

УДК 691.4

## Оптимизация состава и технологических параметров изготовления пористых стеновых керамических материалов на основе микрокремнезема и органосодержащих добавок

Н.А. Лохова<sup>a</sup>, А.С. Тарновская<sup>b</sup>

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

<sup>a</sup> nlokhova@yandex.ru, <sup>b</sup> tarnovskaja@rambler.ru

Статья поступила 21.04.2013, принята 28.07.2013

*В г. Братске, пресыщенном предприятиями металлургии и лесохимии, сложилась неблагоприятная экологическая ситуация, в том числе связанная с накоплением отходов в шламохранилищах. Необходим поиск путей эффективного использования кремнеземсодержащих отходов (пыль газоочистки производства ферросплавов), органоминеральных отходов (просыть от дробления отработанной угольной футеровки электролизеров) и др. В рамках исследовательской программы БрГУ по производству стеновой керамики рассмотрена замена глинистого сырья на вышеперечисленные органосодержащие техногенные отходы. Цель исследования: оптимизация состава шихты, удельного давления прессования и температуры обжига кремнеземистого керамического материала с органосодержащей добавкой. В статье приведены результаты исследований керамических материалов на основе микрокремнезема с добавлением побочного продукта лесохимии (кислоты жирные талловые омыленные – КЖТО) и отработанной угольной футеровки электролизеров производства алюминия. Комплексный анализ полученных данных показал, что применение водного раствора КЖТО значительно влияет на характер пористой структуры материала. Введение 0,2 % КЖТО при удельном давлении прессования 16 МПа и температуре обжига 900 °С приводит к существенному сокращению открытой пористости и водопоглощения, уплотнению и упрочнению материала.*

**Ключевые слова:** пористые керамические материалы, прочность материала, водопоглощение, коэффициент размягчения, кремнеземсодержащие отходы.

## Optimization of the composition and process parameters for manufacturing porous ceramic building materials based on silica fume and organic additives

N.A. Lokhova<sup>a</sup>, A.S. Tarnovskaya<sup>b</sup>

Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russia

<sup>a</sup> nlokhova@yandex.ru, <sup>b</sup> tarnovskaja@rambler.ru

Received 21.04.2013, accepted 28.07.2013

*With a number of metallurgical and wood-chemical enterprises, Bratsk undergoes unfavourable environmental conditions, including waste accumulation in slurry pits. It is necessary to find ways to use effectively siliceous waste (gas purification dust of the ferroalloy production) and organic waste (waste spillage of spent carbon lining crushing from aluminium electrolyzers). Within the research conducted at Bratsk State University to produce wall ceramics, the possibility of argillous raw material replacement by the above-mentioned man-made organic waste has been considered. The research objective is to optimize the charge composition, specific moulding pressure and firing temperature for silica ceramic material containing organic additive. This article demonstrates the results of the studies of ceramic materials based on silica fume with the wood chemistry by-products additive (rich thallos saponified acids (RTSA)), spent carbon lining from aluminium electrolyzers. The comprehensive data analysis has showed that the use of aqueous solution of RTSA has a significant effect on the behavior of the material porous structure. Introduction of 0.2% of RTSA under the pressure of 16 MPa and at the firing temperature of 900 °C leads to a substantial reduction in the opened porosity and water absorption and in compaction and hardening of the material.*

**Keywords:** porous ceramic materials, material strength, water absorption, softening factor, silica waste.

**Введение.** Применение выгорающих добавок в керамической массе является широко известным приемом понижения истинной плотности изделий из глиномасс. Однако влияние органических выгорающих добавок на обжиговые свойства изделий из техногенного кремнеземистого сырья требует дополнительного изучения. Это связано со спецификой химического со-

става микрокремнезема, в котором практически отсутствуют оксиды железа, и, следовательно, в таких изделиях не развиваются окислительно-восстановительные реакции между углеродом и оксидом железа. Отсутствие таких процессов тормозит накопление гидратных фаз и процессы спекания. В связи с этим необходим поиск технологических приемов, обеспечивающих дос-

тижения заданных показателей керамического изделия из кремнеземсодержащего отхода с выгорающими добавками.

**Цель исследования:** оптимизация состава шихты, удельного давления прессования и температуры обжига кремнеземистого керамического материала с органической добавкой.

