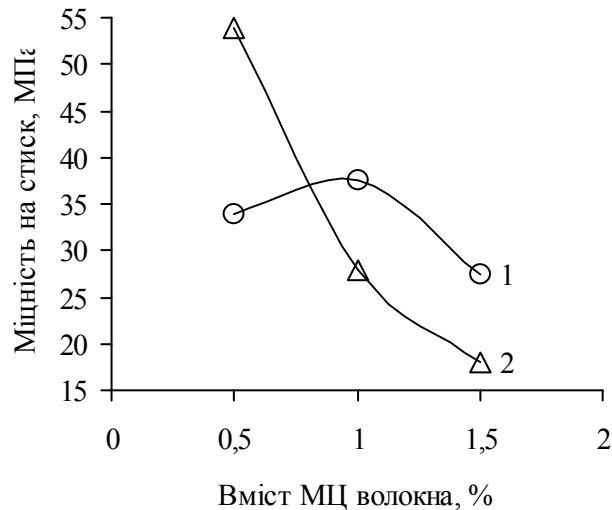


Рис. 4. Залежність міцності на стиск від кількості МЦ волокна

Важливо відмітити, що при одночасному використанні МЦ волокна та пластифікаторів пористість зразків вдвічі зменшується. При використанні гелю ЕТС-40/78 та 0,5 % МЦ волокна досягається пористість нижче 17 % при випалі зразків при 1250 °С. Пористість футерівки із розробленої маси при температурах експлуатації буде зменшуватися, стійкість до дії шлаку та металу зростати.

Таким чином визначено, що для збільшення розтікання корундо-карборундових мас більш раціонально використовувати волокно МЦ в кількості не більше 1 % разом з добавкою гелю. Введення волокна буде сприяти покращенню процесу сушки, а гель сприяє спіканню маси, що забезпечує матеріалу $Al_2O_3 - SiC$ на цементі “Gorkal-70” поруватість 20 ± 3 % при уявній щільності $2,32 \text{ г/см}^3$. Міцність матеріалу після випалу при 1250 °С складає 55 МПа.

Список літератури: 1. Абделухаб С. Поведение при сушке неформованных огнеупорных материалов на гидравлической связке в зависимости от количества глиноземистого цемента, используемого в рецептуре / [С. Абделухаб, Ф. Камбье, М. Камбье и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2010. – № 1 – 2. – С. 77 – 82.

Поступила до редколегії 20.08.10

В.Я. КРУГЛИЦЬКА, канд. техн. наук, проф.;

В.М. ПАХОМОВА, асистент; **О.Г. ОСЬМАКОВ**, доцент,

НТУУ «КПІ», м. Київ

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ КРЕМНІЙОРГАНІЧНОГО ПОЛІМЕРУ ТА ДИСПЕРСНОГО НАПОВНЮВАЧА

Показана можливість використання модифікованого клиноптилоліту як загусника кремнійорганічного лаку, при чому кількість наповнювача можна довести до високих ступенів наповнення, не погіршивши при цьому фізико-механічних характеристик композиції. Розглянуто взаємозв'язок реологічних характеристик вивчених композицій та ступінь структурованості цих систем.

The possibility of usage updated ceolit as densifier of an organosilicone varnish is rotined, at what the amount of filling agent can be reduced in high scales of filling up, not having worsened thus of the physical - mechanical performances of composition. The intercoupling of the rheological performances of the learnt compositions and extents of structuredness of systems is reviewed.

Вступ. Дослідження, спрямовані на вивчення закономірностей впливу природи і будови дисперсних наповнювачів, модифікації їх поверхні на процеси формування наповнених поліорганосилоксанів у взаємозв'язку з дослідженням експлуатаційних характеристик композицій на їх основі, є необхідною умовою отримання композиційних матеріалів високої якості і широкого спектру дії.

Постановка задачі Технологія отримання композицій з полімерним зв'язуючим, а також весь комплекс специфічних вимог, що пред'являються до них, має тісний зв'язок з реологічними властивостями [1]. Значення реологічних параметрів є визначальними при розробці рецептур композиційних матеріалів різного призначення, пов'язаних з підбором активних наповнювачів, визначенням їх оптимальних концентрацій і величин частинок наповнювача, можливістю модифікації поверхні для більш повної взаємодії з полімерною матрицею [2].

Об'єкти та методи дослідження. Для удосконалення експлуатаційних властивостей композиційних покриттів на основі поліметилфенілсилоксанів, а також зниження їх вартості використовуються різноманітні мінеральні дисперсні наповнювачі, такі як силікати, алюмосилікати, оксиди металів [3].

Нами вивчалися цеоліти, які у великій кількості містяться в списку розвіданих природних ресурсів України.

Підготовку необхідних для дослідження композицій проводили за допомогою методу механохімічного диспергування. При цьому ініціювався фізико-хімічний процес утворення нової поверхні розподілу фаз, що супроводжується зниженням запасу вільної поверхневої енергії частинок наповнювача унаслідок адсорбції на них молекул зв'язуючого.

Дані, отримані за допомогою ротаційного віскозиметра «Реотест-2», представляють у вигляді реологічної кривої $\eta = f(\tau_r)$, яка відображає залежність ефективної в'язкості η від напруги зсуву в умовах стаціонарної, стійкої і ламінарної течії.

Експериментальна частина. Про тиксотропні властивості наповнених систем роблять висновок за значеннями їх ефективної в'язкості при різних напругах зсуву. За отриманими експериментальними даними були побудовані криві залежності ефективної в'язкості від градієнта швидкості зсуву $\lg \eta = f(\lg D_r)$ для поліметилфенілсилоксанового лаку, наповненого природними і модифікованими формами клиноптилоліту марки „В” (рис. 1).

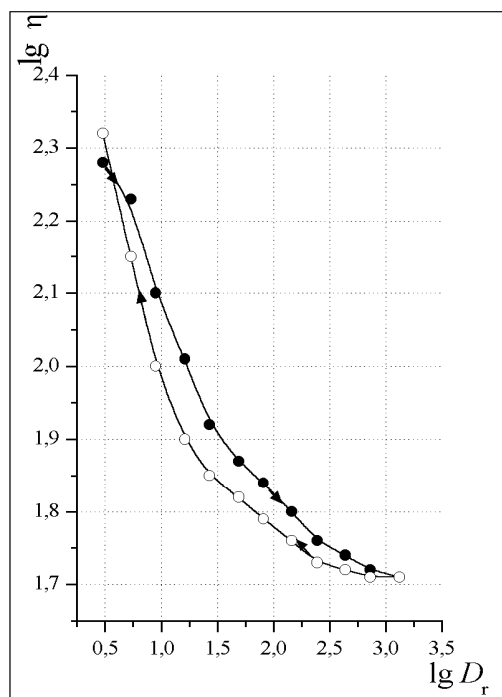
Аналіз реологічних залежностей для композицій, наповнених клиноптилолітом „В” показує, що їх тиксотропність істотно залежить від тривалості сумісного диспергування наповнювача і полімеру, причому площа петель гістерезису збільшується при зміні часу диспергування від 25 до 75 годин, а потім дещо зменшується для 100 годин.

Так, якщо для системи, яка диспергується 25 годин, площу, що займає петля гістерезису, прийняти за одиницю, то після обробки протягом 50, 75 і 100 годин вона складе 1,26; 2,91; 1,81 відповідно. Отже, змінюючи час диспергування, ми можемо реалізувати ряд нових структур із заданими властивостями, які визначатимуться у тому числі дисперсністю частинок наповнювача в композиції і товщиною їх сольватних оболонок [4].

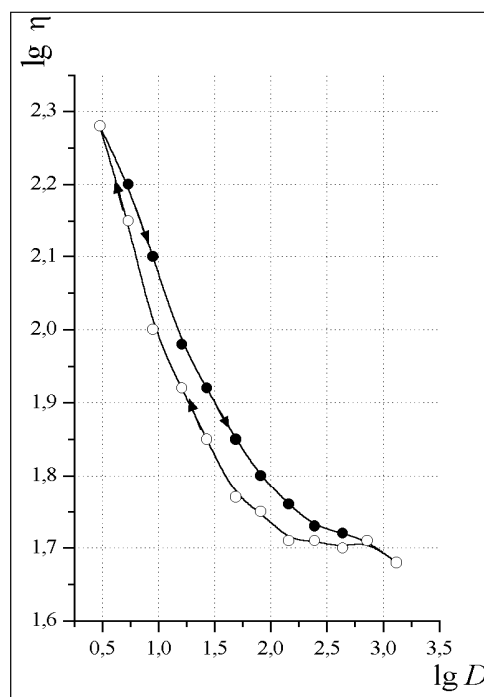
Очевидно, при порівняно невеликій дисперсності наповнювача, досягнутій до 25 годин диспергування, прошарки дисперсійного середовища мають таку товщину, яка перешкоджає утворенню достатньо міцних структурних зв'язків.

При подальшому зростанні величини питомої поверхні наповнювача в процесі наступного диспергування кількість його частинок в об'ємі дисперсійного середовища збільшується, що приводить до зміцнення коагуляційно-тиксотропних структур за рахунок потоншення прошарків полімеру між час-

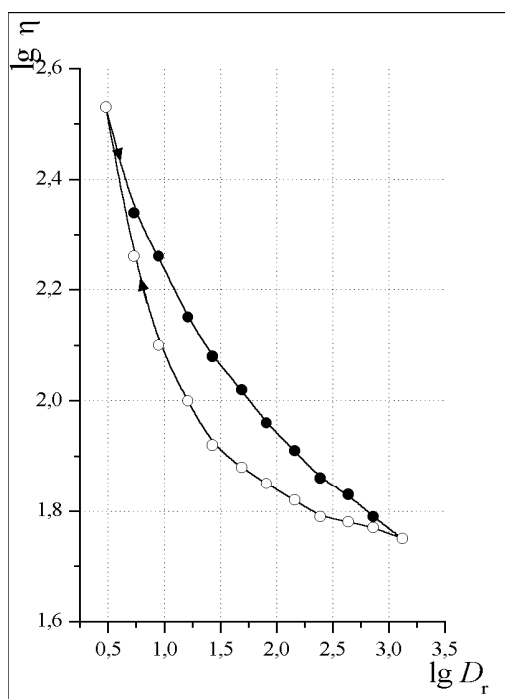
тинками, зростанню сил міжмолекулярної взаємодії. Очевидно, такий стан системи реалізується до 75 годин диспергування.



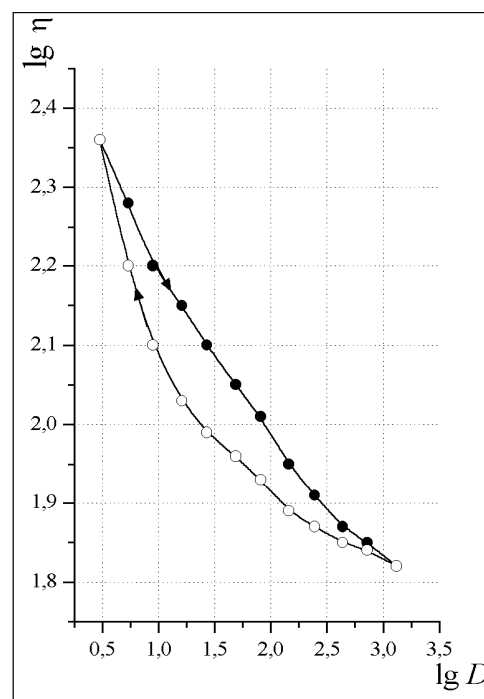
а



б



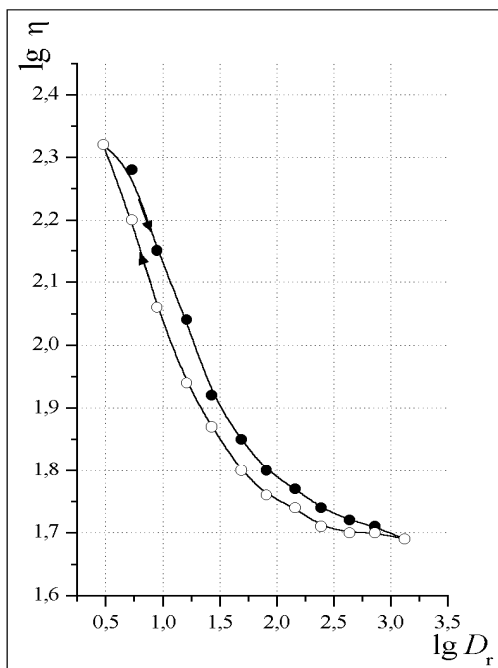
в



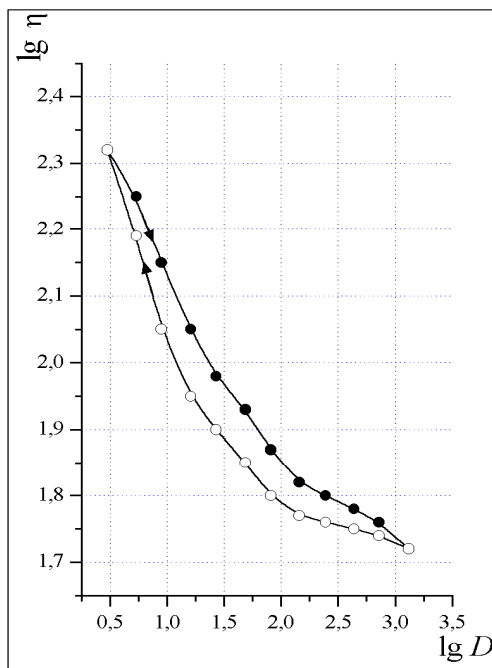
г

Рис. 1. Залежність ефективної в'язкості від напруги зсуву системи лак і наповнювач: а – 25; б – 50; в – 75; г – 100 годин механохімічного диспергування

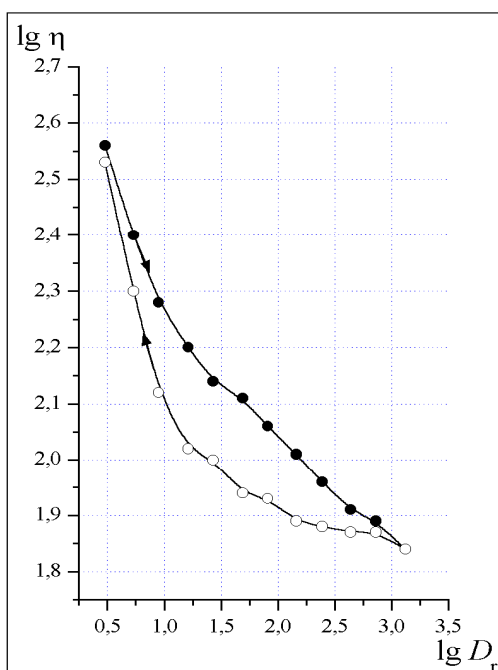
Із підвищенням ступеня органофілізації клиноптилоліту за рахунок кремнійорганічної рідини 136-41 (ступінь модифікації від 0,25 до 0,5 %) і збільшенням часу диспергування (рис. 2 та рис. 3) відбувається поступове зростання величин ефективної в'язкості наповненого лаку.



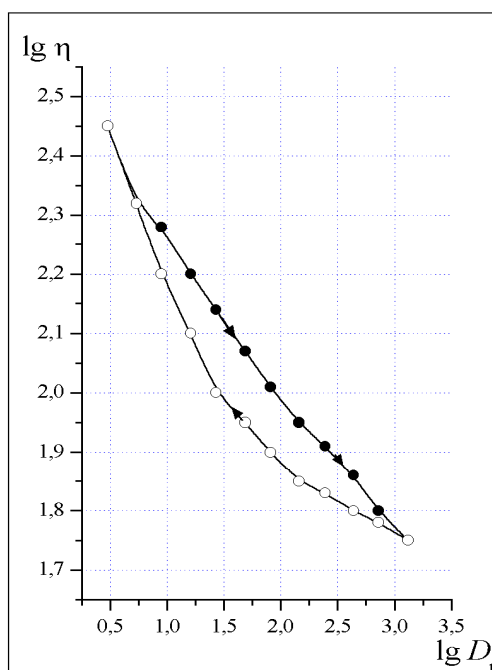
а



б



в



г

Рис. 2. Залежність ефективної в'язкості від напруги зсуву системи лак і наповнювач (0,25 % рідини 136-41):

а – 25; б – 50; в – 75; г – 100 годин диспергування

Це можна пояснити формуванням з частинок органомінералу суцільної структурної сітки в полімерному середовищі через підвищення їх дисперсності.

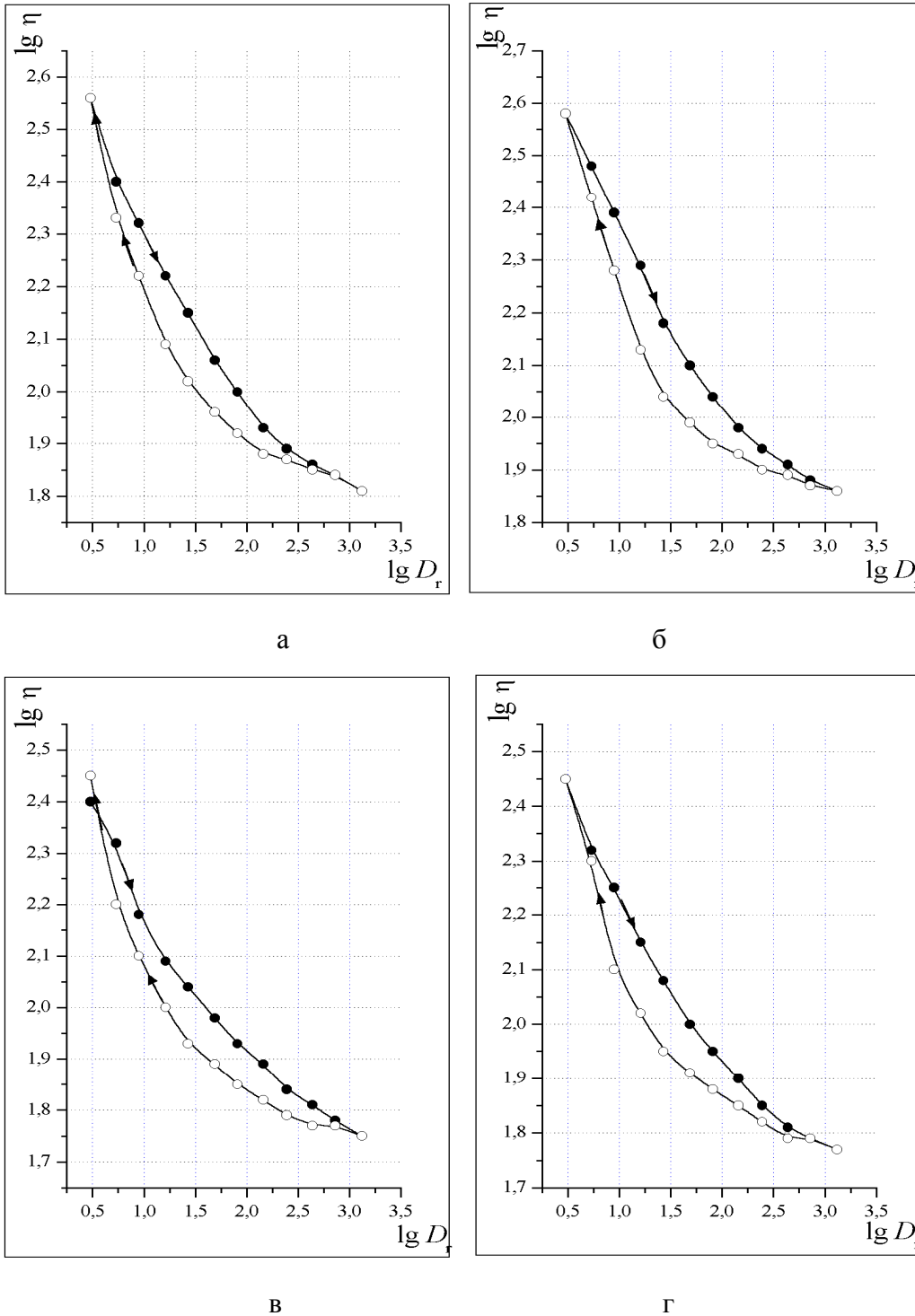


Рис. 3. Залежність ефективної в'язкості від напруги зсуву системи лак і наповнювач (0,5 % рідини 136-41):
а – 25; б – 50; в – 75; г – 100 годин диспергування

Тому на реограмах спостерігається розширення петель гістерезису, оскільки з підвищенням дисперсності наповнювача в системі починається прояв міцнісної тиксотропії разом з в'язкісною.

Одночасно завдяки збільшенню ступеня органофілізації поверхні частинок клиноптилоліту енергія взаємодії між елементами структурного каркаса послаблюється, що викликає збільшення різниці між значеннями ефективних в'язкостей системи при мінімальних і максимальних зусиллях зсуву.

При досягненні вмісту модифікатора 0,75 % утворюється органоклиноптилоліт, додавання якого в лак визначає отримання системи з більш низькими ступенями тиксотропії, про що свідчить зменшення ширини петлі гістерезису.

Цей факт пояснюється переважанням ефекту органофілізації (яка визначає зменшення сил взаємодії між частинками) над ефектом зміцнення структури унаслідок підвищення дисперсності.

Отже, перевищення оптимального ступеня модифікації приводить до зменшення загущувальної здатності клиноптилоліту із ступенем модифікації 0,75 % рідиною 136-41.

Це, можливо, пов'язано із зменшенням числа контактів частинок дисперсної фази і блокуванню місць зчеплення і, як наслідок, зменшенню сил взаємодії їх один з одним [5].

Висновки.

При наповненні природним клиноптилолітом максимальну тиксотропність проявляють системи, піддані 75 годинам диспергування, а для модифікованих форм – системи до 100 годин диспергування.

Підтверджено, що для вживаного модифікатора (рідини 136-41) оптимальною концентрацією є концентрація 0,5 %, що виявляється в підвищенні міцності коагуляційно-тиксотропних структур, які утворюються.

Введення в поліметилфенілсилоксановий лак природних і модифікованих форм клиноптилоліту «В» приводить до посилення полімеру за рахунок утворення коагуляційно - тиксотропних структур.