**Характеристика сырьевых компонентов.** В исследовании использованы следующие компоненты: микрокремнезем (далее – ПППФ, пыль газоочистки Братского завода ферросплавов (БЗФ)), просыпь от дробления отработанной угольной футеровки электролизеров (УФ) и кислоты жирные талловые омыленные (КЖТО) в качестве ПАВ [1 – 4]. Для обеспечения более полного выгорания углерода необходимо создание оптимальных условий.

ПППФ представляет собой дисперсный порошок с преобладающим размером частиц до 0,4 мкм. Ежегодное образование ПППФ на ОАО БЗФ достигает 12 тыс. т/год. Отход относится к кислому сырью, а значительное содержание органики позволяет применять его в качестве органоминерального сырья. Состав ПППФ (по данным БЗФ, 2011 г.) в мас. %:

SiO <sub>2</sub>	– 70,63;
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	– 1,76;
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	– 1,09;
CaO	– 0,54;
MgO	– 2,44;
K <sub>2</sub> O	– 3,25;
Na <sub>2</sub> O	– 1,15;
ППП	– 11,39.

Просыпь от дробления отработанной угольной футеровки электролизеров (УФ) образуется при капитальном ремонте катодного узла электролизеров. В настоящее время УФ утилизируется частично: крупные куски используются в качестве флюса на предприятиях черной металлургии, а просыпь от дробления (до 3 мм) вывозится в отвал. Химический состав отхода (по данным БрАЗ, 2010 г.) в мас. %:

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	– 3,5;
SiO <sub>2</sub>	– 2,2;
C	– 54,8;
CaF <sub>2</sub>	– 2,6;
Al	– до 25;
Na	– до 12;
F	– 11,9.

Количество образования отхода (2010 г.) – 9846 т.

В техногенной шихте УФ используется в качестве выгорающей добавки – активатора спекания кремнеземистой массы.

**Методика проведения исследования.** Сочетание кремнеземистого отхода (ПППФ), включающего дисперсные частицы графита и карборунда, с добавкой УФ позволяет получать керамический черепок с развитой полифракционной пористостью. Электронно-микроскопическое исследование материала показало, что пористость материала включает поры различных размеров, стенки которых армированы игольчатыми кристаллами новообразований. Крупные поры размером до 500 мкм образованы в результате выгорания УФ. Сферическая форма пор свидетельствует об остеклованности стенок (рис. 1) [5, 6].

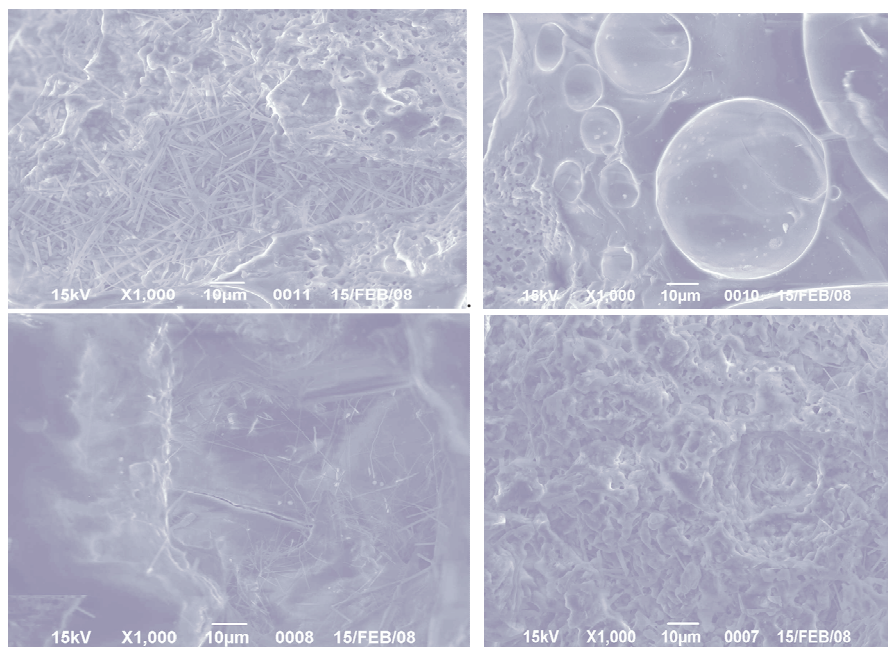


Рис. 1. Электронно-микроскопическое исследование материала рационального состава (ПППФ – 89 %, УФ – 11 %)

Установлено, что применение твердой выгорающей добавки (УФ) в кремнеземистую массу при заводском обжиге обеспечивает получение черепка с развитой пористостью (водопоглощение по массе 39 %) при средней плотности 1100 кг/м<sup>3</sup> и прочности при сжатии 15,5 МПа.

Для выявления условий более полного сгорания углерода, сокращения водопоглощения при сохранении высокой прочности черепка исследовано влияние расхода ПАВ, удельного давления прессования и температуры обжига на физико-технические свойства материала (таблицы 1 – 3) с помощью математического плани-

рования эксперимента. В качестве базовой шихты принята смесь ПППФ (89 %) и УФ (11 %). Количество КЖТО назначалось сверх 100 % базовой шихты.

Кислоты жирные талловые омыленные (КЖТО) – побочный продукт сульфатно-целлюлозного производства, состоит из натриевых солей талловых жирных кислот, получаемых при ректификации таллового мас-

ла из древесины хвойных пород. В сырьевой смеси КЖТО применяется как поверхностно-активная добавка для регулирования структуры сырца, полуфабриката и изделия. Исследование поверхностного натяжения водных растворов КЖТО с помощью катетометра КМ-8 выявило, что КЖТО позволяет снизить поверхностное натяжение на 27 % [6].

Таблица 1

*Уровни и факторы варьирования*

Уровень варьирования	Кодированное значение	Количество КЖТО, мас.% X1	Удельное давление прессования, МПа X2	Температура обжига, °С X3
Нижний (X <sub>imin</sub> )	-1	0,2	12	850
Средний (X <sub>i 0</sub> )	0	1	16	900
Верхний (X <sub>imax</sub> )	1	1,8	20	950
Интервал варьирования	-	0,8	4	50

Таблица 2

*План эксперимента в кодированном и натуральном выражении*

№ опыта	Кодированные значения			Натуральные значения		
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> , %	X <sub>2</sub> , МПа	X <sub>3</sub> , °С
1	-1	+1	+1	0,2	20	950
2	-1	+1	-1	0,2	20	850
3	-1	-1	+1	0,2	12	950
4	-1	-1	-1	0,2	12	850
5	+1	-1	-1	1,8	12	850
6	+1	-1	+1	1,8	12	950
7	+1	+1	-1	1,8	20	850
8	+1	+1	+1	1,8	20	950
9	-1	0	0	0,2	16	900
10	+1	0	0	1,8	16	900
11	0	+1	0	1	20	900
12	0	-1	0	1	12	900
13	0	0	+1	1	16	950
14	0	0	-1	1	16	850
15	0	0	0	1	16	900

В качестве откликов фиксировалось 14 физико-технических свойств: средняя и истинная плотность, прочность при сжатии в сухом состоянии, после водопоглощения в течение 48 часов и водонасыщенном состоянии, водопоглощение по массе, водонасыщение (водопоглощение при вакуумировании), общая и от-

крытая пористость, огневая и общая усадки, коэффициент размягчения, коэффициент водонасыщения, ККК.

Дополнительно были определены: коэффициент сжатия шихты, средняя плотность сырца и полуфабриката, прочность при сжатии полуфабриката, воздушная усадка.

## Отклики эксперимента

№	$\rho_m, \text{г/см}^3$	$\rho, \text{г/см}^3$	$R_{\text{сж}}, \text{МПа}$	$V_m, \%$	$P_{\text{откр}}, \%$	$P_{\text{общ}}, \%$	$K_{\text{ВН}}$	$R_{\text{вл}}, \text{МПа}$	$R_{\text{вн}}, \text{МПа}$	$L_{\text{огн}}, \%$	$L_{\text{общ}}, \%$	$K_{\text{КК}}, \text{МПа}$	$K_p$
1	1,44	2,29	10,84	17,96	25,86	37	0,63	13,28	1,24	3,00	3,07	8,8	1,24
2	1,43	2,38	28,44	15,40	22,02	40	0,9	22,18	0,78	7	7,39	19,2	0,78
3	1,38	2,14	8,42	19,26	26,57	36	0,79	7,80	0,63	3,9	4,26	6,3	0,63
4	1,30	2,14	9,72	19,25	25,03	40	0,77	8,44	0,87	4,82	5,51	6,9	0,87
5	1,33	2,19	13,99	19,94	25,58	40	0,85	20,28	1,2	4,8	5,70	10,5	1,2
6	1,35	2,22	11,21	22,05	29,76	40	0,92	9,50	0,94	3,52	4,21	7,5	0,94
7	1,37	2,19	14,82	14,09	19,30	38	0,69	16,07	1,08	2,79	3,44	8,9	1,08
8	1,35	2,30	12,18	16,92	26,89	42	0,99	11,20	0,94	6,7	6,88	8,6	0,94
9	1,36	2,35	15,82	19,25	26,18	43	0,90	12,14	0,77	4,58	4,95	11,4	0,77
10	1,36	2,24	9,63	18,18	24,72	40	0,84	9,92	1,07	4,22	4,39	7,0	1,07
11	1,30	2,29	10,30	16,49	21,43	44	0,66	9,84	0,98	3,41	4,87	7,3	0,98
12	1,32	2,14	9,31	29,76	39,28	39	0,85	10,79	1,17	7,77	8,31	7,8	1,17
13	1,37	2,35	21,04	18,35	25,13	42	0,86	12,49	0,60	5,15	5,65	12	0,60
14	1,35	2,26	16,65	21,12	28,58	41	0,69	7,90	0,47	3,24	3,61	12,3	0,47
15	1,30	2,30	10,64	15,19	19,74	44	0,66	10,39	0,98	5,37	5,73	8,3	0,98