Таким чином, одним із плідних напрямів удосконалення якості полімерних матеріалів є підвищення активності наповнювачів, тобто направлена зміна їх параметрів, що призводить до істотного покращення однієї або декількох характеристик самого наповнювача, а також безпосередньо полімерних композицій.

Список літератури: 1. *Липатов Ю.С.* Физическая химия наполненных полимеров / *Ю.С. Липатов.* – М.: Химия, 1977. – 304 с. 2. *Круглицкий Н.Н.* Дисперсные структуры в органических и кремнийорганических средах / *Н.Н. Круглицкий, В.Я. Круглицкая.* – К.: Наук. думка, 1981. – 316 с. 3. Полифункциональные элементарноорганические покрытия / *Под общ. ред. А.А. Пащенко.* – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 198 с. 4. *Пащенко А.А.* Гидрофобизация / *А.А. Пащенко.* – К.: Наук. думка, 1972. – 230 с. 5. *Круглицкий Н.Н.* Очерки по физико-химической механике / *Н.Н. Круглицкий.* – К.: Наук. думка, 1988. – 224 с.

Надійшла до редколегії 20.08.10

УДК 622.74:621.928.2

В.П. НАДУТЫЙ, докт. техн. наук, проф., ИГТМ НАН України;
А.И. ЕГУРНОВ, канд. техн. наук, президент, ЗАО “АНА-ТЕМС”;
П.В. ЛЕВЧЕНКО, аспирант, ИГТМ НАН України, Днепропетровск

ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВИБРОГРОХОТА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

В статті на підставі апроксимації результатів експериментальних досліджень продуктивності віброгрохота при імпульсному збудженні отримана узагальнена залежність від основних факторних ознак.

In paper on the basis approximation of experimental results of vibratory screen productivity at impulse excitation the generalized dependence on the basic factorial signs is gained.

Вибрационное грохочение горной массы мелкой и тонкой фракции является одной из массовых технологических операций. Совершенствование оборудования для ее осуществления связано со снижением энергоемкости процесса и повышением удельной производительности. В настоящее время широко используются виброгрохоты с электромеханическими вибровозбудителями, реализующими гармонические колебания рабочего органа грохота. Выполненные сравнительные испытания виброгрохота с электромеханическим приводом в виде мотор-вибратора и пневмоударным показали преимущество последнего [1]. При импульсном воздействии повышение технологических показателей грохочения минерального сырья обусловлено особенностью поведения рабочей поверхности грохота и ее взаимодействием с сыпу-

чей горной массой. Полученная количественная оценка результатов сравнительных испытаний и их статистический анализ позволяют идентифицировать эти результаты и представить их в модельной форме, что дает возможность обосновать расчетным путем параметры виброгрохотов с пневмоударным приводом для мелкой и тонкой классификации.

Такой подход является актуальным, поскольку он позволяет повысить эффективность использования виброгрохотов на последних стадиях переработки горной массы.

Целью исследований является идентификация результатов экспериментальных испытаний эффективности использования пневматического вибровозбудителя импульсного типа для получения достоверных аналитических зависимостей, служащих для определения производительности грохота в пределах регулирования факторных признаков.

В качестве варьируемых параметров, при работе виброгрохота, принимались следующие факторные признаки: угол наклона грохота $\alpha = 12, 15, 16, 18, 21$ град.; частоты вибрации $\omega = 1380, 1410, 1440, 1470, 1500$ уд/мин; влажность горной массы $W = 0, 1.9, 3.6, 5.6, 6.1$ %; размер ячейки сетки $\Delta = 0.63, 1.2, 2, 3$ мм; угол наклона пневмовибратора $\beta = 58, 70, 78, 84, 90$ град.

Расчеты зависимостей производительности экспериментального грохота от указанных выше факторных признаков выполнялись методом наименьших квадратов с помощью программного комплекса SPSS Statistics 17.0.

На основании графического анализа результатов зависимости производительности грохота Q (т/ч) от угла наклона грохота α (град) сформулировано предположение о линейной зависимости:

$$Q = -0,706 + 0,063 \cdot \alpha \quad (1)$$

Основные статистические характеристики этой зависимости: коэффициент детерминации $R^2 = 0,945$; критерий адекватности Фишера $F = 51,585$; табличное значение распределения Фишера $F_{табл} = 10,13$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$, т.е. $F > F_{табл}$ – модель адекватна. Расчетные $Q_{расч} = f(\alpha)$ и экспериментальные значения $Q_{эксп} = f(\alpha)$ приведены на рисунке (кривая 1), из которого видно, что с увеличением угла наклона грохота производительность линейно возрастает. Проверка параболической модели показала, что детерминация увеличивается ($R^2 = 0,956$), статистика Фишера снижается

($F = 21,824$), а коэффициенты регрессии объясняющих переменных α и α^2 незначимы.

Экспериментальные результаты зависимости Q от частоты вибрации ω (уд/мин) аппроксимируются параболической функцией:

$$Q = -145,259 + 0,202 \cdot \omega - 0,00007 \cdot \omega^2 \quad (2)$$

Статистические характеристики этой зависимости: $R^2 = 0,976$; $F = 40,472$; $F_{табл} = 19,0$, $F > F_{табл}$ – модель адекватна. Расчетный график $Q_{расч} = f(\omega)$ и экспериментальные значения $Q_{эксп} = f(\omega)$ приведены на рисунке (кривая 2), из которого видно, что по мере увеличения ω от 1380 до 1440 уд/мин производительность квадратично увеличивается до точки экстремума (максимум), в которой происходит резонанс частот (вибровозбудителя и РЛСС), а последующее повышение частоты вибровозмущения приводит к снижению Q .

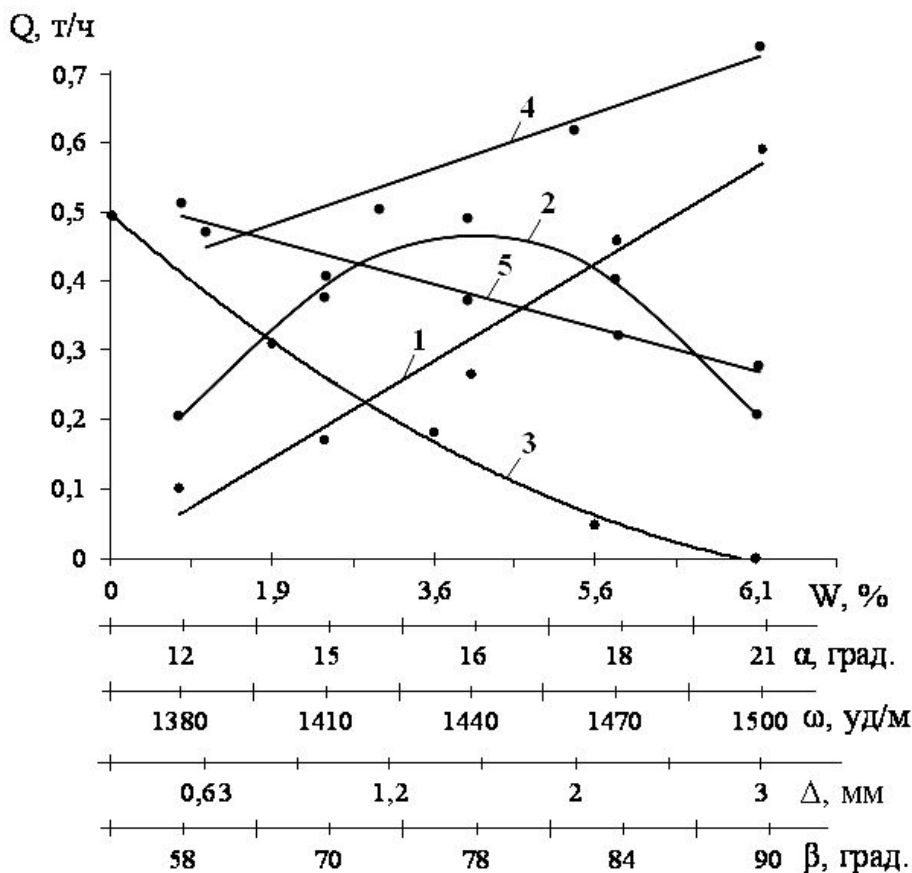


Рисунок – Зависимость производительности грохота Q от варьируемых факторов

После графического анализа экспериментальных данных, зависимость Q от процентного содержания влаги в горной массе W (%) с высокой адекватностью можно идентифицировать линейной зависимостью:

$$Q = 0,4925 - 0,099 \cdot W + 0,0032 \cdot W^2 \quad (3)$$

Характеристики статистики: $R^2 = 0,999$; $F = 800,48$; $F_{табл} = 10,13$, $F > F_{табл}$ – модель адекватна. График этой функции показан на рисунке (кривая 3), из которого видно, что с увеличением W производительность снижается по параболическому закону до точки $W = 6$ %, при которой материал на грохоте окомковывается и слипается. Последующее увеличение влажности материала приводит к тому, что он прекращает свое движение на рабочей поверхности. Это связано с тем, что возмущающего усилия мало, чтобы разорвать силы вязкости грохотимого материала. Для повышения скорости транспортирования материала в таких условиях требуется специальный режим работы грохота, в результате которого, ускорения на рабочем органе будут достаточными, чтобы преодолеть силы вязкого сцепления между частицами горной массы [2].

Полученная экспериментальным путем зависимость Q от размера ячейки просеивающей поверхности Δ (мм) описывается, с высоким уровнем достоверности, линейно:

$$Q = 0,389 + 0,108 \cdot \Delta \quad (4)$$

Характеристики статистики для этой аппроксимирующей функции: $R^2 = 0,994$; $F = 305,84$; $F_{табл} = 18,51$, $F > F_{табл}$ – модель адекватна. Расчетный график $Q_{расч} = f(\Delta)$ приведен на рисунке (кривая 4), из которого видно, что с увеличением размера ячейки сита грохота производительность линейно возрастает. При рассмотрении параболической модели детерминация ($R^2 = 0,999$) и критерии

й адекватности ($F = 535,655$) намного выше, чем при аппроксимации линейной функцией, но коэффициент регрессии объясняющей переменной Δ^2 незначим.

Зависимость Q от угла направления возмущающей силы относительно

рабочего органа β (град) идентифицируется линейной функцией:

$$Q = 0,916 - 0,00706 \cdot \beta \quad (5)$$

Статистические характеристики этой зависимости: $R^2 = 0,983$; $F = 173,838$; $F_{табл} = 10,13$, значит модель адекватна $F > F_{табл}$. Расч

етный график $Q_{расч} = f(\beta)$ изображен на рисунке (кривая 5). С увеличением β пропорционально уменьшается Q . Проверка параболической модели показала, что детерминация практически не изменяется ($R^2 = 0,984$), адекватность модели снижается ($F = 59,67$), а коэффициенты регрессии объясняющих переменных β и β^2 не значимы.

Обобщенная зависимость производительности грохота Q от указанных выше факторов, идентифицировалась следующей нелинейной регрессионной моделью, заданной в виде параболы:

$$y = a_0 + a_1 \cdot \alpha + a_2 \cdot \omega + a_3 \cdot W + a_4 \cdot \Delta + a_5 \cdot \beta + \\ + b_1 \cdot \alpha^2 + b_2 \cdot \omega^2 + b_3 \cdot W^2 + b_4 \cdot \Delta^2 + b_5 \cdot \beta^2 \quad (6)$$

Расчет модели выполнялся средствами SPSS Statistics 17.0 методом «Исключение», при котором расчет начинался с результата, содержащего все независимые переменные, и затем исключались независимые переменные с наименьшими частичными корреляционными коэффициентами, пока соответствующий регрессионный коэффициент не оказывается незначимым [3].

Для записи нелинейной регрессионной модели производительности грохота рассчитывались основные статистические характеристики модели: коэффициент детерминации $R^2 = 0,974$; критерий адекватности Фишера $F = 107,485$; $F_{табл} = 2,67$. Сравнение показателей $F > F_{табл}$ указывает на адекватность данной модели. Коэффициенты регрессии и их статистика Стьюдента показали, что коэффициенты a_5 , b_1 , b_3 , b_4 являются незначимыми, т.к. они меньше критического значения $t_{крит} = 1,771$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$, и они исключаются из регрессионной модели, которая в конечном итоге принимает вид:

$$Q = -144,938 + 0,067 \cdot \alpha + 0,2003 \cdot \omega - 0,074 \cdot W + \\ + 0,109 \cdot \Delta - 0,00007 \cdot \omega^2 - 0,00004 \cdot \beta^2 \quad (7)$$

Выводы.

Таким образом, при импульсном возбуждении грохота, установлено, что:

1) зависимость производительности грохота от угла его наклона и от размера ячейки просеивающей поверхности носит линейный характер с положительным уклоном, а от угла направления возмущающей силы относительно рабочего органа – с отрицательным уклоном;

2) производительность грохота имеет параболическую зависимость от частоты вибрации и от процентного содержания влаги в горной массе;

3) обобщенная зависимость производительности грохота от факторов α , ω , W , Δ и β аппроксимируется множественной параболической моделью с высоким уровнем адекватности.

Список литературы: 1. *Надутый В.П.* Результаты испытания вибровозбудителей импульсного и вращательного типа при классификации минерального сырья / *В.П. Надутый, П.В. Левченко, А.И. Егурнов* // Збагачення корисних копалин. – 2010. – № 40(81). – С. 51 – 55. 2. *Надутый В.П.* Вибрационное грохочение горной массы повышенной влажности / *В.П. Надутый, В.В. Калиниченко*. – Днепропетровск: НГУ Украины. – 2004. – 135 с. 3. *Бююль А.* SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: [пер. с нем.] / *А. Бююль, П. Цефель*. – С.-Пб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2005. – 608 с.

Поступила в редколлегию 20.08.10

Н.Д. ОРЛОВА, канд. техн. наук, доцент,
Одесская национальная морская академия, г. Одесса

ЗАВИСИМОСТЬ ВЯЗКОСТИ УПЛОТНЯЕМОЙ СМЕСИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ

У статті розглянуті питання розрахунку і порівняння вібраційної в'язкості матеріалів по теоретичних формулах і їх порівняння з експериментальними даними.

In the article the questions of calculation and comparison of oscillation viscosity of materials on theoretical formulas and their comparing are considered to experimental information.

Из многочисленных исследований [1, 2, 3, 4, 7], посвященных уплотнению смесей следует, что процесс уплотнения состоит из двух этапов: разрушение связей структуры смеси и переход смеси из связанной в не связанную и собственного уплотнения (или самоуплотнения). В дальнейшем будем рассматривать три вида смесей: сухая (твердые частицы и воздух), двухфазные (однородные твердые компоненты, воздух и жидкость), многофазная (неоднородные твердые компоненты, воздух и жидкость).

На первом этапе процесса уплотнения во всех смесях уменьшается количество воздуха, в двухфазных и многофазных до 2 – 3 % от общего объёма.

На втором этапе свободные от связей твердые компоненты, кинетические единицы течения, под влиянием собственного веса или принудительных вибраций приходят в движение, результатом которого является уплотнение твердых частиц. В дальнейшем будем рассматривать сухие и двухфазные смеси. В двухфазных смесях выделим – дискретную упруго-вязко - пластическую (поры частично заполнены свободной жидкостью) и непрерывную (весь объём пор заполнен жидкостью). Реологические характеристики уплотняемой смеси (вязкость) и параметры вибрации взаимно связаны, поставим задачу получения физически обоснованных формул, позволяющих по реологии уплотняемой смеси выбрать оптимальный режим её уплотнения. Смесей уплотняемых вибрационным способом относятся [7] к малопрочным тиксотропным твердообразным структурам или к структурированным жидкостям, реологические кривые вязкости которых носят S-образный характер. Известно, что при вибрационном воздействии с постоянными параметрами вибра-

ции уплотняемые среды приобретают свойства ньютоновской жидкости [2, 6, 7] и полная реологическая кривая структурированных систем есть прямая. При переменных параметрах вибрации кривая разрушения надмолекулярных связей уплотняемой структуры носит S-образный характер. В условиях вибрационного поля в структурированной системе происходит разрушение связей и уменьшение вязкости (первая фаза длительностью T_1), затем осуществляется перемещение частиц в соответствии с вибрационным воздействием (вторая фаза длительностью T_2). Вязкость смеси при вибрационном воздействии зависит от времени наложения вибрационного поля, физико-механических свойств среды и параметров вибрации.

Допустим, что в статических условиях структура течет как структурированная жидкость (для большинства уплотняемых смесей это условие выполнено) с начальной вязкостью η_0 и конечной η_k .

Вязкость смеси, у которой надмолекулярные связи разрушены вибрационным воздействием, называют вибрационной вязкостью и обозначают η_v и вычисляют по формуле [7]

$$\eta_v = \eta_k \left(1 + \frac{\exp(-B_0 \omega^2)}{A_0^2} \right), \quad (1)$$

где: $A_0^2 = \frac{\eta_k(b^2 + a^2)}{(\eta_0 - \eta_k) \cdot b^2}$ $B_0 = \frac{M_b \Delta V}{g \cdot S \cdot k \cdot T}$; b – расстояние между кинетическими единицами течения; a – амплитуда относительных смещений кинетической единицы течения; ΔV – изменение объёма при наложении вибрационного поля; S – площадь соприкосновения рабочего органа вибромашины с обрабатываемой средой; k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; M_b – момент на валу вибровозбудителя.

Из (1) следует, что при $\omega = 0, a = 0 \Rightarrow \eta_v = \eta_0$, а при $\omega \rightarrow \infty, a = const \Rightarrow \eta_v = \eta_k$, значения величин A_0, B_0 так же как в [7] считаются постоянными и равными $A_0 = 0.327, B_0 = 0.745 \cdot 10^{-3}$.

В работе [1] для расчета вибрационной вязкости рекомендуется формула:

$$\eta_v = \eta_m + \frac{\alpha}{g}, \quad (2)$$

где – критерий интенсивности вибрирования и коэффициент тиксотропии соответственно; η_m – наименьшая вязкость структурированной жидкости.

На основе опытов в [1] принят критерий интенсивности виброштампования $\mathcal{G} = \frac{A_1 \omega^3}{h}$, где A_1 – амплитуда безотрывных колебаний бетонной смеси, h – высота до штампования. Формула для определения вибрационной вязкости имеет вид:

$$\eta_b = \eta_m + \frac{k_1}{\omega^3}, \quad (3)$$

экспериментальное значение $k_1 = 802 \cdot 10^7$.

Экспериментальные данные при $a = 0,25$ мм и конечной вязкости 54×10^3 пуаз (длинная пунктирная линия), расчетные значения по формулам (1) (сплошная линия) по (3) (короткая пунктирная линия) на рис. 1.

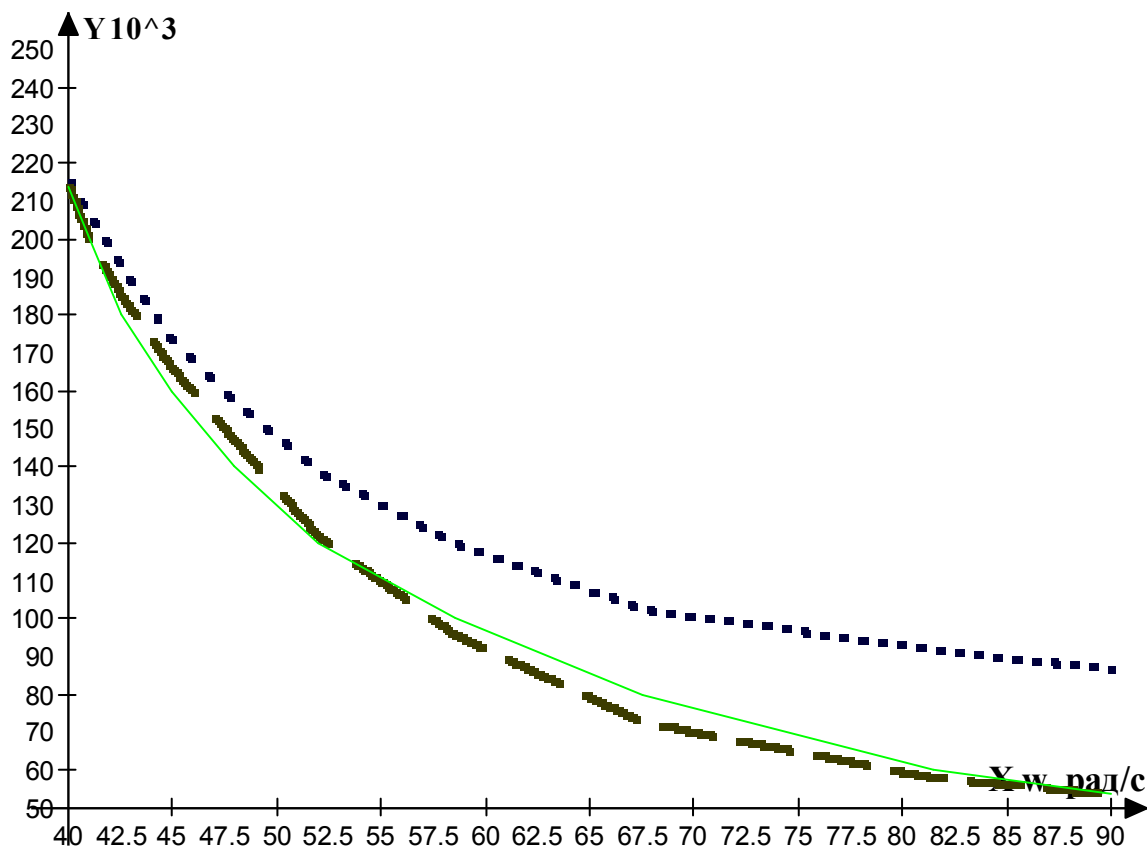


Рис. 1.

По экспериментальным и расчетным данным были определены виды регрессионных кривых при $a = 0,25$ мм, $\eta_s^o = 555 \exp(-0.03\omega)$ – по экспериментальным данным; $\eta_b = 590 \exp(-0.03\omega)$ – по расчетным данным формулы (1) и $\eta_b = 390 \exp(-0.02\omega)$ по формуле (3). Аппроксимация экспериментальных данных при $a=0,25$ мм и конечной вязкости 54×10^3 пуаз (длинная пунктирная линия), значений по формулам (1) (сплошная линия) по (3) (короткая пунктирная линия) рис. 2.