Рассчитанные уравнения регрессии после проверки на адекватность использованы для построения графических зависимостей (рис. 2 – 6).

**Уравнения регрессии**

Средняя плотность материала:

$$Y_1 = 13,24 - 1,17 \cdot x_1 - 2,124 \cdot x_2 - 0,895 \cdot x_3 + 0,05 \cdot x_1^2 + 1,9 \cdot x_2^2 - 3,055 \cdot x_3^2 + 1,26 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,162 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,993 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Истинная плотность:

$$Y_2 = 2,296222 - 0,015 \cdot x_1 + 0,0625 \cdot x_2 + 0,0145 \cdot x_3 + 0,002222 \cdot x_1^2 - 0,07528 \cdot x_2^2 + 0,009722 \cdot x_3^2 - 0,03813 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,029375 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,001875 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Прочность при сжатии материала:

$$Y_3 = 13,24 - 1,17 \cdot x_1 - 2,124 \cdot x_2 - 0,895 \cdot x_3 + 0,05 \cdot x_1^2 + 1,9 \cdot x_2^2 - 3,055 \cdot x_3^2 + 1,26 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,162 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,993 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Водопоглощение:

$$Y_4 = 19,309556 + 0,006 \cdot x_1 - 2,64 \cdot x_2 + 0,474 \cdot x_3 - 1,624444 \cdot x_1^2 + 1,285556 \cdot x_2^2 - 0,604444 \cdot x_3^2 - 0,72875 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,296625 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,40875 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Открытая пористость:

$$Y_5 = 26,28533 - 0,251 \cdot x_1 - 3,57 \cdot x_2 + 0,879 \cdot x_3 - 2,47167 \cdot x_1^2 + 2,433333 \cdot x_2^2 - 1,10167 \cdot x_3^2 - 1,30375 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,17375 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,32375 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Общая пористость:

$$Y_6 = 43,06667 + 0,4 \cdot x_1 + 0,6 \cdot x_2 - 0,2 \cdot x_3 - 1,33333 \cdot x_1^2 - 1,33333 \cdot x_2^2 - 1,33333 \cdot x_3^2 - 0,125 \cdot x_1 \cdot x_2 + 1,375 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,625 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Коэффициент водонасыщения:

$$Y_7 = 0,862 + 0,001 \cdot x_1 - 0,001 \cdot x_2 - 0,001 \cdot x_3 + 0,015 \cdot x_1^2 - 0,005 \cdot x_2^2 + 0,005 \cdot x_3^2 - 0,00625 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,00125 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,00625 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Прочность при сжатии после водопоглощения в течение 48 часов:

$$Y_8 = 9,382444 + 0,313 \cdot x_1 + 1,576 \cdot x_2 - 0,206 \cdot x_3 + 1,899944 \cdot x_1^2 + 1,184444 \cdot x_2^2 + 1,064444 \cdot x_3^2 - 2,71625 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,76375 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,29375 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Прочность при сжатии после вакуумирования:

$$Y_9 = 10,428444 + 0,435 \cdot x_1 + 1,464 \cdot x_2 - 2,844 \cdot x_3 + 0,219444 \cdot x_1^2 + 1,124444 \cdot x_2^2 + 4,054444 \cdot x_3^2 - 0,385 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,8825 \cdot x_1 \cdot x_3 - 2,8025 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Водонасыщение (водопоглощение при вакуумировании):