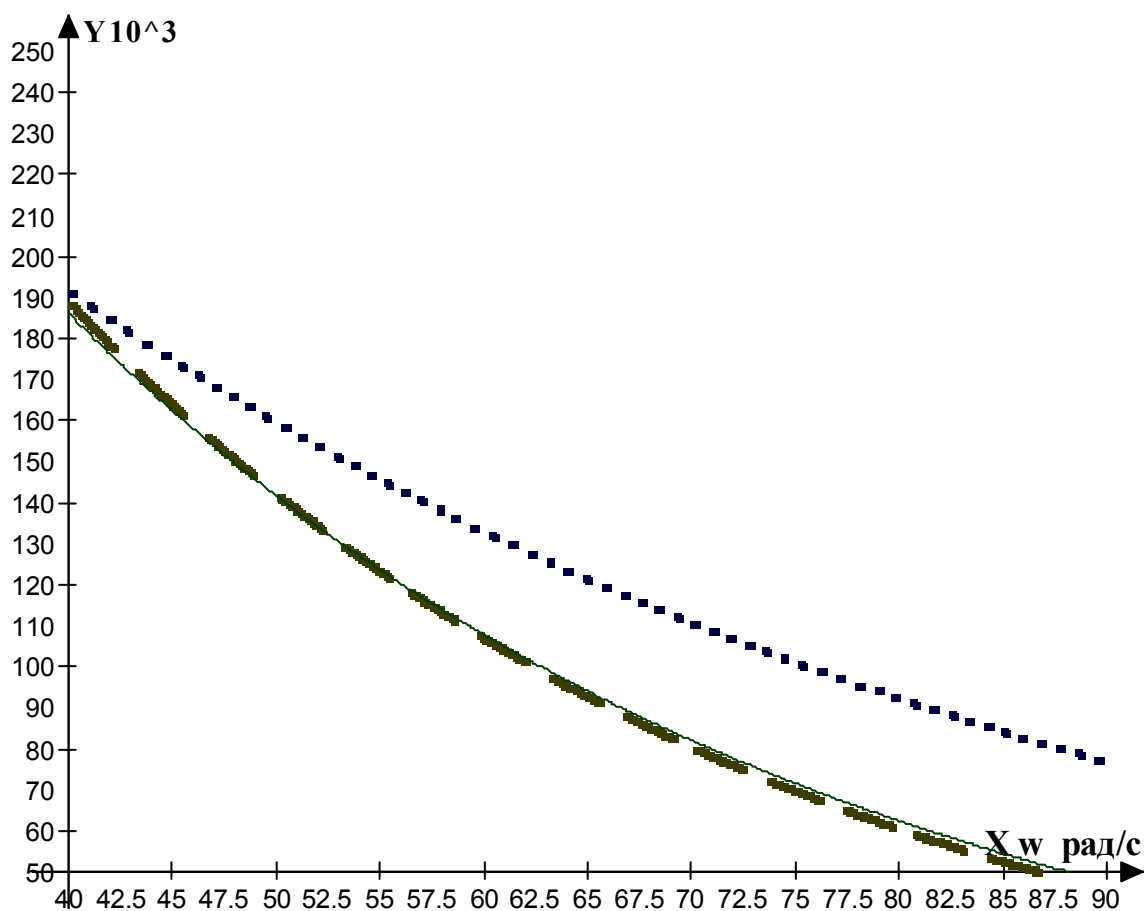


Рис. 2.

Экспериментальные данные при $a = 0,45$ мм и конечной вязкости 48×10^3 пуаз (длинная пунктирная линия), расчетные значения по формулам (1) (сплошная линия) по (3) (короткая пунктирная линия) на рис. 3

Виды регрессионных кривых при $a = 0,45$ мм, $\eta_s^o = 280 \exp(-0.02\omega)$ – по экспериментальным данным; $\eta_b = 275 \exp(-0.02\omega)$ – по расчетным данным формула (1) и $\eta_b = 362 \exp(-0.02\omega)$ – по расчетным данным формулы (3).

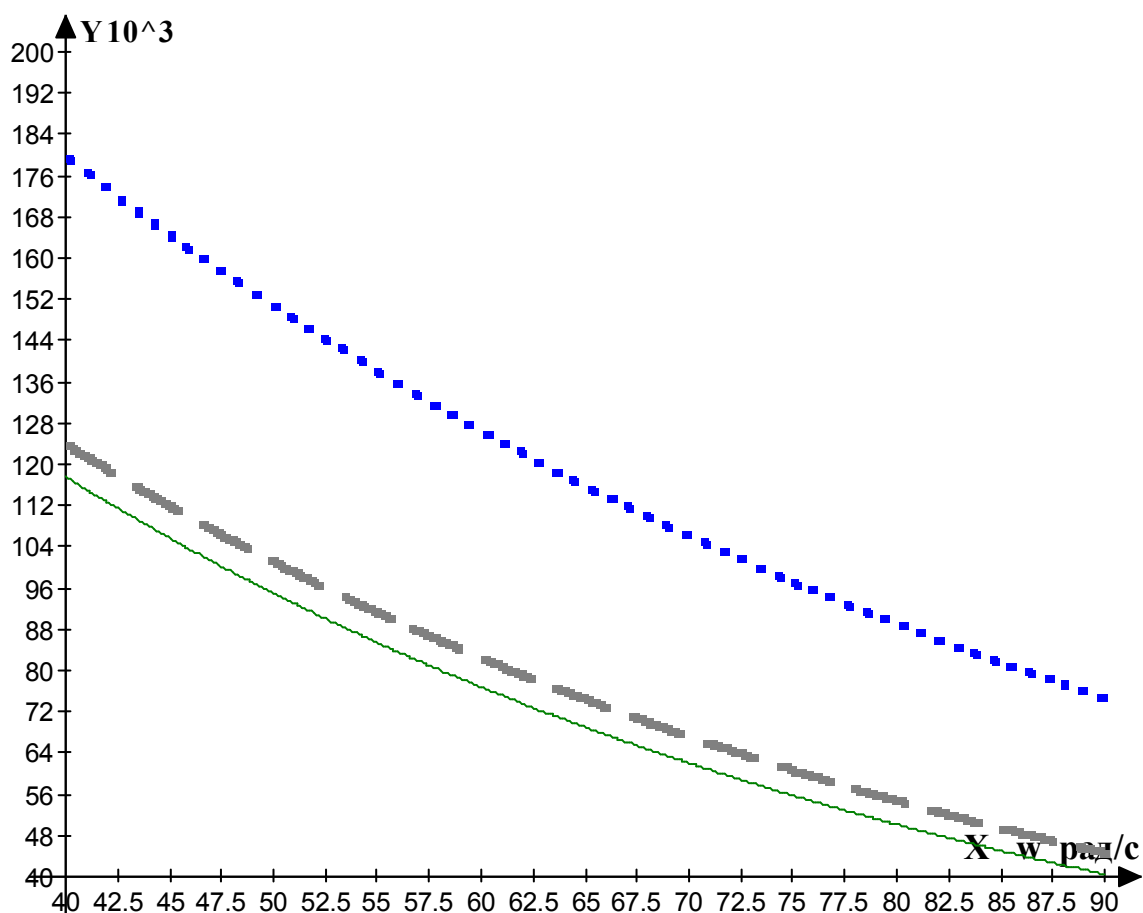


Рис. 3.

Аппроксимация экспериментальных данных при $a = 0,45$ мм и конечной вязкости 48×10^3 пуаз (длинная пунктирная линия), значений по формулам (1) (сплошная линия) по (3) (короткая пунктирная линия) рис. 4.

Из полученных зависимостей следует, что экспериментальные и расчетные данные формулы (1) практически совпадают для всех значений, $a = 0,25$ мм, $a = 0,45$ мм.

Зависимость вязкости, обрабатываемой в вибрационной машине среды, от параметров вибрации представленная формулами (1) и (3) позволяет рекомендовать их выбор из условия достижения минимума вязкости.

Рекомендуемая в [1] формула для вычисления вибрационной вязкости (3) менее точно описывает экспериментальные данные, нежели формула (1).

В теоретическом плане при сравнении формул (1) и (3) следует указать, на то, что в (3), критерий интенсивности \mathcal{Q} подобран на основе опытов.

Кроме того в (3) предполагается, что уплотняемая смесь в статических условиях течет как структурированная жидкость.

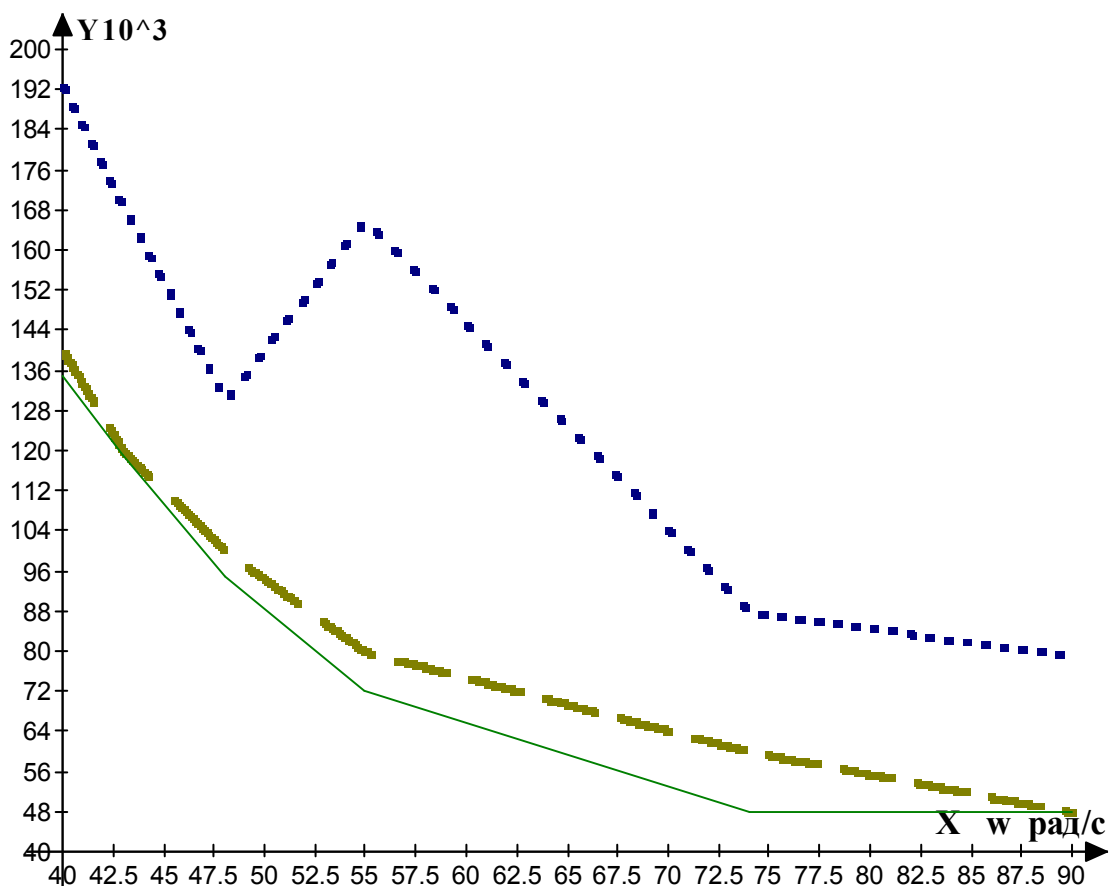


Рис. 4.

Формула (1) получена из предположения справедливости нормального закона распределения случайного взаимодействия между физическими материальными частицами в процессе вибрационного уплотнения и вероятно носит более общий характер. □

Список литературы: 1. Лертин Л. Проблемы технологии бетона / Л. Лертин. – М.: Стройиздат, 1959. – 165 с. 2. Миклошевский П.М. Вибрирование бетонной смеси / П.М. Миклошевский. – Волгоградстройиздат, 1937. – 127 с. 3. Куприянов Е.М. Уплотнение насыпных грунтов / Е.М. Куприянов. – М.: Стройиздат, 1966. – 175 с. 4. Шмигальский В.Н. Проблемы интенсификации повышения качества виброуплотнения бетонных смесей: автореф. дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук / В.Н. Шмигальский. – Новосибирск, 1968. – 35 с. 5. Баркан Д.Д. Виброметод в строительстве / Д.Д. Баркан. – М.: Стройиздат, 1966. – 194 с. 6. Н.В. Михайлов. Основные принципы новой технологии бетона и железобетона / Н.В. Михайлов. – М.: Госстройиздат, 1961. – 208 с. 7. Овчинников П.Ф. Виброреология / П.Ф. Овчинников. – К.: Наук. думка, 1983. – 270 с.

Поступила в редколлегию 20.08.10

И.В. РУССУ, докт. хаб. техн. наук, проф., Технический Университет Молдовы, г. Кишинэу; *И. КОЛЕСНИК, И. КОНСТАНТИНЕСКУ*, Университет «Нижний Дунай», г. Галаць, Румыния

ЗАЩИТНОЕ ЛАКОКРАСОЧНОЕ ПОКРЫТИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ВОДОУМЯГЧЕНИЯ И ВОДОПОДГОТОВКИ ТЭС

У роботі представлені позитивні результати використання як наповнювача лакофарбових покриттів мінерального порошку, що містить, мас. %: 85 – 90 CaCO₃, 3 – 4 SiO₂, 4 – 6 Al₂O₃ + Fe₂O₃, який є відходом ТЕЦ. Показано, що лакофарбове покриття на основі смоли ЕД-20 з використанням цього відходу ТЕЦ забезпечує надійну протикорозійний захист залізобетонних конструкцій від впливу продуктів переробки плодів і овочів.

In work positive results of use as filler of paint and varnish coverings of the mineral powder containing, weights are presented. %: 85 – 90 CaCO₃, 3 – 4 SiO₂, 4 – 6 Al₂O₃ + Fe₂O₃ which is a thermal power station withdrawal. It is shown that the paint and varnish covering on the basis of pitch ED-20 with use of this withdrawal of thermal power station provides reliable anticorrosive protection of ferro-concrete designs against influence of products of processing of fruits and vegetables.

На теплоэлектростанциях (ТЭС) при очистке и умягчении воды накапливаются большие количества отходов, которые хранятся в специальных бассейнах-отстойниках [1, 2]. В настоящее время на многих ТЭС эти отстойники перегружены. Определенное количество отходов на ТЭС образовывается и в результате обжига извести. Все эти отходы состоят в основном из, % масс: CaCO₃ ~ 85... 90, SiO₂ ~ 3...4, MgO ~ 3...4, Al₂O₃ ~ 2...3, Fe₂ O₃ ~ 2...3, других неорганических и органических примесей.

Использование этих отходов позволило бы обеспечивать постоянное освобождение бассейнов-отстойников, сокращение расходов для их хранения и лимитирование их распространения в окружающую среду, решая, таким образом, и важную экологическую проблему [1, 3].

Наиболее оптимальное решение данной проблемы состоит в разработке технологии и организации получения из этих отходов полуфабрикатов (технологическая схема получения минерального порошка показана на рис. 1), пригодных для производства различных строительных материалов, в частности: ячеистых бетонов, сухих строительных смесей, химической (эмалей, грунтовок, шпатлевок, мастик) и другой продукции.

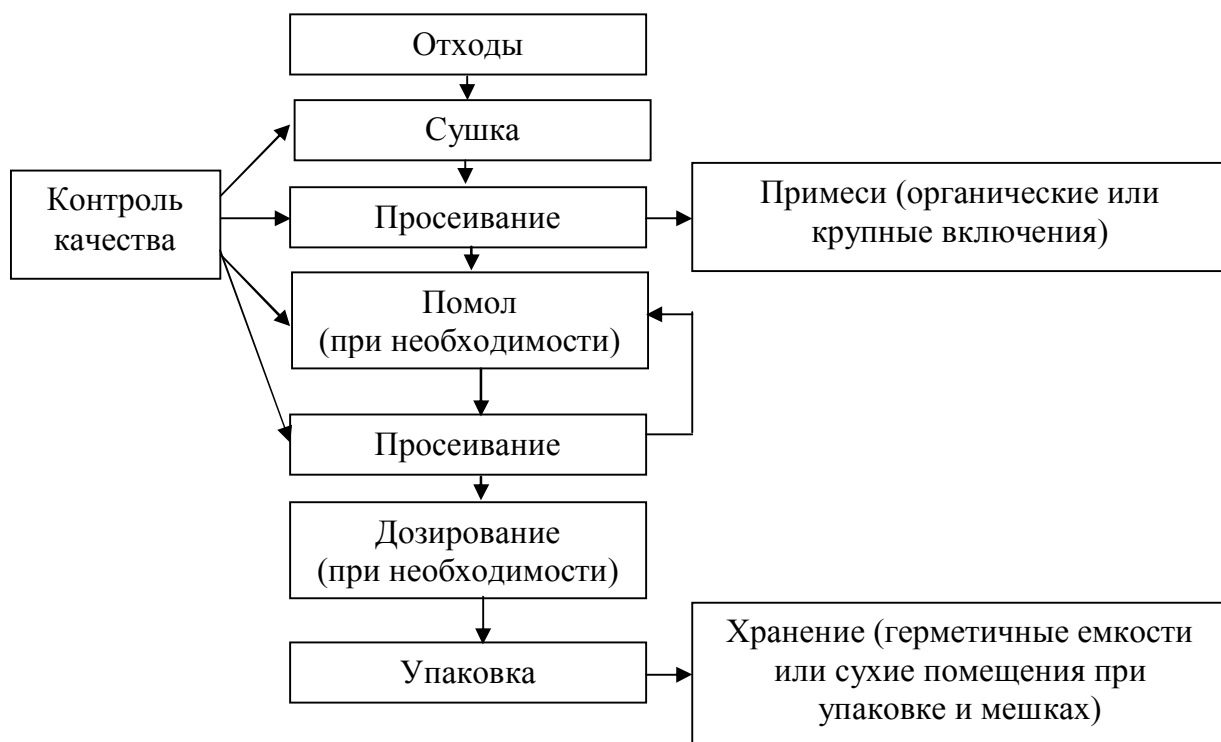


Рис. 1. Технологическая схема получения минерального порошка из отходов ТЭС

Такое решение данной проблемы позволило бы также сократить добычу аналогичных видов сырья из природных резервов и, таким образом, обеспечивать их дальнейшее сохранение.

Свойства полученного минерального порошка приведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства полученного минерального порошка

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя	Методы испытаний
1	2	3	4
1	Цвет	равномерный от белого до светло желтого	ГОСТ 16873
2	Условная светостойкость, %, не более	7	GOST 21903
3	Укрывистость, г/м ² , не более	60	ГОСТ 8784, разд. 1
4	Остаток на сите 014 после сухого просеивания, %, не более	0,05	ГОСТ 21119.4, разд. 1
5	Значение рН водной вытяжки, в пределах	6...8	ГОСТ 21119.3
6	Содержание органических примесей, %, не более	2	ГОСТ 8735
7	Истинная плотность, г/см ³ , не более	1,6	ГОСТ 8735

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
8	Насыпная плотность, г/см ³ , не более	0,6	ГОСТ 8735
9	Массовая доля веществ растворимых в воде, %, не более	0,5	ГОСТ 21119.2
10	Массовая доля воды и летучих веществ, %, не более	1	ГОСТ 21119.2

Исследованиями выявлена возможность использования минерального порошка для производства лакокрасочных материалов.

Подбор составов лакокрасочных материалов для покрытий производился путем определения критической концентрации наполнителей и красителей в лаках оптимальной концентрации (рис. 2).

В качестве пленкообразующего вещества для производства лакокрасочных материалов использовалась эпоксидная смола марки ЭД-20.



Рис. 2. Зависимость вязкости лакокрасочных составов от концентрации эпоксидной смолы ЭД-20 (1), катионита КУ-2-8чС (2) и двуокиси титана и минерального порошка в соотношении 2 : 3 (3):

К_{к1} – критическая концентрация эпоксидной смолы марки ЭД-20 в лаке (грунтовка);

К_{к2} – критическая концентрация катионита КУ-2-8чС в лаке оптимальной концентрации (шпатлевка);

К_{к3} – критическая концентрация двуокиси титана и минерального порошка (в соотношении 2 : 3) в лаке оптимальной концентрации (эмаль).

Свойства лакокрасочных материалов грунтовки, шпатлевки и эмали на основе эпоксидной смолы ЭД-20 с использованием в качестве наполнителя минерального порошка из отходов ТЭС приведены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства лакокрасочных материалов грунтовки, шпатлевки и эмали

№ п/п	Наименование показателей	Грунтовка	Шпатлевка	Эмаль
1	Внешний вид	Гладкая однородная поверхность без механических включений		
2	Степень перетира по "Клину" (гриндометру), мкм, не более	25	–	30
3	Условная вязкость полуфабриката по вискозиметру типа ВЗ-246 (ВЗ-4) при температуре (20 ± 2) °С, с, в пределах	40-50	–	70-80
4	Массовая доля нелетучих веществ, мас. %	30-35	75-80	65-70
5	Укрывистость, г/м ² , не более	80	60	100
6	Время высыхания до степени 3 при температуре (20 ± 2) °С, ч, не более	12	16	16
7	Твердость пленки по маятниковому прибору, усл. ед., не менее	16	16	16
8	Прочность пленки при ударе, см, не менее	40	40	45
9	Эластичность пленки при изгибе, не более	16	18	16
10	Срок годности при температуре (20 ± 2) °С, ч, не менее	1,5	2,0	1,5

В значительной степени защитные свойства, долговечность и в целом качество лакокрасочных покрытий зависят от выбора оптимального режима сушки каждого его слоя и всего покрытия.

Правильно выбранный режим сушки позволяет получать покрытия с наилучшими механическими (прочностью, твердостью, износостойкостью), физическими (плотностью, набухаемостью, проницаемостью), а при нанесении двухкомпонентных лакокрасочных материалов и наиболее полное их отверждение.

Исследования заключались в определении маятниковым прибором МЭ-3 продолжительности приобретения лакокрасочными покрытиями максимальной твердости при комнатной и повышенной температурах.

Продолжительность сушки слоев покрытий, при комнатной или повышенной температурах, считалось время, после которого твердость покрытий практически не менялась (рис. 3).

При многослойных лакокрасочных покрытиях для нанесения каждого

последующего слоя необходимо устанавливать оптимальную продолжительность высыхания при обычной температуре предыдущего.

Сушка каждого слоя покрытия необходима, исходя из нескольких соображений: максимальное испарение из покрытия растворителя или смеси растворителей, что улучшает его органолептические и санитарно-гигиенические свойства; достижения слоем покрытия определенной механической прочности; максимальная усадка слоя покрытия в результате его сушки, что исключает дальнейшую деформацию при дополнительной его сушке.

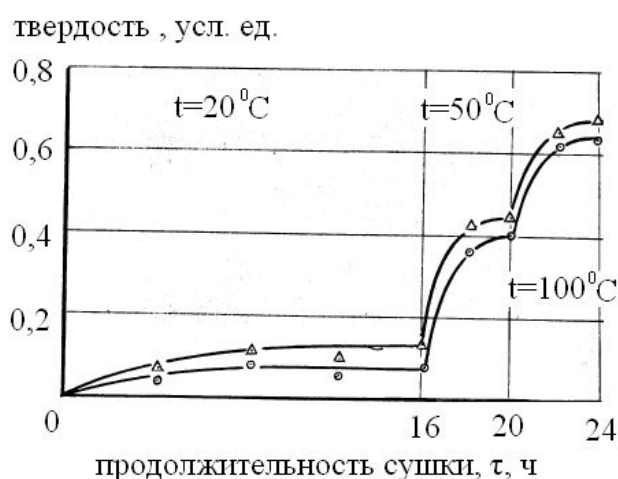


Рис. 3. Изменение твердости пленок на основе эпоксидной смолы ЭД-20 в зависимости от температуры (t , °C) и продолжительности (τ , ч) сушки:
1 – лаковая пленка; 2 – эмалевая пленка.

Достижение слоем покрытия определенной механической прочности необходимо, т.к. при низкой его прочности он может быть поврежден при нанесении последующего слоя, особенно при нанесении кистью или валиком.

Недостаточная механическая прочность слоя покрытия при нанесении последующего слоя может привести к их совместному сползанию с вертикальной поверхности.

При достаточно высоко отвержденном и прочном слое покрытия адгезия к нему последующего слоя будет минимальной.

Максимальная адгезия между слоями многослойного покрытия обеспечивается когда предыдущий слой не будет полностью отвержден, а последующий слой частично его растворяет и обеспечивает, таким образом, со-вмещение между лакокрасочными материалами непосредственно контактирующих слоев.

При дальнейшем совместном отверждении лакокрасочных материалов

контактирующих слоев будет обеспечена максимальная адгезия между ними.

Максимальное испарение растворителя или растворителей из каждого слоя покрытия приводит к их максимальной усадке и образованию в них дефектов, которые при нанесении последующих слоев ”залечиваются”.

При недостаточном испарении растворителя из нижележащего слоя его дальнейшее испарение затрудняется и приводит к нарушению структуры (плотности) последующего слоя, уменьшению адгезии между ними, возникновению внутренних напряжений между слоями покрытия.

Остаточное количество растворителя в покрытии ухудшает органолептические и санитарно-гигиенические его свойства.

При раннем начале сушки при повышенных температурах, когда в покрытиях содержится еще значительное количество растворителя возможно бурное его испарение, что приводит к сильному ухудшению структуры покрытия: разрыхлению, нарушению плотности, появлению сквозных пор, трещин и т.п. Особо важное значение имеет режим сушки при изоляции и противокоррозионной защите лакокрасочными покрытиями железобетонных конструкций. Поверхность бетона характеризуется определенной шероховатостью, пористостью, влажностью, в железобетонных конструкциях допускается раскрытие трещин определенной ширины, и все эти особенности требуют применение сложных многослойных систем покрытий.

Лакокрасочные материалы исследовались при противокоррозионной защите бетона конструкций, эксплуатируемых в условиях воздействия жидких продуктов переработки плодов и овощей.

Система лакокрасочного покрытия приведена в табл. 3.

Таблица 3

Система лакокрасочного покрытия

№ п/п	Наименование лакокрасочных материалов покрытия	К-во слоев	Толщина покрытия, мкм	
			одного слоя	общая
1	Грунтовка	2-3	-	-
2	Шпатлевка	1	35-100	35-100
3	Эмаль	2	40-45	80-90
Общая толщина покрытия			190 - 340	

Защитные свойства лакокрасочного покрытия по отношению к бетону конструкций, эксплуатируемых в условиях предприятий по переработке пло-

дов и овощей (после 5-ти лет экспозиции образцов в модельные среды, имитирующие различные пищевые продукты) приведены в табл. 4.

Таблица 4

Защитные свойства лакокрасочного покрытия

Показатели лакокрасочного покрытия	Исходные значения показателей	Модельные растворы			
		20 %-ный C_2H_5OH , содержащий 2 % лимонной кислоты	2 %-ный раствор лимонной кислоты	2 %-ный раствор CH_3COOH , содержащий 2 % $NaCl$	5 %-ный раствор сернистого ангидрида
Прочность при ударе, см	49	47	48	48	49
Эластичность при изгибе, мм	16	18	18	18	16
Трещиностойкость, мм	0,40	0,35	0,36	0,36	0,37
Адгезия при нормальном отрыве, МПа	1,9	1,5	1,7	1,7	1,9
Структура покрытия, усл. ед.	1,0	0,75	0,85	0,87	0,94

Выводы.

1. Минеральный порошок из отходов водоумягчения и водоподготовки отходов ТЭЦ по своим показателям соответствует основным требованиям к наполнителям для лакокрасочной промышленности.

2. Лакокрасочное покрытие на базе эпоксидной смолы марки ЭД-20 с использованием в качестве наполнителя минерального порошка из отходов водоумягчения и водоподготовки отходов ТЭЦ обеспечивает надежную противокоррозионную защиту железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях воздействия продуктов переработки плодов и овощей.

Список литературы: 1. Использование крупнотонажных отходов водоподготовки Нижнекамской ТЭЦ при производстве гипса на предприятиях строительной индустрии. <http://www.inno.ru/project/143-40/>. 2. Сульфатсодержащее вяжущее из шламов ТЭЦ и отходов серной кислоты. http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=2388&cat_id=24. 3. Вознесенский В.В. Экологические технологии: проблемы переработки и утилизации осадков сточных вод / В.В. Вознесенский, Ю.А. Феофанов // Инженерная экология. – 1999. – № 1. – С. 2 – 7.

В.Г. САЛЬНИК, канд. техн. наук, докторант;

В.А. СВИДЕРСЬКИЙ, докт. техн. наук, проф.;

Л.П. ЧЕРНЯК, докт. техн. наук, ст. наук. співроб., НТУУ «КПІ

ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНІ ТА ДИСПЕРСНІСТЬ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ ЯК ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ГЛИНИСТИХ СИСТЕМ

Наведено результати досліджень глинистих суспензій різного хіміко-мінералогічного складу та визначено ступінь впливу властивостей поверхні та дисперсності компонентів на структурно-механічні, реологічні та литтєві характеристики.

The results of studies of clay suspensions with different chemical and mineralogical composition are given. The degree of influence of surface properties and dispersion of the components on the structural and mechanical, rheological and casting properties is identified.

Вступ.

В сучасній технології кераміки використовуються шлікерні маси – водні дисперсні системи, що відрізняються складом, властивостями та концентрацією частинок дисперсної фази, складом і властивостями дисперсійного середовища. Коагуляційні структури таких мас мають загальні основні ознаки, проте суттєво різняться за показниками структурно-механічних та технологічних властивостей.

Аналізу факторів впливу на процес коагуляційного структуроутворення та властивості водних глинистих систем, що застосовується в сучасній технології кераміки, присвячена дана робота.

1. Дисперсність дослідних глин і каоолінів.

Постійне розширення сировинної бази діючих підприємств пов'язане з певними змінами характеристик глин і каоолінів, що застосовуються в технологічному процесі:

- створене на основі Веселовського рудника АТ «Веско» експлуатує Андрієвське родовище гідрослюдисто-каоолінітової глини і постачає для виробництва санітарної кераміки марки Веско-Екстра, Веско-Прима і Веско-Гранітик замість веселовської марок ВГО-1, ВГО-2 [1, 2];

- вдосконалення технології мокрого збагачення каолінів обумовлює зміни деяких показників властивостей КС-1;

- впровадження сучасного обладнання для лиття за рекомендацією іноземних компаній-постачальників супроводжується застосуванням нових марок глин і каолінів.

Об'єктами дослідження в даній роботі стали глини та каоліни родовищ України, що широко застосовуються в виробництві кераміки, а також глини та каолін родовищ Німеччини та Турції, що застосовуються провідними європейськими виробниками та ЗАТ «Славутський комбінат «Будфарфор» (табл. 1).

Таблиця 1

Дисперсність глин і каолінів

Сировина	Вміст (%) фракцій частинок (мм)				
	1,00-0,06	0,06-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	менше 0,001
Глина ПЛГ-1	3,72	0,18	1,25	6,25	88,60
ДН-0	0,92	0,68	3,15	14,25	81,00
Веско-Гранітик	1,63	3,22	6,75	18,00	70,40
Santon-L	2,10	14,70	0,35	20,80	53,05
ESBKA-2	0,45	21,70	13,40	28,70	35,75
Каолін збагачений					
глуховецький КС-1	0,17	11,78	9,40	28,80	49,85
просянський КС-1	0,40	10,05	8,45	24,95	56,15
Незбагачений					
обознівський К0-1	3,18	3,07	3,35	14,85	75,55
глуховецький КССК	62,38	7,62	3,00	9,85	17,15
катеринівський Е2013	70,37	6,08	3,70	5,90	13,95
німецький КІСК-2	0,18	38,17	25,35	25,05	11,25

Згідно кваліфікації ДСТУ Б В.2.7-60-97 по дисперсності за вмістом 70,4 – 88,6 мас. % тонкодисперсних частинок фракцій < 0,001 мм дослідні проби глин Ново-Райського, Веселовського (Андрійовського) родовищ Донбасу та Полозь-кого родовища Запорізької області відносяться до групи високодисперсних.

При цьому проба Веско-Гранітик відзначається меншим (70,4 мас. %), а проба ПЛГ-1 (88,6 мас. %) найбільшим вмістом частинок < 0,001 мм. Загальний вміст частинок фракцій < 0,01 мм у вказаних пробах вітчизняних глин знаходиться на рівні 95,2 – 98,4 мас. %.

Глина Santon-2 за вмістом 53,1 мас. % тонкодисперсних частинок фракцій < 0,001 мм і 74,2 мас. % частинок фракцій < 0,01 мм відноситься до групи середньодисперсних. Глина ESBKA-2 за вмістом 35,75 мас. % частинок фракцій < 0,001 мм відноситься до низькодисперсних, а із 77,85 мас. % частинок фракцій < 0,01 мм до середньодисперсних.

Збагачені глуховецький і просянський каоліни типу КС-1 за вмістом 49,8 – 56,2 мас. % тонкодисперсних частинок фракцій < 0,001 мм належать до групи середньодисперсних, а за загальним вмістом 88,1 – 89,6 мас. % частинок фракцій < 0,01 мм – до високодисперсних. При цьому проба просянського КС-1 відзначається дещо більшим вмістом тонкодисперсних частинок. Проба незбагаченого обознівського каоліну КО-1 за вмістом 75,6 мас. % тонкодисперсних частинок фракцій < 0,001 мм і 93,8 мас. % частинок фракцій < 0,01 мм відносяться до групи високодисперсних.

Проба лужного незбагаченого каоліну КССК за вмістом 17,2 мас. % тонкодисперсних частинок фракцій < 0,001 мм і 30,0 мас. % частинок фракцій < 0,01 мм належить до групи низькодисперсних.

Проба лужного незбагаченого каоліну E2013 за вмістом 14,0 мас. % тонкодисперсних частинок фракцій < 0,001 мм і 23,6 мас. % частинок фракцій < 0,01 мм відноситься до групи грубодисперсних.

Проба каоліну КІСК-2 за вмістом 11,2 мас. % тонкодисперсних частинок фракцій < 0,001 мм належать до групи грубодисперсних, а за загальним вмістом 61,65 мас. % частинок фракцій < 0,01 мм – до середньодисперсних.

2. Властивості поверхні глинистої сировини.

Значний обсяг досліджень гідрофільності глин і каолінів показав, що остання багато в чому визначає їх фізико-хімічні та технологічні властивості [3 – 6]. Відзначається суттєва роль водневого зв'язку в процесі взаємодії між водою та поверхнею твердих фаз. Змочуваність водою пов'язується з кристалохімічною будовою твердих тіл, молекулярною природою поверхні і наявністю на ній таких активних центрів, що приєднують до себе молекули води за допомогою водневих зв'язків. Енергетична ненасиченість поверхневих молекул глинистих частинок зумовлює інтенсивне притягання молекул дисперсійного середовища з утворенням мономолекулярного шару води. Адсорбована вода першого молекулярного шару є зв'язаною і утримується найбільш міцно. Показано, що кількість зв'язаної води зростає пропорційно величині питомої ефективної поверхні. Вільною є вода, що іммобілізована в коагуляційній структурі.

Зниження сольватації частинок дисперсної фази та їх ефективної питомої поверхні обумовлює можливість зменшення в'язкості та здатності до тиксотропії, підвищення плинності глинистих систем.

Отже вихідні властивості поверхні сировинних компонентів необхідно враховувати при дослідженні та визначенні раціональних складів глинистих систем.

Як свідчать результати експериментів дослідна глиниста сировина суттєво відрізняється за властивостями поверхні частинок (табл. 2).

Таблиця 2

Властивості поверхні глинистих компонентів

Назва проби	Змочування при натіканні		Коефіцієнт ліофільності	Ефективна питома поверхня, м ² /г	
	вода	бензол		вода	бензол
Глина					
полозька ПЛГ-1	0,070	0,133	0,529	51,11	25,62
новорайська ДН-0	0,029	0,091	0,316	46,24	14,41
Веско-Гранітик	0,053	0,276	0,193	52,39	14,68
Santon-L	0,045	0,200	0,227	19,60	10,31
ESBKA-2	0,092	0,485	0,190	57,20	22,50
Каолін збагачений					
глуховецький КС-1	0,024	0,194	0,123	35,97	16,99
просянський КС-1	0,058	0,236	0,247	49,64	18,70
Незбагачений					
обознівський К0-1	0,039	0,170	0,228	44,58	34,74
глуховецький КССК	0,061	0,145	0,418	19,86	14,30
катеринівський Е2013	0,022	0,141	0,153	17,99	14,60
німецький КІСК-2	0,147	0,802	0,183	30,74	18,19

Очевидно, що серед глин вітчизняних родовищ проба Веско-Гранітик при однаковій з ПЛГ-1 ефективній питомій поверхні (по воді) відрізняється показниками змочування при натіканні полярною (водою) і неполярною (бензолом) рідниною та згачно меншим коефіцієнтом ліофільності (0,193 проти 0,529).

Глина ESBKA-2 близька до Веско-Гранітик за показниками ефективної питомої поверхні та коефіцієнтом ліофільності, проте відрізняється суттєво більшими числами змочування при натіканні рідниною. Глина Santon-L при близьких до Веско-Гранітик числах змочування при натіканні рідниною та

коефіцієнта ліофільності відрізняється меншою ефективною питомою поверхнею.

Серед вітчизняних збагачених каолінів проба глуховецького КС-1 відрізняється від просянського КС-1 меншими числами змочування при натіканні рідиною, коефіцієнта ліофільності та ефективною питомою поверхні.

Проба КО-1 близька до просянського КС-1 за показниками коефіцієнта ліофільності та ефективною питомою поверхні (по воді).

Вітчизняні незбагачені лужні каоліни відзначаються серед інших проб каолінів найменшою ефективною питомою поверхнею (по воді). При цьому проба Е2013 відрізняється від КССК суттєво меншими числами змочування при натіканні водою та коефіцієнта ліофільності.

КІСК-2 при найбільших серед досліджених проб числах змочування при натіканні полярною (водою) і неполярною (бензолом) рідиною наближається за значеннями коефіцієнту ліофільності та ефективною питомою поверхні до глухо-вещького КС-1 та Е2013.

3. Коагуляційна структура водних глинистих систем.

Дослідження процесів коагуляційно-структурування водних систем глинистих мінералів показали наявність виборчого зчеплення частинок по найбільш ефективним для певних умов контактам та внаслідок цього – побудова структури з значним або переважним числом контактів певного виду [7-9]. Дисперсність частинок визначає число контактів, форма і ступень руйнування – їх характер.

Проведений нами аналіз дозволив виявити особливості деформаційних процесів, що характеризують коагуляційне структуроутворення дослідних водних систем.

Встановлено, що суспензії ПЛГ-1 за розвитком швидкої еластичної ϵ_0' , повільної еластичної ϵ_2' та пластичної $\epsilon_1'\tau$ деформацій відносяться до III-го структурно-механічного типу, коли $\epsilon_0' > \epsilon_1'\tau > \epsilon_2'$, суспензії Веско-Гранітик і Santon-L відносяться до IV-го структурно-механічного типу, коли $\epsilon_1'\tau > \epsilon_0' > \epsilon_2'$. При цьому існує суттєва різниця в кількісних значеннях та співвідношенні різновидів деформації в залежності від концентрації дисперсної фази або вологості.

При приблизно однаковій концентрації дисперсної фази та вологості 67,5 – 70,0 мас.% водна система гідролюдисто-каолінітової Веско-Гранітик відрізняється від каолінітової ПЛГ-1:

- значно меншим розвитком швидкої еластичної деформації ϵ_0' – в 2,4 рази ($6,25 \cdot 10^8$ проти $14,92 \cdot 10^8$), що свідчить про меншу кількість в водній системі найбільш міцних контактів частинок типу кут-кут, кут-ребро, ребро-ребро;

- більшим розвитком повільної еластичної деформації ($2,91 \cdot 10^8$ проти $1,65 \cdot 10^8$), що вказує на відносно більшу кількість контактів частинок типу площа-кут, площа-ребро, площа-площина;

- значно більшим розвитком пластичної деформації $\epsilon_1' \tau$ - в 3,1 рази ($26,66 \cdot 10^8$ проти $8,47 \cdot 10^8$), що вказує на зменшення стійкості та поліпшенням плинності суспензії;

- за реологічними характеристиками - більшими умовною динамічною межею плинності R_{k_2} – в 1,8 рази (46,8 проти 25,2) та бінгамівською в'язкістю η_m^X ($0,057 \cdot 10^{-2}$ проти $0,023 \cdot 10^{-2}$).

При однаковій з ПЛГ-1 ефективній питомій поверхні менший вміст тонкодисперсних фракцій Веско-Гранітик обумовлює утворення в її суспензії меншого числа контактів, що проявляється в менших числах шведівської в'язкості η_1 та умовного модуля деформації E_ϵ , котрий визначає сили взаємодії частинок дисперсної фази.

При однаковій концентрації дисперсної фази та вологості 55,0 мас. % водна система Santon-L відрізняється від Веско-Гранітик:

- суттєво більшим розвитком швидкої еластичної деформації ϵ_0' – в 3,5 рази ($9,52 \cdot 10^8$ проти $2,68 \cdot 10^8$), що свідчить про більшу кількість в водній системі найбільш міцних контактів частинок типу кут-кут, кут-ребро, ребро-ребро;

- дещо більшим розвитком повільної еластичної деформації ($1,69 \cdot 10^8$ проти $1,53 \cdot 10^8$), що вказує на відносно більшу кількість контактів частинок типу площа-кут, площа-ребро, площа-площина;

- меншим розвитком пластичної деформації $\epsilon_1' \tau$ ($12,27 \cdot 10^8$ проти $14,02 \cdot 10^8$), що пов'язується з певним підвищенням стійкості суспензії;

- за реологічними характеристиками – суттєво меншими умовною динамічною межею плинності R_{k_2} – в 2,2 рази (34,8 проти 78,6) та бінгамівською в'язкістю η_m^X ($0,048 \cdot 10^{-2}$ проти $0,111 \cdot 10^{-2}$).

При порівнянні коагуляційних структур Веско-Гранітик і Santon-L більші числа в'язкості η_1 та умовного модуля деформації E_ϵ в випадку Santon-L при меншій ефективній питомій поверхні (19,60 проти 52,39 м²/г) меншому вмісті тонкодисперсних фракцій і відповідно меншому числі контактів появ-

зується з відміченим превалюючим утворенням найбільш міцного типу контактів.

Встановлено, що суспензії дослідних каолінів за розвитком швидкої еластичної ϵ_0' , повільної еластичної ϵ_2' та пластичної $\epsilon_1'\tau$ деформацій відносяться до до IV-го структурно-механічного типу, коли $\epsilon_1'\tau > \epsilon_0' > \epsilon_2'$.

Серед вітчизняних збагачених каолінів водні системи просянського КС-1 відрізняються від глуховецького КС-1. При вологості 50 – 62 мас. % суспензії просянського КС-1 відзначаються:

- більшим числом контактів частинок при шведівській в'язкості $(11,79 - 14,34) \cdot 10^{-2}$ проти $(7,41 - 13,00) \cdot 10^{-2}$ і силами взаємодії частинок дисперсної фази при $E_\epsilon (1,13 - 1,39) \cdot 10^{-3}$ проти $(0,74 - 1,14) \cdot 10^{-3}$, що пов'язується з більшою енергетичною неоднорідністю поверхні;

- меншим розвитком повільної еластичної ϵ_2' $(0,20 - 0,26) \cdot 10^8$ проти $(0,58 - 0,67) \cdot 10^8$ та пластичної деформації $\epsilon_1'\tau (13,95 - 16,92) \cdot 10^8$ проти $(15,38 - 26,99) \cdot 10^8$, що пов'язується з різницею в генезисі та морфології частинок каолініту;

- за реологічними характеристиками - більшою умовною динамічною межею плинності $Rk_2 - (49,4 - 159,0)$ проти $(46,2 - 105,0)$.