$$Y_{10} = 25,95 - 0,987 \cdot x_1 - 2,178 \cdot x_2 - 0,042 \cdot x_3 - 5,28833 \cdot x_1^2 + 2,816667 \cdot x_2^2 - 1,02333 \cdot x_3^2 - 0,68 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1,585 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,9375 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Огневая усадка:

$$Y_{11} = 4,971333 - 0,127 \cdot x_1 - 0,191 \cdot x_2 - 0,038 \cdot x_3 - 0,47167 \cdot x_1^2 + 0,718333 \cdot x_2^2 - 0,67667 \cdot x_3^2 - 0,01375 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,94375 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,26375 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Общая усадка:

$$Y_{12} = 5,506889 - 0,056 \cdot x_1 - 0,234 \cdot x_2 - 0,158 \cdot x_3 - 0,78111 \cdot x_1^2 + 1,138889 \cdot x_2^2 - 0,82111 \cdot x_3^2 - 0,035 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,94 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,2325 \cdot x_2 \cdot x_3$$

ККК:

$$Y_{13} = 0,926444 - 0,101 \cdot x_1 + 0,138 \cdot x_2 - 0,146 \cdot x_3 - 0,030556 \cdot x_1^2 - 0,19556 \cdot x_2^2 + 0,264444 \cdot x_3^2 - 0,19125 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,9625 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,08875 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Коэффициент размягчения:

$$Y_{14} = 0,841333 + 0,094 \cdot x_1 + 0,021 \cdot x_2 - 0,005 \cdot x_3 + 0,113333 \cdot x_1^2 + 0,268333 \cdot x_2^2 - 0,27167 \cdot x_3^2 - 0,08 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,0775 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,1025 \cdot x_2 \cdot x_3$$

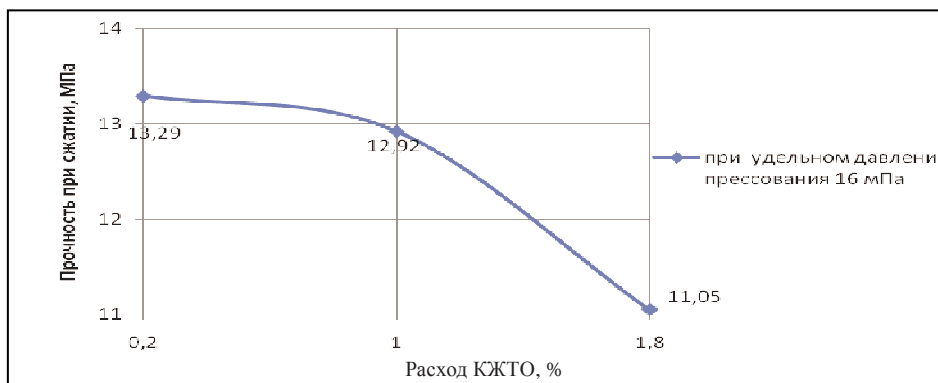


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии материала от расхода КЖТО при температуре обжига 900 °C

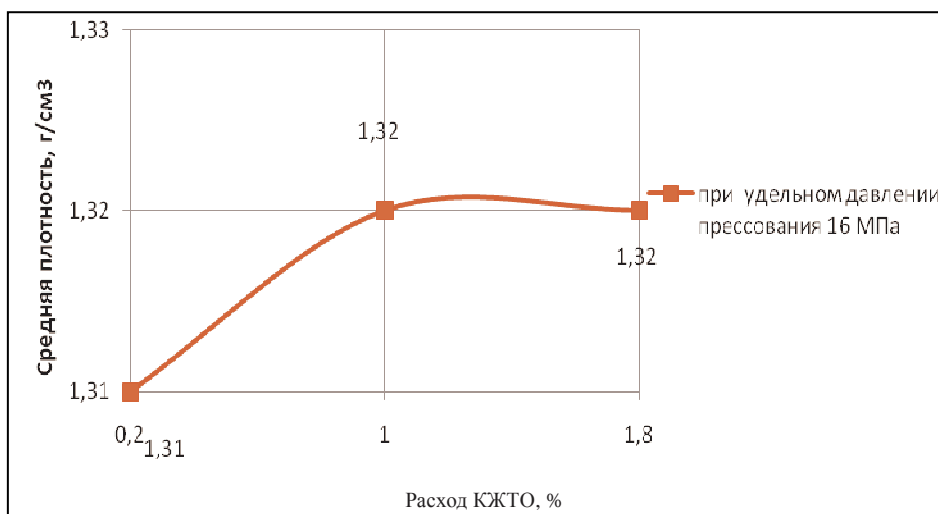


Рис. 3. Зависимость средней плотности материала от расхода КЖТО при температуре обжига 900 °C

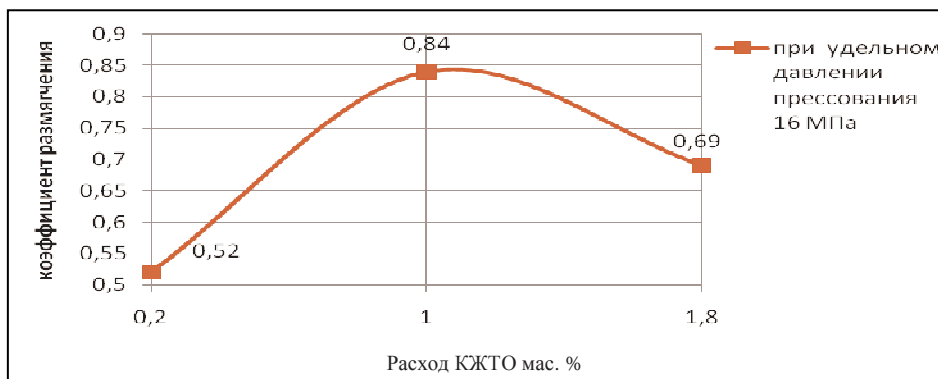


Рис. 4. Зависимость коэффициента размягчения материала от расхода КЖТО при температуре обжига 900 °C

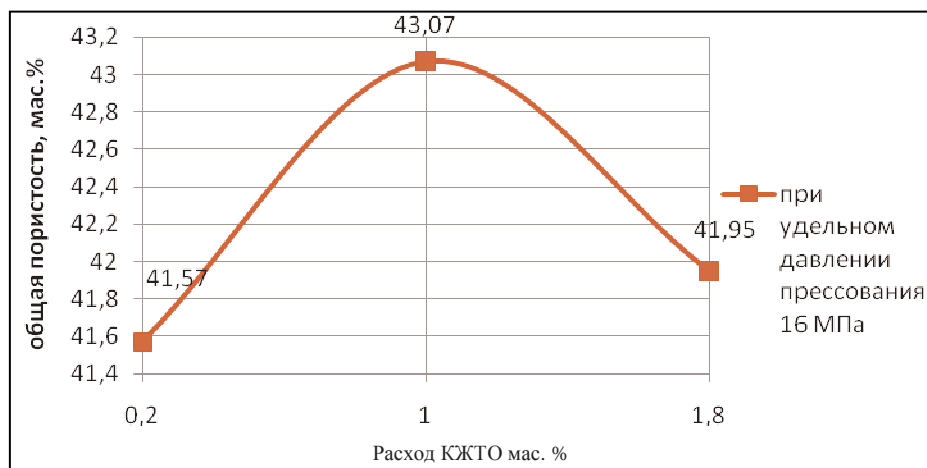


Рис. 5. Зависимость общей пористости материала от расхода КЖТО при температуре обжига 900 °С

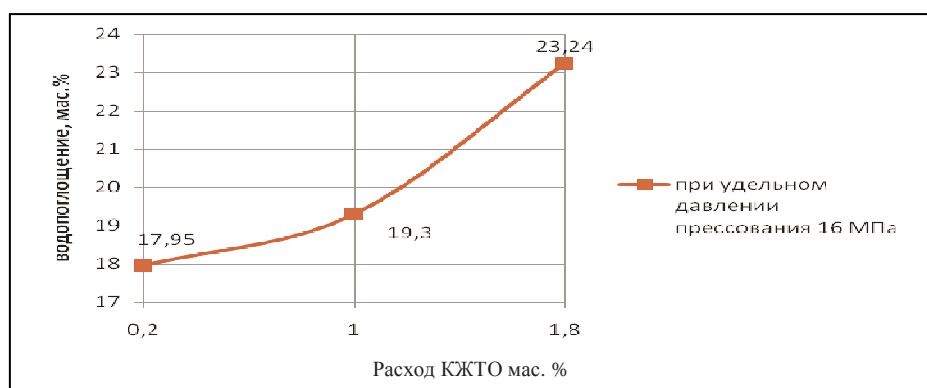


Рис. 6. Зависимость водопоглощения материала от расхода КЖТО при температуре обжига 900 °С