При однаковій концентрації дисперсної фази та вологості 50,0 мас. % водні системи незбагачених лужних каолінів відрізняється від збагачених типу КС-1:

- значно більшим розвитком пластичної деформації $\epsilon_1'\tau - (41,15 - 53,05) \cdot 10^8$ проти $(13,95 - 15,38) \cdot 10^8$, що вказує на зменшення стійкості та поліпшення плинності суспензії;

- суттєво меншими силами взаємодії частинок дисперсної фази при $E_\epsilon (0,37 - 0,48) \cdot 10^{-3}$ проти $(1,14 - 1,39) \cdot 10^{-3}$ та числом контактів при шведівській в'язкості $(3,77 - 4,86) \cdot 10^{-2}$ проти $(13,00 - 14,34) \cdot 10^{-2}$;

- за реологічними характеристиками – меншою умовною динамічною межею плинності $Rk_2 - (5,2 - 33,4)$ проти $105,0 - 159,0$ та бінгамівською в'язкістю $\eta_m^X (0,09 - 0,15) \cdot 10^{-2}$ проти $(0,26 - 0,34) \cdot 10^{-2}$.

При однаковій концентрації дисперсної фази та вологості суспензія КІСК-2 займає проміжне становище між вітчизняними збагаченими та незбагаченими лужними каолінами за розвитком пластичної деформації $\epsilon_1'\tau$, умовним модулем деформації E_ϵ і умовною динамічною межею плинності Rk_2 .

Коагуляційна структура водних систем дослідної глинистої сировини має суттєві відмінності. Відомо, що глинисті системи є кінетично нестійки-

ми внаслідок осадження частинок під впливом сили тяжіння або на поверхні форм під час формування методом лиття. Структурно-механічними факторами зменшення стійкості глинистих суспензій є зменшення найбільшої пластичної в'язкості η_1 , періоду істинної релаксації θ_1 та збільшення статичної пластичності.

Згідно з цим за кінетичною стійкістю водних систем дослідної сировини визначаються ряди:

Глина Веско-Гранітик < ДН-0 < полозька ПЛГ-1

Каолін збагачений просянський КС-1 < глуховецький КС-1

Каолін незбагачений глуховецький КССК < обознівський К0-1 < катеринівський Е2013

4. Технологічні властивості глинистих суспензій.

Отримані результати тестувань технологічних параметрів водних систем дослідних глин і каолінів дозволили поглибити уявлення про їх зв'язок з дисперсністю та властивостями поверхні.

Як свідчить аналіз плинності більш грубодисперсні глини ESBKA-2 і Santon-L розріджуються водою при значно більшій концентрації дисперсної фази, ніж дослідні глини вітчизняних родовищ (рис. 1).

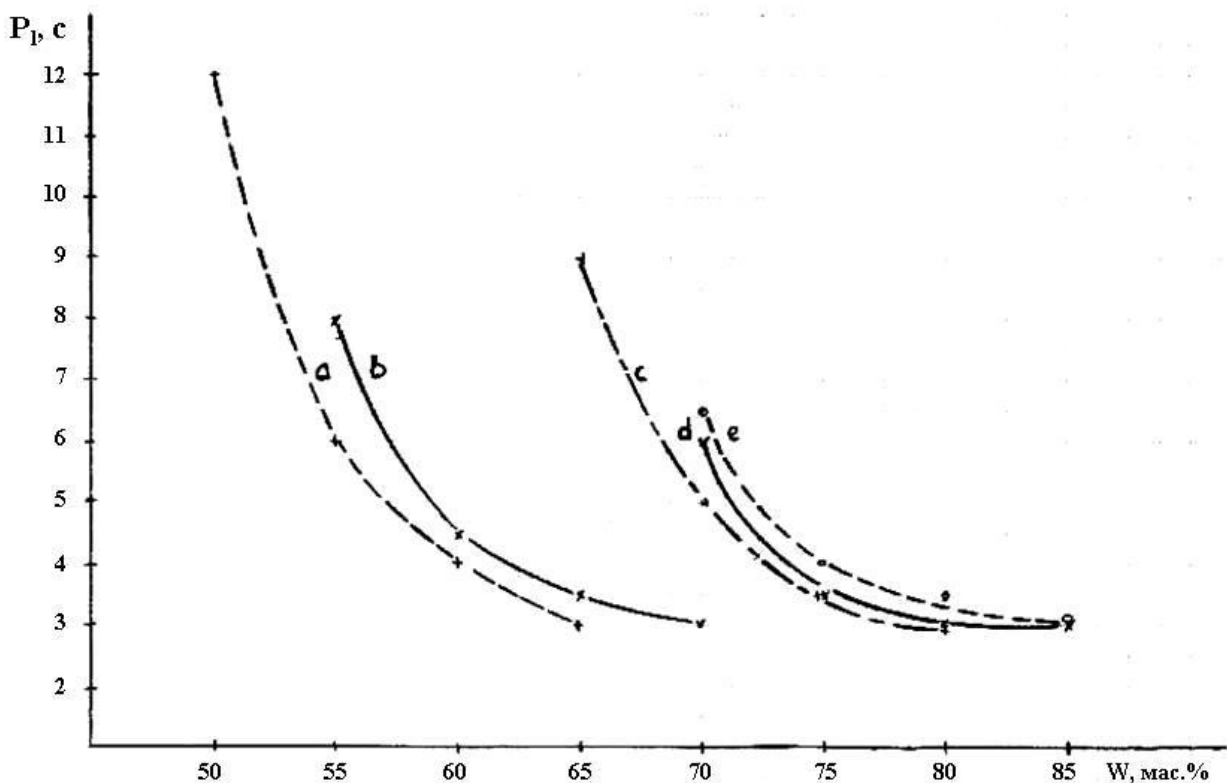


Рис. 1. Залежність плинності від вологості суспензій глин ESBKA-2 (а), Santon-L (в), Веско-Гранітик (с), ПЛГ-1 (д), ДН-0 (е).

При цьому серед останніх проба Веско-Гранітик розріджується при більшій концентрації дисперсної фази у порівнянні з ПЛГ-1 і ДН-О.

Як свідчить аналіз плинності каолінів проби E2013 і КССК розріджуються водою при значно більшій концентрації дисперсної фази, ніж КІСК-2 та проби вітчизняних родовищ (рис. 2).

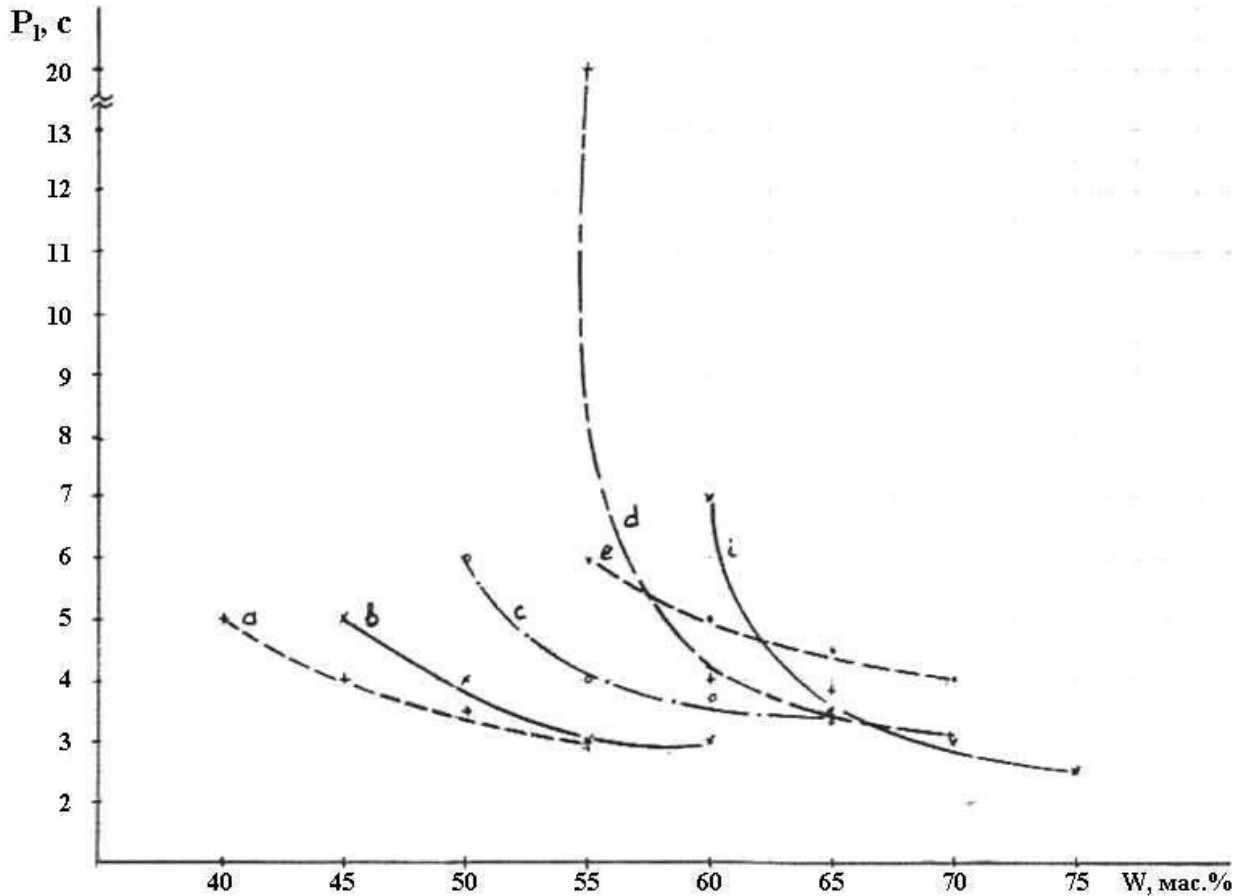


Рис. 2. Залежність плинності від вологості суспензій каолінів E2013 (a), КССК (b), КІСК-2 (c), КО-1 (d), просянський КС-1 (e), глуховецький КС-1 (i).

Отримані результати корелюються з існуючими уявленнями про коагуляційне структуроутворення, за якими зменшення дисперсності та анізотропії частинок і агрегатів веде до проявлення межі плинності при більшій концентрації дисперсної фази.

Аналіз литтєвих властивостей суспензій дослідних глин і каолінів свідчить про відмінності ступеню загусності в процесі коагуляційного структуроутворення та інтенсивності формування при литті.

Серед глин родовищ України з приблизно однаковим ступенем загусності з коефіцієнтом 1,08 – 1,10 Веско-Гранітик відрізняється від ДН-О і ПЛГ-1 дещо більшим набором маси в гіпсовій формі за нормальних умов протягом

10 хв. при відносно меншій інтенсивності фільтрації (3,79 проти 3,96 – 3,97). При однаковій вологості з вітчизняними суспензії імпортних глин Santon-L і ESBKA-2 відзначаються дещо меншим ступенем загусності (коефіцієнт 1,00 проти 1,08 – 1,10), а ESBKA-2 більшою інтенсивністю фільтрації під тиском.

Серед дослідних каолінів при однаковій вихідній вологості проби глуховецького КС-1 і КО-1 відзначаються дещо більшим ступенем загусності з коефіцієнтами 1,28-1,09 проти 1,00 для інших.

Проби лужних каолінів КССК і Е2013 відзначаються більшою масою відлиски та інтенсивністю фільтрації при литті в гіпсовій формі за нормальних умов протягом 10 хв. (3,77-4,20 проти 2,54-3,23) та під тиском (2,52-2,75 проти 1,84-2,04). При цьому проба КІСК-2 поступається вітчизняним лужним і дещо перевищує лише глуховецький КС-1 при литті в гіпсовій формі та КО-1 під тиском.

Висновки:

1. Аналіз дисперсності показує, що за вмістом тонкодисперсних частинок – менш 0,001 мм та менш 0,01 мм досліджені проби глинистої сировини утворюють ряди:

Глина ESBKA-2 < Santon-2 < Веско-гранітик < ДН-0 < полозья ПЛГ-1

Каолін збагачений КІСК-2 < глуховецький КС-1 < просянський КС-1

Каолін незбагачений катеринівський Е2013 < глуховецький КССК < обознівський КО-1

2. Дисперсність глин і каолінів є важливим фактором коагуляційного структуроутворення, проте при аналізі та регулюванні цього процесу, крім розподілу дисперсних частинок за розміром, слід враховувати особливості їх кристалохімічної будови, властивості поверхні та ліофільність, ступень анізотропії та форму.

3. Розвиток деформаційних процесів при коагуляційному структуроутворенні суспензій дослідних глин і каолінів при рівних концентраціях дисперсної фази пов'язується з відмінностями мінералогічного складу, форми та розмірів частинок:

- при близьких показниках дисперсності значно більший розвиток пластичної деформації ϵ_1 'т в суспензіях гідролюдисто-каолінітових ДН-0, Веско-Гранітик у порівнянні з каолінітовою ПЛГ-1 пов'язується з особливостями взаємодії гексагональних частинок каолініту з подовженими пластинками гідролюди;

- при порівнянні близьких за мінералогічним складом Santon-L і Веско-Гранітик суттєво більший розвиток швидкої еластичної деформації ϵ_0' в суспензії Santon-L при більшій грубодисперсності пов'язується з відмінностями в генезисі та морфології частинок породоутворюючих мінералів;

- превалюючий розвиток пластичної деформації ϵ_1' в суспензіях грубодисперсних незбагачених лужних каолінів пов'язаний з особливостями взаємодії частинок різної кристалохімічної будови.

4. При найбільшій грубодисперсності та найменшій ефективній питомій поверхні найліпше серед дослідних проб глинистої сировини розрідження водних систем вітчизняних лужних каолінів досягається при більшій концентрації дисперсної фази в інтервалі 60,0 – 40,0 проти 50,0 – 30,0 мас. % для імпортованих глин і каоліну та 35,0 – 15,0 мас. % для вітчизняних глин і збагачених каолінів.

5. Найкращі серед дослідних каолінів литтєві властивості суспензій лужних E2013, КССК при їх найменшій ефективній питомій поверхні пов'язуються з відносно меншою часткою зв'язаної та відповідно більшою часткою іммобілізованої води, що більш інтенсивно фільтрується через пристінний шар, підвищена проникливість якого обумовлюється грубодисперсністю частинок – меншим числом контактів і більшою пористістю.

Список літератури: 1. Ерохіна Л.В. Исследование глин Андреевского месторождения / Л.В. Ерохіна, Н.П. Тарантул, Н.В. Кольшикина // Труды института НИИСтройкерамика. – 1987. – Вып. 61. – С. 81 – 97. 2. Романенко Е.Н. Особенности глин Андреевского месторождения / Е.Н. Романенко // Стекло и керамика. – 2002. – № 4. – С. 26 – 27. 3. Овчаренко Ф.Д. Гидрофильность глин и глинистых минералов / Ф.Д. Овчаренко. – К.: Изд. АН УССР, 1961. – 291 с. 4. Куковский Е.Г. Роль поверхности глинистых минералов во взаимодействии с дисперсионной средой / Е.Г. Куковский // Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем. – К.: Наукова думка. – 1968. – С. 14 – 19. 5. Злочевская Р.И. Связанная вода в глинистых грунтах / Р.И. Злочевская. – М.: Изд. МГУ, 1969. – 176 с. 6. Кульчицкий Л.И. Природа гидратации глинистых минералов и гидрофильность глинистых пород / Л.И. Кульчицкий // Сб. Связанная вода в дисперсных системах. – М.: МГУ. – 1972. – С. 114 – 140. 7. Круглицкий Н.Н. Физико-химические основы регулирования свойств дисперсий глинистых минералов / Н.Н. Круглицкий. – К.: Наукова думка, 1968. – 320 с. 8. Ничипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных минералов / С.П. Ничипоренко, Н.Н. Круглицкий, А.А. Панасевич; под общ. ред. Н.Н. Круглицкого. – К.: Наукова думка, 1974. – 246 с. 9. Ходаков Г.С. Реология суспензий. Теория фазового течения и ее экспериментальное обоснование / Г.С. Ходаков // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2003. – Т. XLVII, № 2. – С. 33 – 44.

Надійшла до редколегії 20.08.10

М.О. ОЛЕЙНИК, студент, Криворожский технический университет,
г. Кривой Рог, Украина

ОСОБЕННОСТИ РАСКРЫТИЯ ЗЕРЕН ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ПОЛИМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

В статті виконано оцінку параметрів розкриття корінних титан-фосфорних руд. Запропоновано математичну модель, що розкриває зв'язок між ступенем розкриття мінеральних зерен і крупністю подрібнення руди. Визначено оптимальну крупність дроблення руди. Видано рекомендації стосовно топології технологічних схем збагачення сировини.

In the article performed evaluation of the disclosure of indigenous titanium-phosphoric ores. Propose mathematical model that reveals the relationship between the degree of disclosure grains and size of the crushing ore. Define optimal crushing ore largeness. Recommendations were provided regarding the topology of technological schemes for the enrichment of raw materials.

Проблема и ее связь с научными или практическими задачами.

Минеральный состав и технологические свойства минералов являются определяющими при выборе процессов обогащения, составляющих технологическую схему переработки полезных ископаемых (флотации, гравитации, магнитной сепарации или их сочетания).

Поэтому создание оптимальной технологии схемы подготовки руды к обогащению – главный фактор нормальной работы технологической схемы.

От характера же структуры руды будет зависеть оптимальная схема обогащения (набор и последовательность применяемых операций).

При этом текстурно-структурная характеристика наряду с минеральным составом является главнейшим качественным свойством руды.

Необходимая степень измельчения руды перед обогащением определяется характером вкрапленности рудных минералов, применяемыми методами обогащения, требованиями к качеству концентратов, последовательностью применяемых технологических процессов.

Чем тоньше конечная крупность измельчения руды, тем меньше остается минеральных сростков и тем больше вероятность получения качественных концентратов.

Однако, тонкое измельчение руды вызывает осложнения в обогатительных процессах: увеличивает затраты на измельчение, снижает производи-

тельность аппаратов и приводит к потерям ценных минералов со шламами, которые не поддаются разделению механическими методами, включая флотацию. В этом случае необходимо добиваться высокой селективности раскрытия, то есть максимальной степени раскрытия минералов при минимальной степени измельчения руды.

Анализ исследований и публикаций.

С целью определения особенностей подготовки руды к обогащению приведем алгоритм кристаллографических дефектов:

- тепловые колебания;
- точечные дефекты: вакансии, атомы внедрения, включения-примеси;
- линейные дефекты – дислокации;
- поверхностные дефекты: наружная поверхность твердого тела, границы зерен и другие внутренние границы.

Тепловые колебания атомов твердого тела имеют большое значение, но они не приводят к серьезным нарушениям идеальной структуры кристаллов, где каждый атом находится на своем месте.

Невыполнение условия идеальной системы приводит к образованию дефектов кристаллической решетки: точечных, линейных и поверхностных.

Отметим, что для создания избыточных дефектов на микроуровне необходимо создание условий возникновения дополнительной энергии на макроуровне.

При этом, хотя решетка, по-прежнему, в основном будет сохранять свою кристаллическую природу, однако внутри будут возникать многочисленные дефекты структуры.

Поэтому, механическая прочность твердых тел зависит главным образом именно от дислокаций. В свою очередь, предел прочности твердых тел зависит от сложных взаимодействий дислокаций друг с другом и с другими дефектами твердых тел.

Вопросами взаимосвязи раскрытия минерального сырья с показателями обогащения занимались такие ученые как Кармазин В.В., Кармазин В.И., Пилов П.И., Младецкий И.К., Барский Л.О., Абрамов А.А., Леонов С.Б., Остапенко П.Е., Берлинский О.И., Козин В.З. и другие [1 – 6].

Однако, разработка технологических схем обогащения полиминерального сырья, с учетом фактора раскрытия зерен, имеет множество нерешенных аспектов и сегодня остается одной из актуальных проблем.

Постановка задачи.

Как показал анализ вышеизложенного материала, измельчение сырья необходимо оценивать непосредственно степень раскрытия рудных и нерудных зерен.

При оценке раскрытия полезных ископаемых нами руда рассматривалась как полиминеральная система, которая состоит из 3 рудной, полезной и нерудной фаз и которая во время измельчения распадается на несколько продуктов: раскрытые рудные зерна, раскрытые полезные зерна, сростки та раскрытые нерудные зерна.

Изложение материала и результаты

Дробление исходной руды выполняли на установке, включающей шековую и конусную дробилки, работающих в замкнутом цикле с грохотом.

Измельчение руды проводилось в лабораторной шаровой мельнице с поворотной осью (тип 75А-МЛ) объемом 14 дм³, длиной 200 мм, диаметром 300 мм. Отношение Т : Ж : Ш при измельчении – 1 : 0,33 : 10, объем загружаемой навески составлял 12 % от объема мельницы. Пробы дробленой руды подвергались измельчению до разной крупности в открытом цикле при времени измельчения 5, 10, 20, 40 минут. По данным гранулометрического и минералогического анализов определялось раскрытие минеральных сростков и время, необходимое для измельчения продукта до 90 % готового класса.

Время измельчения, при работе мельницы в замкнутом цикле с грохочением, подбиралось, так чтобы при расसेве разгрузки мельницы на сите выход отсева составлял 10 – 15 %. Отсев загружался в мельницу вместе со следующей навеской.

Были исследованы три разновидности коренных титановых руд. Анализ результатов исследований показал, что они имели различную измельчаемость: более легкоразрушаемыми являлись меланократовые, затем мезо- и лейкократовые руды. Это обусловлено их минеральным составом, а именно, большим количеством в меланократовых рудах темноцветных минералов, интенсивно замещенных агрегатами тальк-магнетитового состава, хлоритом и серпентином, и меньшим количеством в этих рудах плагиоклаза, который является более прочным и менее разрушенным.

Подсчет параметров раскрытия минеральных сростков выполнялся согласно методики ОАО «Механобрчермет» по формуле

$$K_k = \frac{m}{k}, \quad (1)$$

где k_k – степень раскрытия полезного компонента или нерудной фазы, д. ед.;
 m – содержание раскрытых компонентов рудных или нерудных зерен, д. ед.;
 k – содержание полезного компонента или нерудной фазы в руде, д. ед.

Оценка раскрытия минералов нами была связана с кинетикой измельчения. При раскрытии минеральных зерен титановых руд коренных месторождений Украины (рис. 1) было определено, что раскрытие ильменита, апатита, титаномагнетита и нерудной фазы, характеризуется степенным уравнением кинетики:

$$k_p = k_0 \times t^n \quad (2)$$

где k_0 – коэффициент раскрытия минералов в исходной руде, д. ед;
 k_p – коэффициент раскрытия минералов в дробленой руде при заданном времени измельчения, д.ед.; t – время измельчения, мин; n – кинетический параметр уравнений.