**Выводы.** Установлено, что применение КЖТО снижает суммарное трение частиц пресс-порошка при прессовании, увеличивает коэффициент сжатия шихты, что упрочняет сырец и сокращает брак при сушке. Увеличение площади контакта частиц приводит к активации спекания и формированию материала с улучшенными показателями прочности при сжатии и коэффициента конструктивного качества. Использование КЖТО в ряде случаев позволяет получить материал с повышенной истинной плотностью (опыты №№ 2, 9, 13; таблицы 2 и 3) и меньшим водопоглощением при сохранении относительно высокой прочности материала.

Комплексный анализ полученных данных показал, что применение водного раствора КЖТО значительно влияет на характер пористой структуры материала. Введение 0,2 % КЖТО при удельном давлении прессования 16 МПа и температуре обжига 900 °С, приводит к существенному сокращению открытой пористости (26,2 %) и водопоглощения (17,95 %), уплотнению и упрочнению материала.

Однако при выпуске лицевых изделий для увеличения коэффициента размягчения обожженного материала целесообразно вводить кальцийсодержащую добавку, например (Ca(OH)<sub>2</sub>).

#### Литература

1. Лохова Н.А., Кондратьева А.С., Бородин Э.Г., Стибунова, Н.С., Алыпина И.С. Сырьевая смесь для изготовления стеновых

керамических изделий: пат. № 2399599. Рос. Федерация; заявл. 16.02.2009; опубл. 20.09.2010. Бюл. № 26. 4 с.

2. Лохова Н.А., Кондратьева А.С., Бородин Э.Г., Соболев С.Ю., Аришин П.А., Черных И.В. Сырьевая смесь и способ изготовления стеновых керамических изделий: пат. № 2358952; Рос. Федерация; заявл. 19.11.2007; опубл. 20.06.2009. Бюл. № 17. 4 с.

3. Лохова Н.А., Кондратьева А.С., Степанова М.В., Черных И.В., Мугаев С.А., Топоров А.А. Сырьевая смесь для изготовления лицевой керамики: пат. Рос. Федерация № 2317275; заявл. 17.07.2006; опубл. 20.02.2008. Бюл. № 5. 4 с.

4. Лохова Н.А., Кондратьева А.С., Бородин Э.Г., Кучинский Д.А., Кучинская О.В., Боева Н.В. Сырьевая смесь для получения ангоба светлых тонов для стеновой керамики: пат. № 2378224; Рос. Федерация; заявл. 01.07.2008; опубл. 10.01.2010. Бюл. № 1. 4 с.

5. Лохова Н.А., Ермолина Н.С., Тарновская А.С. Обжиговые строительные материалы повышенной долговечности с использованием техногенного сырья: моногр. Братск: изд-во БрГУ, 2012. 80 с.

6. Лохова Н.А., Ермолина Н.С., Тарновская А.С. Обжиговые строительные материалы повышенной долговечности с использованием техногенного сырья: монография. Братск: Изд-во БрГУ, 2012. 80 с.

7. Лохова Н.А., Вихрева Н.Е. Сравнительный анализ фазообразования при обжиге золокерамики с минерализующими добавками // Труды Братского государственного технического университета, том 2. Братск: БрГТУ, 2004, 380 с.

8. Макарова И.А., Лохова Н.А., Гура З.И. К вопросу получения гидратированной керамики из дисперсного техногенного сырья // Труды Братского государственного технического университета, том 2. Братск: БрГТУ, 2004, 380 с.

9. Лохова Н.А. Морозостойкие строительные керамические материалы и изделия на основе кремнеземистого сырья: монография. Братск: БрГУ, 2009. 268 с.