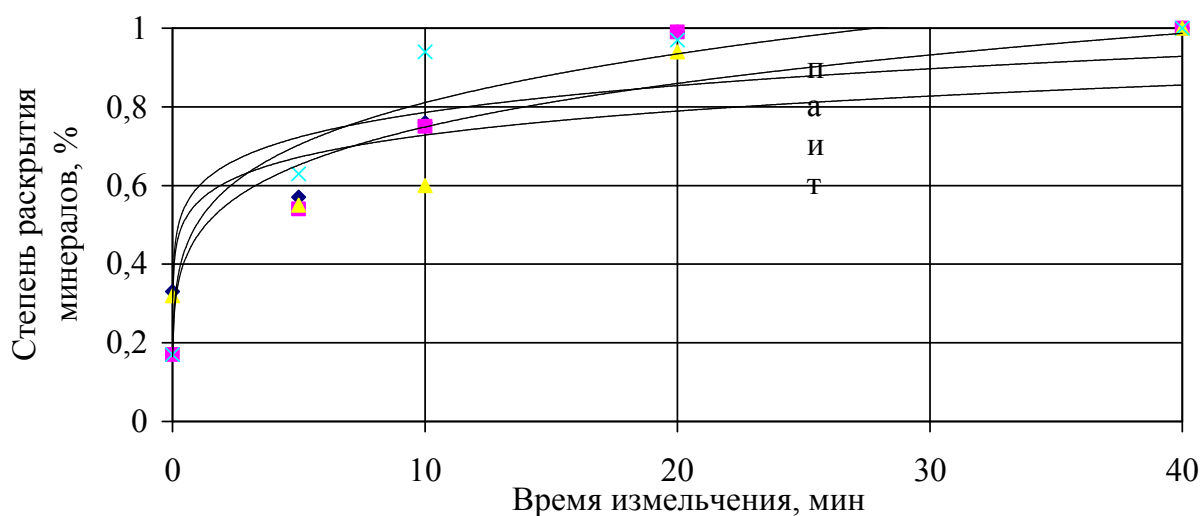


Рис. 1. Кривые кинетики раскрытия минеральных зерен: а - апатита; т - титаномагнетита, и - ильменита, п - плаггиоклаза

Значения коэффициентов и кинетические уравнения раскрытия минеральных зерен приведено в табл. 1.

В результате анализа результатов минералогического исследования раскрытия минеральных сростков и вида кинетических уравнений установлено, что раскрытие минералов в титановых коренных рудах происходит так: сна-

чала раскрываются нерудные минералы, в частности плагиоклаз, затем титаномагнетит и ильменит, и только потом – апатит, так как продуктивные минералы равномерно находятся в породообразующих минералах.

Таблица 1

Кинетические уравнения раскрытия минеральных зерен титановых руд

Ильменит	Апатит	Титаномагнетит	Плагиоклаз
$k_{pi} = 0,5953t^{0,1205}$ $R^2 = 0,9$	$k_{pa} = 0,4731t^{0,1993}$ $R^2 = 0,9737$	$k_{pt} = 0,5569t^{0,1164}$ $R^2 = 0,85$	$k_{pn} = 0.5051t^{0.2055}$ $R^2 = 0,982$

Кинетический анализ позволил определить количество стадий измельчения при последовательном выводе продуктов обогащения руды.

А это, в свою очередь, позволило обеспечить повышение извлечения ценных компонентов в одноименные концентраты, за счет минимизации шламообразования.

В результате изучения распределения титана, железа и фосфора по классам крупности измельченных проб определены следующие особенности.

Во всех пробах раскрытие ильменита и апатита происходит в классах крупности меньше 0,3 мм.

Нерудные минералы концентрируются в классе минус 1 мм.

В результате определения размеров основных минералов определено, что крупность зерен минералов изменяется в пределах: ильменита 0,1 – 1,0 мм, апатита 0,1 – 0,2 мм, темноцветных минералов (оливин, пироксен) 0,2 – 2,0 мм, плагиоклаза 0,15 – 3,0 мм.

Анализ кривых измельчения (рис. 2) показывает, что титановые коренные руды являются легко разрушаемыми, по сравнению с железными рудами магматических месторождений.

Для титановых руд характерно то, что с увеличением времени измельчения более 10 минут наблюдается уменьшение классов крупности более 0,2 мм и интенсивный прирост класса минус 0,04 мм.

Минеральный анализ показав, что свободные зерна нерудных минералов присутствуют в классах крупности минус 1,0 мм, а апатита и ильменита в классах крупности меньше 0,5 мм.

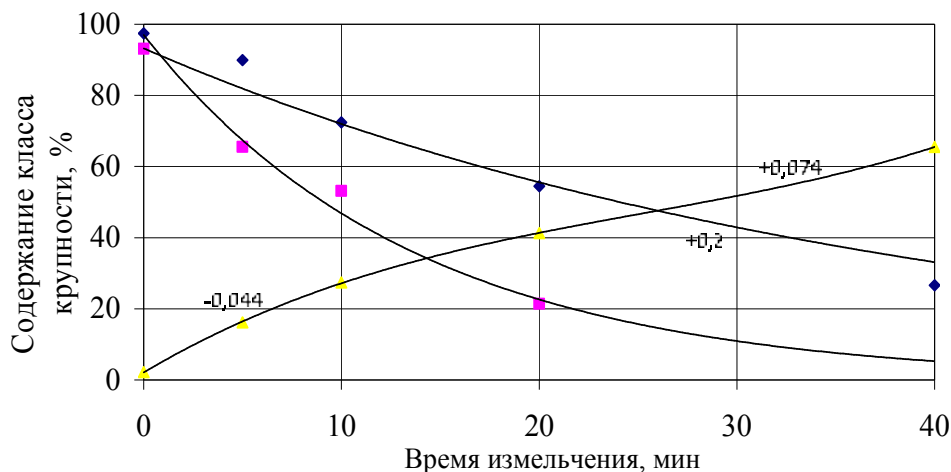


Рис. 2. Кривые кинетики измельчения классов крупности титановых руд коренных месторождений Украины

Кинетика увеличения класса минус 0,044 мм подчиняется полиномиальному уравнению со значением достоверности аппроксимации 0,9999 :

$$\beta_t^{-0,044} = a \times t^3 - b \times t^2 + c \times t + d \quad (3)$$

где $\beta_t^{-0,044}$ – содержание класса минус 0,044 мм в измельченной руде; a, b, c, d – кинетические коэффициенты, приведённые в табл. 2.

Таблица 2

Кинетические коэффициенты прироста класса минус 0,044 мм

a	b	c	d
0,0012	0,09	3,2874	2,117

В результате изучения кинетики измельчения титановых руд коренных месторождений (рис. 2) выявлено, что образование классов, в которых происходит раскрытие ильменита, апатита, титаномагнетита и плагиоклаза (классы -0,2 мм, -0,074 мм), хорошо подчиняются уравнению кинетики измельчения Товарова:

$$\beta_t^{+d} = \beta_0^{+d} \times e^{-kt^n} \quad (4)$$

где β_0^{+d} – суммарные остатки на ситах в исходной руде, %; β_t^{+d} – суммарные остатки на ситах в измельченной руде, %; t – час измельчения, мин.;

k, n – кинетические параметры уравнения, ($n = 1$).

Кинетические уравнения приведены в табл. 3.

Анализ кинетических уравнений позволил определить время измельчения, которое обеспечивает получение заданного содержания расчетного класса крупности в измельченном продукте.

При разработке технологических схем обогащения титановых руд коренных месторождений Украины это время составляет 10 минут.

Таблица 3

Кинетические уравнения измельчения титановых руд коренных месторождений

Класс +0,2 мм	Класс +0,074 мм
$\beta^{+d} = 97,007e^{-0,0728t}$	$\beta^{+d} = 93,225e^{-0,0259t}$
$R^2 = 0,982$	$R^2 = 0,9824$

С целью определения взаимосвязи между степенью раскрытия минеральных зерен и крупностью измельчения, которая выражается из кинетических уравнений измельчения, время t выглядит как:

$$t = -k_1 \times \ln(\beta^{+d}) + k_2 \quad (5)$$

где k_1, k_2 – кинетические параметры уравнения взаимосвязи ($\beta^{+d}; t$).

Подставим (5) в уравнение (6) и получим:

$$k_p = k_0 (-k_1 \times \ln(\beta^{+d}) + k_2)^n \quad (6)$$

Кинетические параметры уравнений (5), (6) представлено в табл. 4, значение коэффициентов для основных минералов в табл. 1.

Решив уравнение (6) получим теоретические значения коэффициента раскрытия минеральных зерен.

Результаты, полученные при выполнении экспериментов отличаются от модельных на 2 – 5 %, что подтверждает адекватность полученной математической модели.

Кинетические параметры связи раскрытия и измельчения титановых руд коренных месторождений Украины

Клас +0,2 мм		Клас +0,074 мм	
k_1	k_2	k_1	k_2
9,63	45,26	37,9	172,6
23,2	102,5	45,0	204,2
7,48	31,52	11,5	53,89
9,77	43,15	39,1	176,9

Выводы и направление дальнейших исследований

В результате выполненных исследований удалось установить, что чем тоньше конечная крупность измельчения руды, тем меньше остается минеральных сростков и тем большая достоверность получения качественных концентратов.

Однако, тонкое измельчение руды вызывает осложнения в обогатительных процессах: увеличивает расходы на измельчение, снижает производительность аппаратов и приводит к увеличению потерь ценных минералов со шламами, которые практически не разделяются механическими методами обогащения полезных ископаемых.

Поэтому необходимо обязательное стадийное измельчение с постепенным выводом продуктов и распределением схемы обогащения на несколько технологических блоков.

Таким образом, в результате изучения раскрытия и измельчения материала проб титановых руд коренных месторождений Украины установлено, что технологическую схему обогащения необходимо разделить на три блока – титаномагнетитовую, ильменитовую и апатитовую.

Деление необходимо осуществлять по классу 0,2 мм в связи с концентрацией апатита в мелких классах.

Поскольку ильменит распределен по классам равномерно, то в апатитовом блоке его необходимо извлекать в отдельный концентрат.

В ильменитовом блоке необходимо предусмотреть дополнительную стадию измельчения сырья.

Кроме этого, в голове процесса сначала необходимо извлечь титаномагнетит.

Список литературы: 1. Кармазин В.В. Расчеты технологических показателей обогащения полезных ископаемых: учебное пособие / В.В. Кармазин, И.К. Младецкий, П.И. Пилов. – М.: Изд. Мос-

ковського державного горного університета, 2006. – 221 с. 2. *Леонов С.Б.* Исследование полезных ископаемых на обогатимость: учебное пособие / *С.Б. Леонов, О.Н. Белькова.* – М.: Интернет Инжиниринг, 2001. – 631 с. 3. *Бибов А.А.* Стадиальное выделение железорудных концентратов – резерв повышения качества и объёмов производства / [*А.А. Бибов, Л.А. Ломовцев, Л.Ф. Рычков и др.*] // Горный журнал. – 1981. – № 2. – С. 52 – 55. 4. *Пилов П.И.* Динамические характеристики технологии обогащения полезных ископаемых // *П.И. Пилов, И.К. Младецкий, В.А. Святошенко* // Горн. информ.-аналит. бюллетень. – 2003. – № 8. – С.178 – 179. 5. *Лисянский Л.И.* Влияние топологии схемы обогащения окисленных железных руд на её эффективность и энергопотребление / [*Л.И. Лисянский, М.А. Левицкий, Т.Б. Ганзенко и др.*] // Пути экономии ресурсов при обогащении руд чёрных металлов. – М.: Недра, 1990. – С. 35 – 41. 6. *Соколова В.П.* Исследование раскрытия минеральных фаз окисленных железных руд в связи с выбором рациональной технологии их обогащения // *В.П. Соколова, С.Н. Зима, Н.К. Воробьёв* // Разработка рудных месторождений. – 2003. – № 83 – С. 105 – 109.

Поступила в редколлегию 15.03.10

УДК 666.5

М.А. ЧИРКИНА, стажист-викладач, НТУ «ХП»

БЛИЗНА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ФАРФОРУ: МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ТА ВИЗНАЧНІ ЧИННИКИ

В роботі розглянуто основні методи визначення білизни фарфору, як однієї з важливіших естетичних властивостей; представлено результати досліджень білизни виробів низькотемпературного фарфору та проаналізовано чинники, що обумовлюють показники білизни.

In work the basic determination methods of porcelain whiteness, as one of the most essential aesthetic properties, are considered; the results of low temperature porcelain wares whiteness researches are presented and also the factors, which stipulate the whiteness indexes were analyzed.

Вступ. Конкуренентноздатність продукції вітчизняних виробників фарфору господарчо-побутового призначення залежить, насамперед, від співвідношення її вартості та якості, яка, в свою чергу обумовлена експлуатаційними та естетичними властивостями виробів. Однією з найважливіших характеристик якості фарфору є білизна. Білими прийнято вважати поверхні з високим коефіцієнтом дифузного відбиття у всій видимій області спектру і неселективним або слабо виявленим селективним поглинанням світла. Чим вищою спроможність до відбиття і чим слабкіше виявляється вибірковість погли-

нання, тим вищою є білизна. Показник білизни кількісно характеризує ступінь наближення кольору білої поверхні до еталону білизни [1]. Точні колориметричні показники білої поверхні досі не встановлені, а тому за еталон білизни у багатьох випадках приймають білу поверхню, яка дифузно відбиває усі промені світла, що на неї падають. Білизна такої поверхні приймається за 100 %.

Для оцінки білизни дійсно білих матеріалів визначають їх загальну здатність до відбиття. При оцінюванні білизни матеріалів, які не є чисто ахроматичними, визначення тільки їх здатності до відбиття не є недостатнім. Причому таким матеріалам відтінок впливає на візуальне сприйняття їх білизни: в залежності від виду та сили прояву відтінку однакові за здатністю до відбиття поверхні сприймаються неоднаково білими. Білизну таких матеріалів необхідно визначати з урахуванням двох факторів: здатності до відбиття та ступені хроматичності.

Методи досліджень. Для визначення білизни фарфору запропоновано кілька методів, які можна умовно поділити на три групи: спектрофотометричні, колориметричні, а також оцінка білизни за коефіцієнтом дифузного відбиття або відносною яскравістю (світлотою). Світлота фарфору обумовлена його світлорозсіюючою здатністю, яка, в свою чергу, залежить від його макро- та мікроструктури.

Спектрофотометричні методи є найменш досконалими, оскільки вони не враховують ані вигляд відтінок, ані ступінь його прояву. Колориметричні методи частково враховують вплив відтінків на білизну поверхні завдяки визначенню здатності до відбиття світла у певних зонах спектру.

Методи третьої групи надають більш повну характеристику білизни і тому є більш точними [2].

Розрахунок білизни згідно цих методів проводиться з використанням будь-якої рівноконтрастної системи, за допомогою якої оцінюється контраст колірності або загальний контраст між еталонною (ідеально білою) і дослідною поверхнею.

Найбільш поширеною для розрахунку білизни за даними колориметричних методів її дослідження є формула:

$$W_{ISO} = Y + 800(x_n - x) + 1700(y_n - y),$$

де Y – координата кольору зразку; x_n та y_n – координати колірності ахроматичної точки для спостерігача (2°); x та y – координати колірності зразку.

Для визначення білизни, як правило використовують кілька термінів.

Окрім терміну білизна (*whiteness*), який є загальним, вводять також поняття яскравість (*brightness*), яке пов'язано з показниками білизни, отриманими при вимірюванні при довжині хвилі $\lambda = 457$ нм.

Окрім цього для фарфорових виробів використовують показник *yellowness*, який характеризує ступінь жовтизни виробів [3].

Згідно до ГОСТ 24768-2000 [4] білизну фарфору оцінюють за допомогою методу, який оснований на вимірюванні коефіцієнтів відбиття світла від поверхні матеріалів у видимій області спектру при довжинах хвиль 400, 540 та 700 нм.

В міжнародній практиці сертифікації найбільш прийнятним є колориметрична система $L^*a^*b^*$ (МКТ–76), згідно до якої колір виробів ідентифікується в координатах рівноконтрастного кольорового простору: L^* – світлота або яскравість, яка характеризує ступінь випромінювання поверхні по відношенню до яскравості білої поверхні еталону; A^* – червоно-зелена складова колірності; B^* – жовто-синя складова колірності.

Насиченість кольору визначається за формулою $S = \sqrt{A^2 + B^2}$, а колір-

ний тон – згідно виразу
$$T = \arctg \frac{B}{A}$$
.

Експериментальна частина. Для дослідження були обрані зразки низькотемпературного фарфору (НТФ), при виготовленні яких використовувались продукт збагачення пегматитів Лозуватського родовища (ПШМ) та малозалізистий граніт Анадольського родовища, що характеризуються максимальною флюсуючою здатністю в умовах прискореної термообробки фарфору при максимальній температурі до 1200 °С [5, 6]. Для визначення основних властивостей, що обумовлюють якість фарфорових виробів, від складу фарфорових мас з використанням симплекс-гратчастого планування (план неповного третього порядку) було реалізовано експеримент, за результатами якого визначено склад оптимальних композицій низькотемпературного фарфору з температурою випалу 1150 °С [7]. Для встановлення залежностей показників білизни матеріалів від складу мас низькотемпературного фарфору з використанням спектрофотометру Chroma meter CR-410 визначались світлота L^*

та координати колірності a^* і b^* . Залежність світлоти зразків від складу композицій представлені на рис. 1.

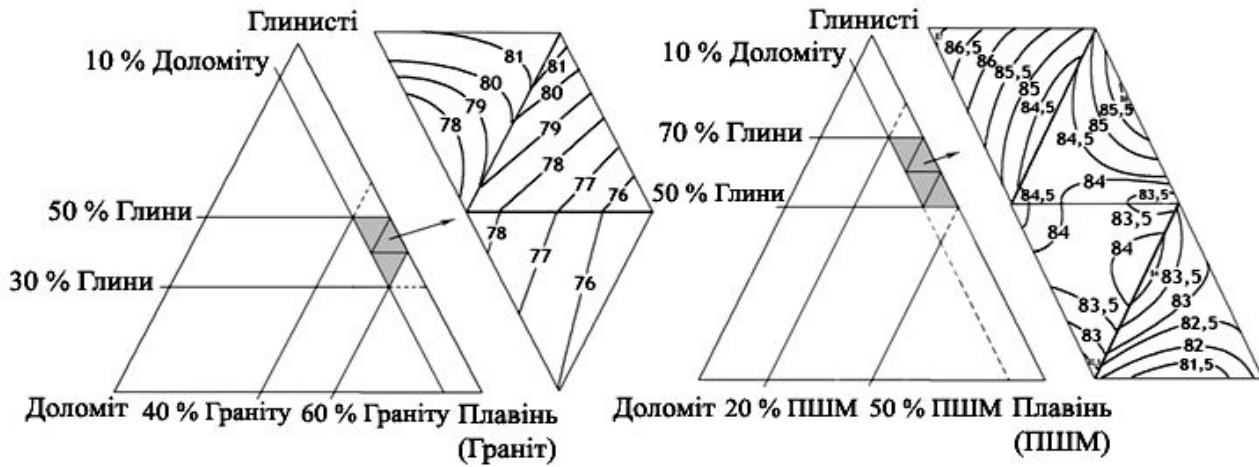


Рис. 1. Залежність «склад – світлота»

Аналіз рисунка свідчить про те, що із зменшенням кількості глинистих у складі мас обох серій спостерігається зменшення світлоти.

При зменшенні кількості доломіту у складі мас серії «Граніт» та зберіганні сталого співвідношення глинистої та флюсуючої складових мас світлота підвищується. Зміна співвідношення глинистих та флюсуючих компонентів мас від 50 : 40 до 30 : 60 призводить до зменшення світлоти зразків. Така ж тенденція спостерігається для зразків серії «ПШМ»: при зміні співвідношення глинистої та флюсуючої складових мас від 70 : 20 до 60 : 30, а також із скороченням вмісту доломіту показники світлоти знижуються.

Як відомо, білизна фарфорових виробів у великій мірі залежить від вмісту сполук, які здатні забарвлювати матеріал. В першу чергу це відноситься до оксидів заліза і титану, які зазвичай присутні у складі сировинних матеріалів. Залежність яскравості, як основної характеристики білизни виробів, від вмісту Fe_2O_3 і TiO_2 у складі зразків низькотемпературного фарфору представлена на рис. 2.

Як видно з рисунків оксиди заліза і титану по-різному впливають на світлоту дослідних зразків.

Так, для зразків серії «ПШМ», до складу мас яких входять продукти збагачення пегматиту, спостерігається найбільша світлота (88 %), що пояснюється мінімальним вмістом TiO_2 0,40 мас.% і Fe_2O_3 0,30 мас. %.

На відміну від ПШМ малозалізістий граніт є незбагаченою сировиною і характеризується порівняно вищим вмістом забарвлюючих оксидів.

Максимальні показники світлоти (85 %) для зразків серії «Граніт» відзначається при вмісті TiO_2 і Fe_2O_3 відповідно 0,58 і 0,65 мас. %, що свідчить про те, що інтенсивність впливу оксиду титану на світлоту низькотемпературного фарфору є нижчою, ніж оксиду заліза.