## References

1. Lokhova N.A., Kondrat'yeva A.S., Borodin E.G., Stibunova N.S., Alypova I.S. Raw mix to produce wall ceramic items: pat. № 2399599. Ros. Federatsiya; zayavl. 16.02.2009; opubl. 20.09.2010. Byul. № 26. 4 s.
2. Lokhova N.A., Kondrat'yeva A.S., Borodin E.G., Sobolev S.Yu., Arishin P.A., Chernykh I.V. Raw mix and technique to produce wall ceramic items: pat. № 2358952; Ros. Federatsiya; zayavl. 19.11.2007; opubl. 20.06.2009. Byul. № 17. 4 s.
3. Lokhova N.A., Kondrat'yeva A.S., Stepanova M.V., Chernykh I.V., Mugaev S.A., Toporov A.A. Raw mix to produce facing ceramics: pat. № 2317275; Ros. Federatsiya; zayavl. 17.07.2006; opubl. 20.02.2008. Byul. № 5. 4 s.
4. Lokhova N.A., Kondrat'yeva A.S., Borodin E.G., Kuchinsky O.V., Kuchinskaya N.V., Boeva N.V. Raw mix to produce light-coloured en-  
gobe for wall ceramics: pat. № 2378224; Ros. Federatsiya; zayavl. 01.07.2008; opubl. 10.01.2010. Byul. № 1. 4 s.
5. Lokhova N.A., Ermolina N.S., Tarnovskaya A.S. Fired materials of improved durability made using anthropogenic raw material: monogr. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2012. 80 s.
6. Lokhova N.A., Ermolina N.S., Tarnovskaya A.S. Fired materials of improved durability made using technology-related raw material: monogr. Bratsk: Izd-vo BrGU, 2012. 80 s.
7. Lokhova N.A., Vikhrev N.E. Comparative analysis of phase formation when firing ash ceramics containing mineralizers // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. T. 2. Bratsk: BrGU, 2004. 380 s.
8. Makarova I.A., Lokhova N.A., Gura Z.I. On the issue of producing hydrated ceramics out of dispersed technology-related materials // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. T. 2. Bratsk: BrGU, 2004. 380 s.
9. Lokhova N.A. Frost-resistant ceramic construction materials and products based on silica material: monogr. Bratsk: BrGU, 2009. 268 s.

УДК 666.3-127.7

# Регулирование пористости керамического материала на основе пыли газоочистки производства ферросплавов и модифицированного жидкого стекла

Н.А. Лохова<sup>а</sup>, Н.В. Боева<sup>б</sup>

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

<sup>а</sup>nlokhova@yandex.ru, <sup>б</sup>boevanatalija@rambler.ru

Статья получена 26.04.2013, принята 28.07.2013

*Применение микропоризованного органосодержащего техногенного сырья – пыли газоочистки производства ферросплавов (ПППФ) в производстве стеновой керамики требует разработки способов повышения морозостойкости керамической поризованной матрицы. Это может быть достигнуто путем регулирования пористости структуры. В Братском государственном университете изучается возможность изготовления эффективного стенового керамического материала на основе ПППФ с использованием добавки высококальциевой золы-унос от сжигания бурых углей и модифицированного жидкого стекла в качестве модификатора пористой структуры. Установлено, что введение добавки золы-унос в количестве 25 % от массы ПППФ и обжиг при температуре 750 °С позволяют получить материал с минимальной открытой и максимальной условно-замкнутой пористостью, положительно влияющей на морозостойкость. Дополнительные исследования морозостойкости показали, что керамический материал на основе ПППФ выдерживает 125 циклов попеременного замораживания и оттаивания при сохранении низкой средней плотности черепка (1140 кг/м<sup>3</sup>). Проведенный теплотехнический расчет свидетельствует, что использование предлагаемого стенового керамического материала разработанного состава позволит сократить толщину стены в сопоставлении с глинистой керамикой.*

**Ключевые слова:** микропоризованная керамика, стеновая керамика, микрокремнезем, высококальциевая зола, теплотехнический расчет.

## Porosity control of ceramic material produced from gas purification dust of ferroalloys production and modified liquid glass

N.A. Lokhova<sup>а</sup>, N.V. Boeva<sup>б</sup>

Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russia

<sup>а</sup>nlokhova@yandex.ru, <sup>б</sup>boevanatalija@rambler.ru

Received 26.04.2013, accepted 28.07.2013

*The use of micro-porous industrial wastes - gas purification dust of the ferroalloy production (GPDFP) in manufacturing wall ceramics requires developing ways to increase frost resistance of the ceramic porous matrix. This can be achieved by controlling the structure porosity. The possibility of manufacturing the effective GPDFP-base wall ceramics using the high-calcium fly ash additive obtained from brown coal burning and modified liquid glass as a porous structure modifier is being studied at Bratsk State University.*