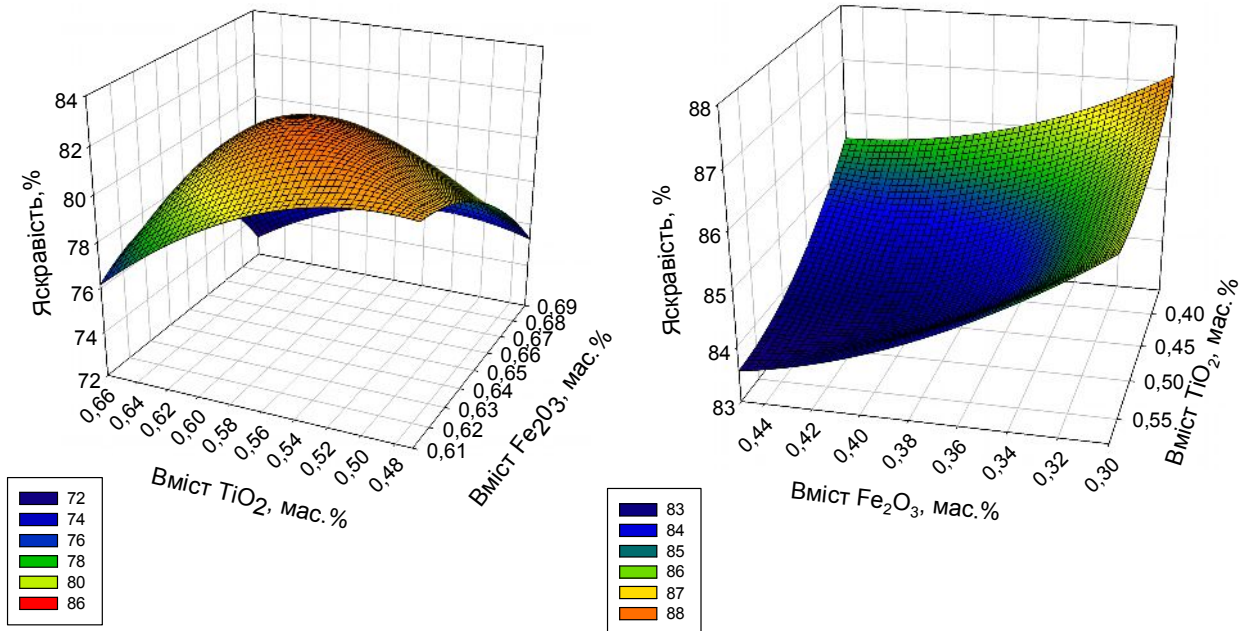


Рис. 2. Залежності яскравості дослідних зразків НТФ від вмісту забарвлюючих оксидів:
а – для серії «Граніт»; б – для серії «ПШМ»

Як відомо, на білизну фарфору також впливає склад пічної атмосфери, в якій відбувається випал. Бажано створення при випалі відновлювального середовища, оскільки в умовах відновлювального випалу відбувається перехід $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$, що зменшує забарвлювальну дію сполук заліза.

В таблиці 1 представлена порівняльна характеристика показників білизни НТФ, отриманого на основі оптимальних розроблених мас, а також зразків фарфору ТОВ «Баранівський фарфоровий завод» (БФЗ), випалених в різних середовищах.

Візуальний огляд зразків свідчить, що випал зразків фарфору у відновленому середовищі сприяє підвищенню їх білизни. Аналіз даних дозволяє припустити, що це відбувається за рахунок зниження координати червоного (a^*) та жовтого (b^*) відтінків, що нівелює незначне зменшення світлоти (L). Можна припустити, що випал НТФ у відновлювальному середовищі надасть виробам більш високі показники білизни, ніж це забезпечує окислювальний випал.

Таблиця 1

Порівняння показників білизни низькотемпературного фарфору (НТФ),
отриманих на основі оптимальних мас та фарфору БФЗ

Зразки фарфору	Система кольору L^*a^*b				
	$L, \%$	a^*	b^*	S	T
НТФ серії П*	87,13	0,94	9,91	9,9544	1,4762
НТФ серії Г*	81,20	1,04	12,66	12,7026	1,4888
фарфор БФЗ*	84,99	3,88	7,73	8,6491	1,1055
фарфор БФЗ**	83,14	-0,022	2,313	2,3131	1,5612

* - випалені у окислювальному середовищі

** - випалені у відновленому середовищі

Висновки.

Колірність фарфору залежить від хромофорних властивостей забарвлюючих домішок, які, в основному, представлені оксидами заліза і титану.

Інтенсивність забарвлення визначається кількістю цих домішок, їх співвідношенням, а також режимом випалу фарфору, зокрема складом пічної атмосфери на різних етапах випалу.

Список літератури: 1. *Зубехина А.П.* Методы и средства исследований и контроля в стеклоэмалировании: уч. пособ. / *А.П.Зубехина, В.Е.Горбатенко, под ред. А.П.Зубехина.* – Новочеркасск: НГТУ, 1995. – 170 с. 2. *Цвет в промышленности / под ред. Р.Мак-Дональда.* – М.: Логом, 2002. – 596 с. 3. *Платов Ю.Т.* Оценка белизны фарфора / *Ю.Т.Платов, Р.А.Платова, Д.А.Сорокин // Стекло и керамика.* – 2008. – № 8. – С. 23 – 27. 4. *Изделия фарфоровые. Метод определения белизны: ГОСТ 24768-2000.* – [Действует с 2001-09-01]. – М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – 17 с. 5. *Федоренко О.Ю.* Використання гранітних пегматитів в технології низькотемпературних фарфороподібних виробів / *О.Ю.Федоренко, М.А.Чиркіна, С.А.Зозуля // Збірка праць УкрНДІВ.* – 2008. – № 108 – С. 190 – 195. 6. *Федоренко О.Ю.* Використання регіональних джерел сировини в технології низькотемпературного фарфору / *О.Ю.Федоренко, М.А.Чиркіна, К.Б.Дайнеко // Вісник НТУ «ХП».* – 2009. – № 24. – С. 132 – 136. 7. *Федоренко О.Ю.* Оптимізація технологічних параметрів отримання низькотемпературного фарфору / *О.Ю.Федоренко, М.А.Чиркіна, С.О.Мареха // Збірка праць УкрНДІВ.* – 2010. – № 110.

Надійшла до редколегії 17.12.10

О.О. ХЛОПИЦЬКИЙ, канд. техн. наук, асистент,
Н.П. МАКАРЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., Український державний
хіміко-технологічний університет, м. Дніпропетровськ

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ СПІКАННЯ ЦИРКОНУ З ЇДКИМ НАТРОМ

Методом мінімізації повних термодинамічних потенціалів розглянута система Zr-Si-Al-Ca-Ti-Fe-Na-H-O-N. Досліджений вплив температури, співвідношення реагентів та розраховані питомі енерговитрати процесу спікання циркону з їдким натром.

Method of minimisation of the full thermodynamic potentials the viewed system Zr-Si-Al-Ca-Ti-Fe-Na-H-O-N.. The explored temperature effects, a relation of reagents also are calculated specific power inputs of a sintering process of zircon with caustic soda.

У сучасній термодинаміці існує велика кількість методів розрахунку рівноваги хімічних реакцій і фазових перетворень [1, 2].

З більш двох десятків методів розрахунку рівноваги перевірку часом витримали лише методи: константний, ентропійний, графічний та метод розрахунку рівноважної складу з умов екстремальності характеристичних термодинамічних функцій.

Поряд з перевагами кожний із цих методів має поруч властиві йому недоліки, що обмежують застосування методу або затрудняють швидко й легко одержання достовірних кінцевих результатів.

Для аналізу процесів, що протікають у високотемпературних потоках теплоносіїв, використовуються в основному два методи класичної термодинаміки: константний і метод екстремуму ентропії [3].

Застосування константного методу для системи Zr-Si-Al-Ca-Ti-Fe-Na-H-O-N пов'язане з рядом труднощів: визначення констант рівноваги реакцій, їх теплових ефектів, а також потреба в додаткових розрахунках при необхідності обліку утворення розчинів.

При розрахунку процесу спікання цирконового концентрату потрібно визначити склад багатокomпонентної гетерогенної хімічно реагуючої системи, що включає одночасно тверді, рідкі й газоподібні компонента.

Тому, для розрахунку такої системи, більш кращий другий метод, який не вимагає обчислення констант рівноваги, а рівняння хімічної рівноваги

мають одноманітний і симетричний вид, що дозволяє покласти завдання рішення розрахункових рівнянь на ЕОМ [4,5].

Метод екстремуму ентропії полягає у відшуванні рівноважної складу системи з умови екстремальності характеристичних функцій [6].

По викладеній у роботі [6] методиці проведений термодинамічний аналіз процесу спікання циркону з їдким натром.

Розрахунок виконувався на IBM PC з використанням програми "ASTRA", розробленої у МВТУ ім. Баумана.

До цього часу не був проведений термодинамічний аналіз системи Zr-Si-Al-Ca-Ti-Fe-Na-H-O-N.

У зв'язку із цим, у даній роботі був виконаний термодинамічний розрахунок зазначених рівноважних систем, який дозволяє визначити оптимальні параметри процесу спікання цирконового концентрату (температура, співвідношення між компонентами, сполуки газової фази системи).

Процес отримання оксихлориду цирконію заснований на спіканні цирконового концентрату з їдким натром, з послідуєчим солянокислим вилугуванням.

У зв'язку із цим термодинамічні розрахунки були проведені для процесу спікання шихти (концентрат + їдкий натр).

При термодинамічному аналізі рівноважної системи Zr-Si-Al-Ca-Ti-Fe-Na-H-O-N у якості вихідної сировини використовувався цирконовий концентрат Малишевського родовища з масовим вмістом, у перерахуванні на оксиди, %: ZrO_2 – 65,87; SiO_2 – 29,22; Al_2O_3 – 2,23; CaO – 1,27; TiO_2 – 0,73; Fe_2O_3 – 0,68.

Вихідними даними для визначення рівноважного складу дослідної системи Zr-Si-Al-Ca-Ti-Fe-Na-H-O-N є термодинамічні властивості індивідуальних речовин: теплота утворення ΔH^0_T , абсолютна ентропія речовини S_T , теплоємність C_p і початковий склад [7].

Термодинамічний аналіз проводили при тиску 0,1 МПа в температурному інтервалі 423-1023 К, співвідношення $ZrSiO_4$: $NaOH$ = 1 : 1,308.

При розрахунках враховувалися компоненти в газовій фазі: O_2 ; H_2O ; N_2 ; $NaNO_3$.

У конденсованому стані враховані: $CaZrO_3$; Na_2SiO_3 ; Na_2ZrO_3 ; $NaOH$; $NaAlO_2$; $CaTiO_3$; $NaFeO_2$; $NaNO_3$ (рис. 1).

На рисунку 1 представлена залежність рівноважного складу системи Zr-Si-Al-Ca-Ti-Fe-Na-H-O-N від температури при $P = 0,1$ МПа та співвідно-

шення $ZrSiO_4 : NaOH$ рівному 1 : 1,308.

Згідно отриманих даних термодинамічного розрахунку можна зробити висновок про те, що максимальна кількість цільового продукту утворюється в інтервалі температур 673 – 923 К.

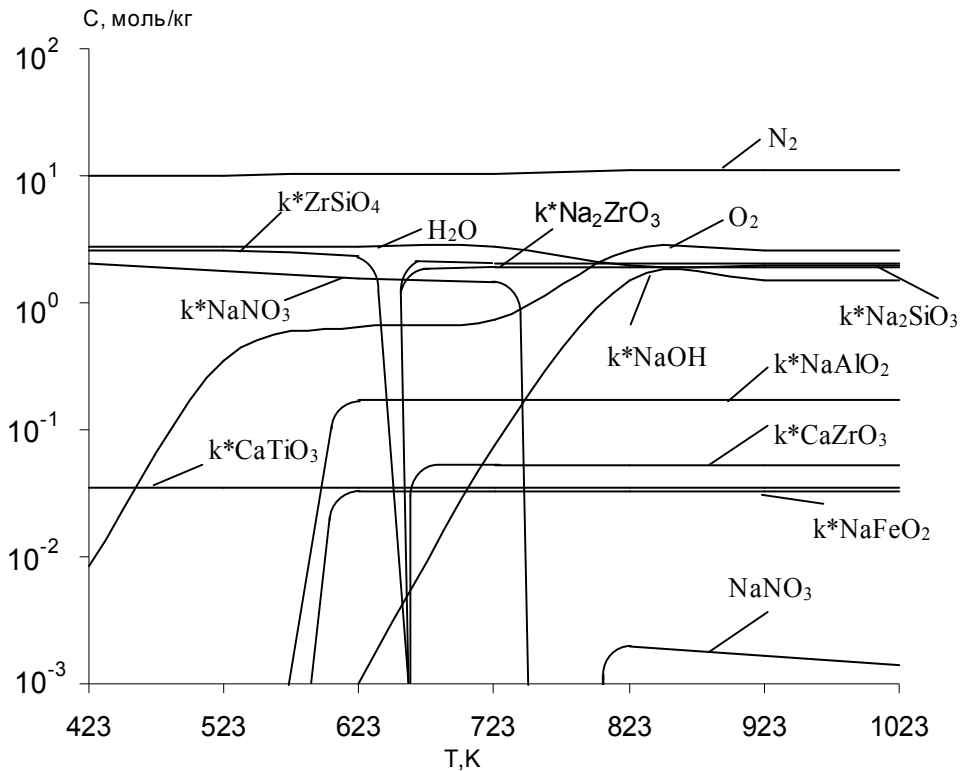


Рис. 1. Залежність рівноважного складу системи Zr-Si-Al-Ca-Ti-Fe-Na-H-O-N від температури при $P = 0,1$ МПа та співвідношення $ZrSiO_4 : NaOH$ рівному 1 : 1,308

Подальші дослідження були спрямовані на визначення оптимального співвідношення циркону до їдкого натру при даному інтервалі температур.

На рисунку 2 наведені узагальнені залежності сумарних концентрацій твердої фази, що містить Na_2ZrO_3 , $CaZrO_3$, і твердої фази, утримуючи Na_2SiO_3 , при різних співвідношеннях циркон : їдкий натр 1 : (1,308; 1,572; 1,7; 2).

З отриманих даних слідує, що при співвідношенні 1 : 1,308 сумарна кількість Na_2ZrO_3 , $CaZrO_3$ дорівнює 0,26 моль/кг, а при 1 : 2 дорівнює 0,249 моль/кг.

Таким чином при спіканні цирконового концентрату з їдким натром оптимальним співвідношенням є 1 : 1,308.

Збільшення співвідношення циркон : їдкий натр до 1 : 2, зменшує вихід цільового продукту на значення 0,011 моль/кг.

Тому, найбільш оптимальним співвідношенням циркон:їдкий натр являється 1 : 1,308, а співвідношення 1 : 1 у технології розкриття мінералів майже не використовується.

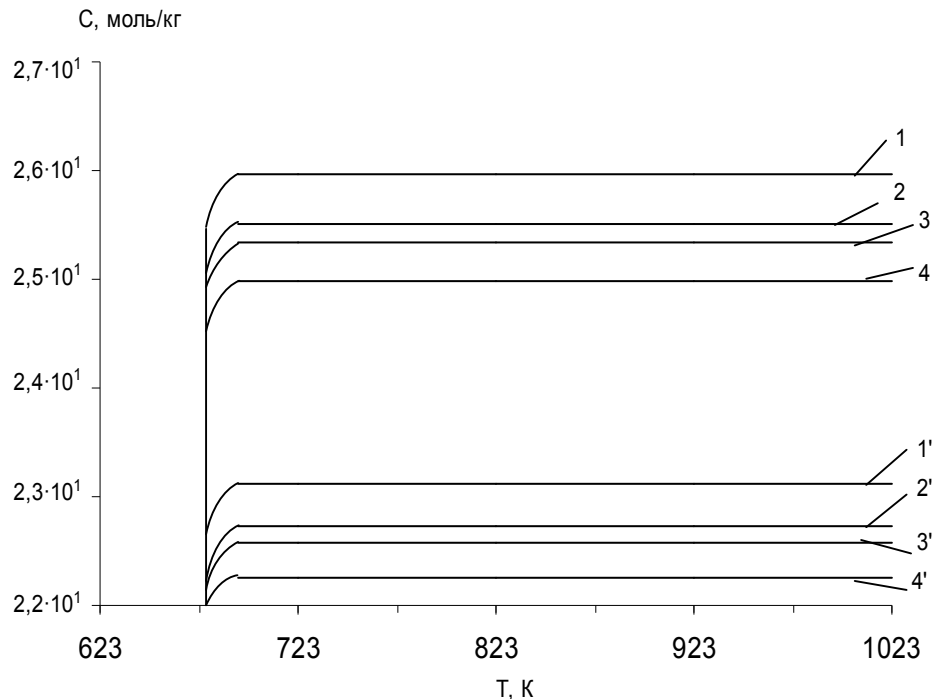


Рис. 2. Залежність сумарних концентрацій твердої фази рівноважної системи Zr-Si-Al-Ca-Ti-Fe-Na-H-O-N від температури.

Сумарна концентрація: 1 – 4 – Na_2ZrO_3 , CaZrO_3 , 1' – 4' – Na_2SiO_3 ;

1 – 1' – ZrSiO_4 : $\text{NaOH} = 1 : 1,308$,

2 – 2' – ZrSiO_4 : $\text{NaOH} = 1 : 1,572$,

3 – 3' – ZrSiO_4 : $\text{NaOH} = 1 : 1,7$,

4 – 4' – ZrSiO_4 : $\text{NaOH} = 1 : 2$.

На основі термодинамічних досліджень системи Zr-Si-Al-Ca-Ti-Fe-Na-H-O-N, виконаний аналіз енергетичних витрат і вплив на їх величину: температури процесу та співвідношення ZrSiO_4 : NaOH .

Питомі енерговитрати обчислювали зі співвідношення [7]:

$$Q_{\text{пит}} = \frac{J_{\text{рівн}} - J_{\text{вих}}}{m}$$

де: $J_{\text{рівн.}}$ і $J_{\text{вих.}}$ – повна ентальпія, віднесена до 1 кг суміші, що перебуває, відповідно, у вихідному й рівноважному (при заданих параметрах) стані, кДж/кг; m – маса цільового продукту, кг.

У розрахунках масова частка вихідної сировини приймалася постійною, а кількість їдкового натру, що додавали варіювався із співвідношеннями циркон : їдкий натр 1 : (1,308; 1,572; 1,7; 2).

Питомі енерговитрати розраховувалися для температур 723; 823 і 923 К. Результати розрахунків представлені в таблиці.

Таблиця

Питомі енерговитрати (кДж/кг) процесу спікання цирконового концентрату з їдким натром

Температура, К	Співвідношення $ZrSiO_4 : NaOH$			
	1 : 1,308	1 : 1,572	1 : 1,7	1 : 2
723	35213,78	35895,62	36066,36	36600,10
823	35377,53	36061,65	36232,82	36768,30
923	35433,60	36119,70	36291,46	36828,56

З наведених у таблиці даних видно, що введення в систему NaOH приводить до збільшення питомих витрат енергії.

Спостережене збільшення енерговитрат можна пояснити додатковою витратою енергії на нагрівання добавки, що вводиться.

Мінімальні значення питомих енерговитрат виходять при співвідношенні $ZrSiO_4 : NaOH = 1 : 1,308$ в інтервалі температур 723 – 923 К.

Висновки.

В результаті термодинамічного аналізу системи Zr-Si-Al-Ca-Ti-Fe-Na-H-O-N, були визначені оптимальні параметри процесу спікання цирконового концентрату з їдким натром, інтервал температури спікання 723 – 923 К, співвідношення $ZrSiO_4 : NaOH = 1 : 1,308$, питомі енерговитрати 35213,78 – 35433,60 кДж/кг.

Список літератури: 1. Щербакова Э.С. Математические вопросы исследования химических равновесий / Э.С. Щербакова, А.А. Бугаевский, И.К. Карнов. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1978. – 231 с. 2. Киреев В.А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций / В.А. Киреев. – М.: Химия, 1975. – 536 с. 3. Браун М. Реакция твердых тел / М. Браун, Д. Доллимор, А. Галвей; [пер. С англ.]. – М.: Мир, 1983. – 360 с. 4. Сурис А.А. Алгоритм термодинамического расчета многофазных многокомпонентных смесей / А.А. Сурис // II Всесозн. Симпозиум по плаз-

мохимии. – Рига: Зинатне. – 1975. – Ч. 2. – С. 198 – 201. 5. *Синярев Г.Б.* Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов / *Г.Б. Синярев, Н.А. Ватолин, Б.Г. Трусов.* – М.: Наука, 1982. – 261 с. 6. *Синярев Г.Б.* Расчет состава равновесных рабочих тел методом минимизации полных потенциалов / *Г.Б. Синярев* // Труды МВТУ им. Баумана. – 1973. – № 159. – С. 35 – 44. 7. *Пархоменко В.Д.* Получение ферритовых порошков в потоках высокотемпературных теплоносителей / [*В.Д. Пархоменко, П.И. Сорока, Л.А. Голубков, П.В. Липатов*]. – К.: Наукова думка, 1988. – 152 с.

Поступила в редколлегию 20.08.10

УДК 691.175:519.2

С.В. КОВАЛЬ, доктор техн. наук, проф.,
Варминско-Мазурский Университет, г. Ольштын, Польша

ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИИ ЗОЛЫ-УНОСА НА РЕОЛОГИЮ ЦЕМЕНТНОЙ МАТРИЦЫ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА

Показано влияние гранулометрического состава золы-уноса на реологические параметры и структурообразование цементной матрицы самоуплотняющегося бетона.

Influence of a grain size distribution of a fly ash on rheological parameters and structurization of a cement negative mould of self-compacting concrete is considered.

Современное инновационное строительство во многом связано с использованием «самоуплотняющихся» бетонов – SCC (Self-Compacting Concrete), способных уплотняться без вибрации в густоармированных конструкциях. что определяет ряд существенных преимуществ перед обычными – экономия рабочей силы, легкость перекачиваемости бетононасосами и др.

Для выполнения условий самоуплотнения состав обычного бетона должен быть существенно усложнен за счет введения пластифицирующих и других видов химических добавок, минеральных наполнителей (с размером дисперсных частиц $< 0,125$ мм – микрокремнезем, зола-унос, молотый кварцевый песок и др.), многофракционных заполнителей.

Так как удельная поверхность золы-уноса польских ТЭЦ изменяется практически в 3 раза в зависимости от характеристик сжигаемого угля, технологии сжигания и типа фильтров [2] на одном из этапов разработки бето-

нов SCC [1] проанализировано влияние дисперсности золы уноса на реологические параметры цементной матрицы.

Для получения разных фракций использована зола тепловой станции «KWIDZYN S.A.» с содержанием несгоревшего угля менее 2 % (что допускается нормами).

Зола с исходной удельной поверхностью по Блейну $s = 270 \text{ м}^2/\text{кг}$ была рассеяна на нормализованных ситах на три группы «моnofракций» Φ : «крупная» ($\Phi_{кр} = 70 \div 100 \text{ мкм}$, $s = 180$); «средняя» ($\Phi_{ср} = 45 \div 70 \text{ мкм}$, $s = 260$) и «мелкая» ($\Phi_{мел} = 5 \div 45 \text{ мкм}$, $s = 320$), из которых были также получены бинарные и тройные смеси. В этом случае практически в два раза изменялась её удельная поверхность ($s = 200 \dots 500 \text{ м}^2/\text{г}$). Исходная зола содержала фракции $(24 \% \Phi_{кр}) + (21 \% \Phi_{ср}) + (55 \% \Phi_{мел}) = 100$.

За счет изменения количества воды достигался практически одинаковый диаметр ($D = 190 \pm 10 \text{ мм}$) расплыва цементной пасты из мини-конуса высотой 60 мм и диаметром в основании 100 мм).

Реологические характеристики, входящие в формулу Бингама (пластическая вязкость η и предельное напряжение сдвига τ_0), определялись на условно «равноподвижных» смесях. С позиций эффективности воздействия добавок целесообразно повышение вязкости «равнопластичных» смесей.

Так как самоуплотняющиеся смеси растекаются под собственной массой, допускались результаты определения вязкости η на наименьших скоростях [3].

На рис.1 показаны зависимости изменения вязкости «моnofракционных» композиций трех составов № 4, 6, 10 (табл. 2) от скорости деформаций γ' (на участке $0,045 \leq \gamma' \leq 2,0 \text{ с}^{-1}$), описанных с коэффициентом $R^2 = 0,975 \dots 0,997$ степенной функцией типа $\eta = Ax^{a1}$.

Уменьшение размера частиц резко повышает вязкость, в том числе и из-за увеличения количества адсорбционно связанной поверхностью частиц воды. Анализ зависимостей изменения вязкости от скорости деформации (рис. 1) указывает на закономерный рост вязкости с увеличением дисперсности золы.

Из данных табл. 1 следует, что смеси фракций золы эффективны с позиций уменьшения вязкости цементных композиций, тогда как моnofракционная мелкая фракция во всех случаях повышает вязкость.

Это может определяться пространственной структурой смеси микродисперсных зерен (их «укладкой») и (или) контактными взаимодействиями.

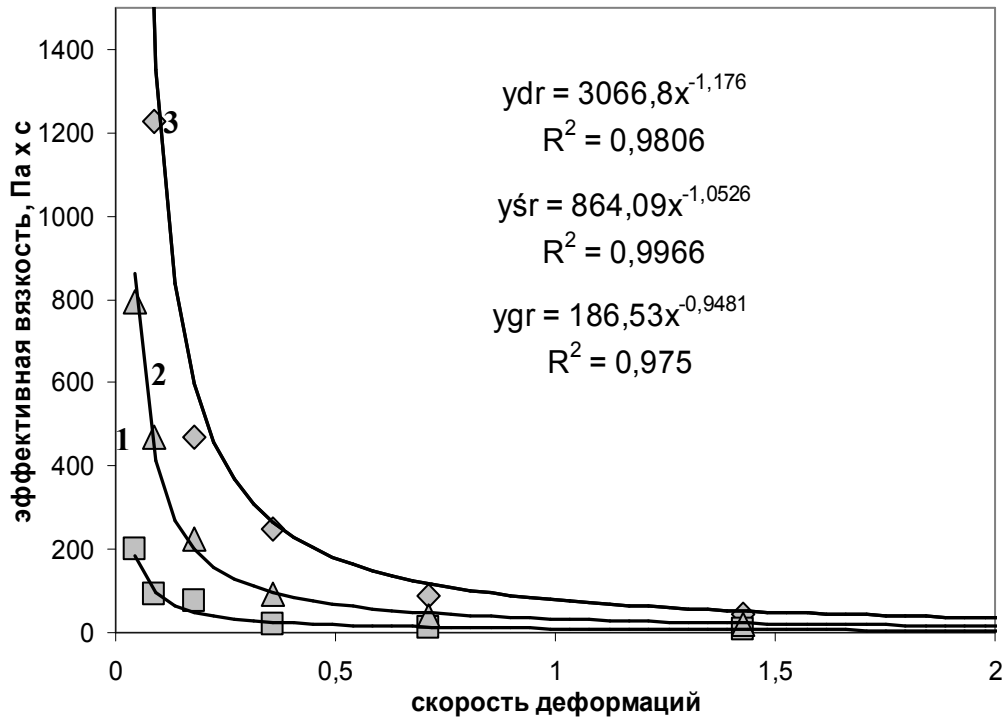


Рис. 1. Зависимости вязкости η от градиента скорости деформаций γ' для трех пластифицированных ($BV = 0,7\%$) смесей с золой-унос ($Z = 40\%$) фракций: 1 – крупная; 2 – средняя; 3 – мелкая.

Таблица 1

Составы и характеристики композиций

№	% фракций и добавок					В/Ц	η Пас	$\tau^0 \times 10^3$ Па	τ Рm = 0,5 мин	параметры тепловыделения		
	$\Phi_{кр}$	$\Phi_{ср}$	$\Phi_{мел}$	Z	BV					τ_{ind} мин	v_{max} В/кг	Q Дж/г
1	33,3	33,3	33,3	40	0,7	0,393	22	22	228	420	1,02	30,5
2	0	0	100	40	1,0	0,339	63	14	272	480	1,16	29,8
3	0	100	0	40	1,0	0,383	38	5,2	228	650	1,14	34,6
4	100	0	0	40	1,0	0,463	35	0,68	448	590	1,16	35,1
5	0	50	50	20	1,0	0,296	47	1,0	330	430	1,28	41,8
6	0	50	50	30	0,4	0,379	30	0,6	461	410	1,27	47,2
7	50	0	50	20	0,4	0,339	40	0,47	440	410	1,38	50,3
8	50	0	50	30	0,7	0,336	19	1,7	363	390	1,33	45,8
9	50	50	0	30	1,0	0,354	29	9,0	382	390	1,34	42,9

Следовательно, правдоподобна нетривиальная гипотеза об улучшении реологических характеристик (с позиций бетонов типа SCC) за счет изменения гранулометрического состава ультрадисперсных зерен.

Присутствие поликарбоксилатной добавки осложняет определение рас-

плыва пасты и оценку погружения конуса, так как свойства цементной пасты с «консистенцией меда» не стабилизированы первое время. Поэтому предельное напряжение τ_0 (табл. 1) измеряли после 30 мин выдержки пасты.

Имеются данные [4], что для бетонных смесей SCC с диаметром расплыва конуса Абрамса 600-700 мм диапазон пластической вязкости составляет 60 – 120 Па·с, а предельное напряжение сдвига – 10 – 60 Па.

В нашем случае, наиболее эффективными с этих позиций следует признать составы № 5 и № 7 (табл. 1), содержащие в равной пропорции золы мелкой фракции со средней ($50\Phi_{мел} + 50\Phi_{ср}$) или крупной ($50\Phi_{мел} + 50\Phi_{кр}$).

По сравнению с составом № 2 (только мелкая фракция $\Phi_{мел}$), состав № 5 характеризуется большими значениями τ_0 и имеет меньшее В/Ц, что положительно отражается на прочности.

Следует отметить, что провести корректное сопоставление значений, полученных на специальных (и, как известно, эксклюзивных) приборах типа «Реотест» для исследования бетонной смеси и значений η и τ_0 при исследовании цементных паст на вискозиметрах для вязких жидкостей при отсутствии влияющего на реологию заполнителя – песка и щебня, можно лишь условно. В то же время необходимость изучения таких реологических свойств цементных паст, как вязкость, водосодержание, предельное напряжение сдвига обусловлена непосредственной связью характеристик матрицы самоуплотняющегося с бетона с технологическим качеством и эксплуатационными свойствами бетонов типа SCC.

С позиций формирования качественной матрицы бетона целесообразно было исследовать влияние фракций золы на параметры гидратации и структурообразования цементных композиций. Изменение фракций золы существенно влияет на кинетику структурообразования цементных паст, о чем свидетельствуют зависимости пластической прочности P_m от времени τ (кривые на рис. 2а). Рассматривались составы с постоянным водо-цементным отношением без СП. В качестве одного из показателей интенсивности процесса, как и в п.5.1, принято время τ , при котором составы характеризуются пластической прочностью $P_m = 0,5$ МПа, отвечающей периоду формирования кристаллизационной структуры (который отвечает участку подъема кривой).

Анализ смесового треугольника (рис. 2б) с изолиниями $\tau = \{P_m=0,5 \text{ Па}\}$, показывает, что управление фракционным составом золы за счет смешения мелких и средних фракций ($0,61\Phi_{мел} + 0,39\Phi_{ср}$) позволяет интенсифицировать процессы структурообразования.

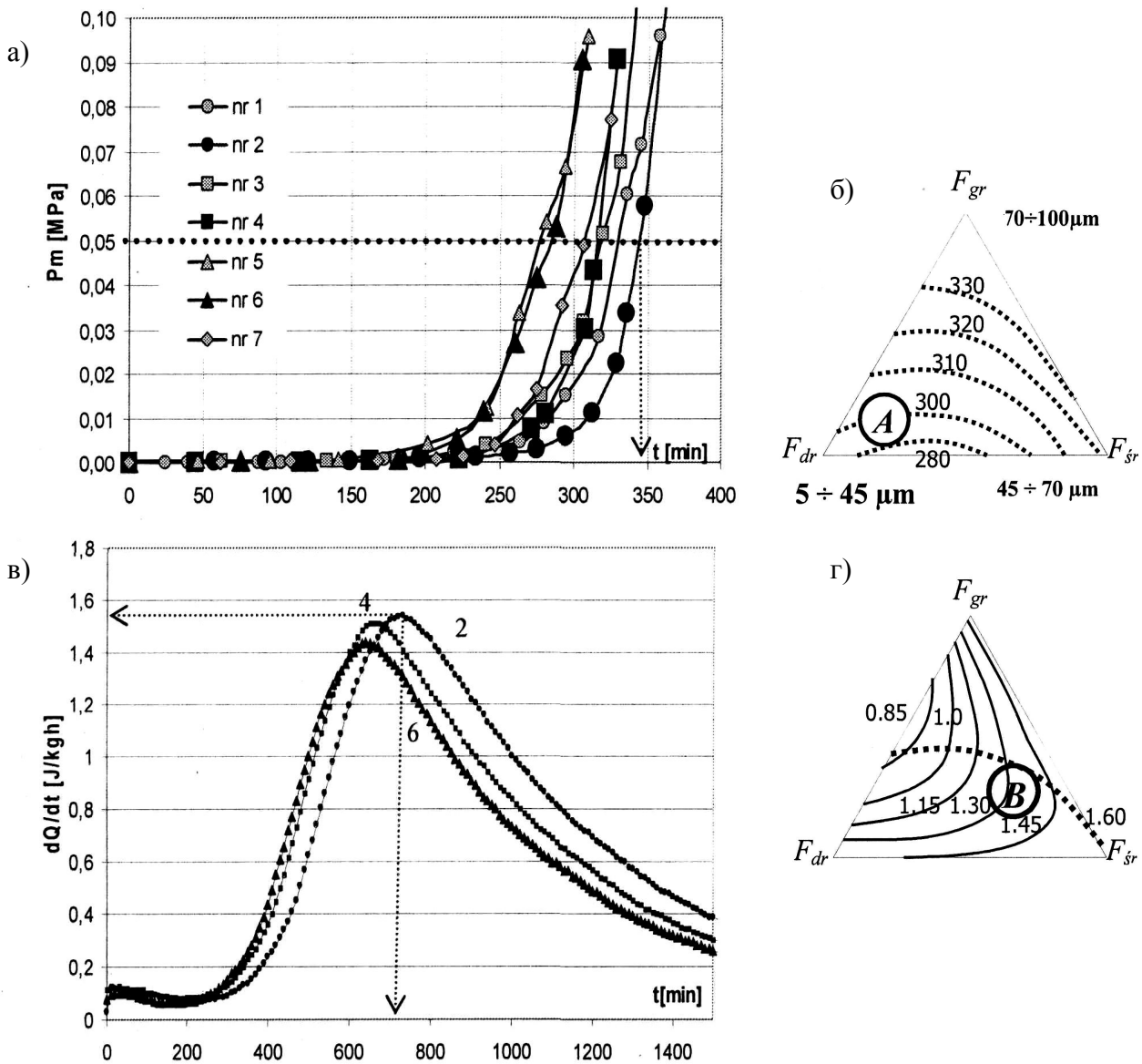


Рис. 2. Анализ влияния фракций на характеристики интенсивности структурообразования и гидратации смесей ($Z = 30\%$, $BV-10 = 0\%$):

а – кинетика пластической прочности $P_m = \Phi(\tau)$;

б – время (τ , мин) достижения $P_m = 0,5$ МПа;

в – скорость тепловыделения (dQ/dt , В/кг); г – общее тепловыделение за 24 часа (Q , Дж/г):

1 – $\Phi_{кр} + \Phi_{ср} + \Phi_{мел}$; 2 – $\Phi_{кр}$; 3 – $\Phi_{кр} + \Phi_{ср}$; 4 – $\Phi_{ср}$; 5 – $\Phi_{ср} + \Phi_{мел}$; 6 – $\Phi_{мел}$; 7 – $\Phi_{кр} + \Phi_{мел}$

На рис. 2в показано изменение во времени скорости тепловыделения dQ/dt трех (из семи приведенных в табл. 1) составов, содержащих «крупную» $\Phi_{кр}$, «среднюю» $\Phi_{ср}$ и «мелкую» $\Phi_{мел}$ фракции золы уноса.

Зола-унос на ранней стадии гидратации относится к инертной в химическом отношении добавке.

С повышением крупности фракций термокинетические показатели еще больше ухудшаются (удлиняется индукционный период, сокращается время

максимума тепловыделения и общее количество выделенного тепла за 24 ч), что свидетельствует о её влиянии на замедление процесса гидратации.

Одновременно отмечается положительная роль «средней» фракции, так как показатель скорости dQ/dt достигает максимальных значений.

Сравнение смесевых диаграмм параметров временных зависимостей P_m и тепловыделения dQ/dt (рис. 2г) указывает на возможное отличие во влиянии гранулометрического состава на упрочнение структуры и на скорость реакций.

За счет оптимизации гранулометрического состава золы уноса достигается большая скорость твердения цементных композиций.

Эффективной может считаться средняя фракция ($\Phi_{cp} = 70...90\%$) с добавлением мелкой ($\Phi_{мел} = 10...30\%$) при минимизации крупной.

Однако, как указывалось выше, крупная фракция весьма полезна с позиций уменьшения предельного напряжения сдвига, что требует её увеличения до уровня $\Phi_{кр} = 10...15\%$ при одновременном уменьшении $\Phi_{мел}$ и Φ_{cp} . Вариант оптимизированный гранулометрии $15\% \Phi_{кр} + 60\% \Phi_{cp} + 25\% \Phi_{мел}$ (в области «В» на смесевом треугольнике рис. 2г) значительно отличается от состава исходной промышленной золы $24\% \Phi_{кр} + 21\% \Phi_{sr} + 55\% \Phi_{мел}$ (область «А» на рис. 2б).

Проведенные исследования указывают на возможность улучшения реологических характеристик самоуплотняющегося бетона за счет оптимального гранулометрического состава высокодисперсной золы-уноса.

Список литературы: 1. Коваль С.В. Пути создания самоуплотняющихся бетонов / [С.В. Коваль, Д.М. Поляков, М. Цуак и др.] // Будівельні конструкції. – 2009. – Вип. № 72. – С. 232 – 238. 2. Ściubidło A. Zagospodarowanie popiołów lotnych z polskich elektrowni i elektrociepłowni poprzez modyfikację popiołów w materiały mezosporowate / A. Ściubidło, W. Nowak, I. Majchrzak-Kuceba // Międz. konf. EUROCOALASH. – Warszawa: EKOTECH Sp.z.o.o., 2008. – P. 163 – 179. 3. Emborg M. Rheology Test for Self Compacting Concrete / M. Emborg // RILEM Symp. on Self-compacting Concrete. – Sttckholm, 1999. 4. Wallevik O.H. Rheology – a scientific approach to develop self-compacting concrete / O.H. Wallevik // 3 Int. Symp. on Self-compacting Concrete. – Reykjavik, Iceland, RILEM Publ. S.A.R.L., 2003. – P. 22 – 34.

Поступила в редколлегию 20.08.10

Содержание

1.	В.П. НАДУТЫЙ, В.И. ЕЛИСЕЕВ, В.И. ЛУЦЕНКО, И.П. ХМЕЛЕНКО ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОВЕСНОГО СОСТОЯНИЯ ТОНКОГО СЛОЯ СМАЧИВАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В КВАДРАТНОЙ ЯЧЕЙКЕ СИТА ГРОХОТА	3
2.	Т.В. ЗЕЛЕНЮК, А.С. ЮДИН, Ж. ВАНДЕРСТЕН, О.Б. СКОРОДУМОВА ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАКУУМИРОВАНИЯ КАОЛИНОВЫХ МАСС НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШАМОТА КУСКОВОГО	8
3.	О.А. КОРНИЕНКО ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И СВОЙСТВА ФАЗ В СИСТЕМЕ $CeO_2-Gd_2O_3$ ПРИ 1100 °С	14
4.	Д.Ю. КОСТРОМИЦКИЙ, Э.П. ЛЕВЧЕНКО СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ С ОБРАБОТКОЙ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ STATISTICA	18
5.	Э.С. ГЕВОРКЯН, О.М. МЕЛЬНИК ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ НАНОПОРОШКОВЫХ СМЕСЕЙ Al_2O_3-WC ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА	24
6.	О.А. ЛИТВИНЕНКО, О.І. НЕКОЗ, В.П. КАВУН ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНОЇ КЕРАМІКИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ГІДРОДИНАМІЧНИХ КАВІТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ	32
7.	Г.Д. СЕМЧЕНКО, О.Н. БОРИСЕНКО, И.Ю. ШУТЕЕВА, Ю.И. РЯБКОВ, В.Н. НИКОЛАЕНКО, Е.Е. СТАРОЛАТ, М.А. ПАНАСЕНКО, И.Н. РОЖКО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ТЕТРАЭТОКСИСИЛАНА И ГЕЛЕЙ НА ЕГО ОСНОВЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕПЛОВЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК	38
8.	С.М. ЛОГВИНКОВ, Н.К. ВЕРНИГОРА, Д.А. БРАЖНИК САМООРГАНИЗАЦИЯ ФАЗ И ФОРМИРОВАНИЕ ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР ТУГОПЛАВКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	47
9.	А.В. АНЦИФЕРОВ, И.В. КОМАРОВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОУДАРЕНИЯ ТЕЛ ЧЕРЕЗ СЛОЙ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА	58
10.	В.А. БАТЛУК, В.В. БАТЛУК, Е.В. РОМАНЦОВ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧ ПРИНЦИПОВОГО ТИПУ В ПРОЦЕСАХ СЕПАРАЦІЇ ПОЛІДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ	64
11.	Д.А. БРАЖНИК, Г.Д. СЕМЧЕНКО ВЛИЯНИЕ ФОСФАТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРИКЛАЗОХРОМИТОВЫХ ОГНЕУПОРОВ	70
12.	Б.В. ВИНОГРАДОВ, И.А. ОСТАШКО ЗАСТОСУВАННЯ РОТОРНО-ІМПУЛЬСНОГО АПАРАТУ ДЛЯ ДИСПЕРГУВАННЯ ТВЕРДОГО ЗАЛИШКУ ПРОЛІЗУ ЗНОШЕНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН	74
13.	Г.Д. СЕМЧЕНКО, Н.Ю. КОБЕЦЬ, В.В. ДАВИСКИБА ІМПОРТОЗАМІНЮЮЧІ АЛЮМОСИЛКАТНІ НЕФОРМОВАНІ ВОГНЕТРИВИ	80
14.	В.Я. КРУГЛИЦЬКА, В.М. ПАХОМОВА, О.Г. ОСЬМАКОВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ КРЕМНІЙОРГАНІЧНОГО ПОЛІМЕРУ ТА ДИСПЕРСНОГО НАПОВНЮВАЧА	85

15.	В.П. НАДУТЫЙ, А.И. ЕГУРНОВ, П.В. ЛЕВЧЕНКО ИДЕНТИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВИБРОГРОХОТА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ	91
16.	Н.Д. ОРЛОВА ЗАВИСИМОСТЬ ВЯЗКОСТИ УПЛОТНЯЕМОЙ СМЕСИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ	97
17.	И.В. РУССУ, И. КОЛЕСНИК, И. КОНСТАНТИНЕСКУ ЗАЩИТНОЕ ЛАКОКРАСОЧНОЕ ПОКРЫТИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ВОДОУМЯГЧЕНИЯ И ВОДОПОДГОТОВКИ ТЭС	103
18.	В.Г. САЛЬНИК, В.А. СВИДЕРСЬКИЙ, Л.П. ЧЕРНЯК ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНІ ТА ДИСПЕРСНІСТЬ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ ЯК ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ГЛИНИСТИХ СИСТЕМ	110
19.	М.О. ОЛЕЙНИК ОСОБЕННОСТИ РАСКРЫТИЯ ЗЕРЕН ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ПОЛИМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ	121
20.	М.А. ЧИРКІНА БЛИЗНА НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО ФАРФОРУ: МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ТА ВИЗНАЧНІ ЧИННИКИ	129
21.	О.О. ХЛОПИЦЬКИЙ, Н.П. МАКАРЧЕНКО ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ СПІКАННЯ ЦИРКОНУ З ЇДКИМ НАТРОМ	135
22.	С.В. КОВАЛЬ ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИИ ЗОЛЫ-УНОСА НА РЕОЛОГИЮ ЦЕМЕНТНОЙ МАТРИЦЫ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА	140

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ “ХПІ”

Тематичний випуск
“Хімія, хімічна технологія та екологія ”

Збірник наукових праць

Випуск № 66

Науковий редактор д.т.н., проф. М.І. Рищенко

Технічний редактор С.З. Зеленцов

Відповідальний за випуск к.т.н. І.Б. Обухова

Обл.-вид. № 193-10

Підп. до друку 11.11.2010 р. Формат 60x84 1/16. Папір офісний.
RISO-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 10. Обл.-вид. арк. 10.
Наклад 300 прим. Перший завод 1-100. Зам. № 831. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ “ХПІ”.

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.

Надруковано у СПДФО Израйлев Є.М.

Свідоцтво № 24800170000040432 від 21.03.2001 р.

61024, м. Харків, вул. Фрунзе, 16