

УДК 691.41

## Микропоризованные стеновые керамические материалы из техногенного сырья

Н.А. Лохова<sup>a</sup>, М.И. Цинделиани<sup>b</sup>

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

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

Статья поступила 15.07.2013, принята 29.09.2013

*Создание изделий с повышенной морозостойкостью и улучшенными теплоизоляционными показателями является приоритетной задачей в области производства стеновых обжиговых материалов. Структура пористых керамических материалов оказывает значительное влияние на все эксплуатационные характеристики изделий. Наличие в многотоннажных дисперсных отходах теплоэнергетики и металлургии топливных остатков предопределяет выпуск на их основе микропоризованных керамических материалов с улучшенными теплозащитными свойствами. Кроме того, производство керамических материалов повышенной пористости требует разработки технологических приемов по упрочнению стенок пор. В статье приведены результаты комплексных исследований керамических стеновых материалов полусухого прессования на основе высококальциевой золы-унос от сжигания углей Ирша-Бородинского месторождения и пыли газоочистки Братского завода ферросплавов. Кроме того, использование пыли газоочистки ферросплавного производства, частицы которой имеют кластерное строение, предполагает обогащение пористой структуры черепка исходной межглобулярной пористостью. Для повышения морозостойкости золокремнеземистых керамических материалов при сохранении высокой пористости предлагается активизация внутреннего парогазовыделения на этапах первичной и заключительной кристаллизации черепка путем ввода закарбонизованного суглинка Анзевинского месторождения.*

**Ключевые слова:** высококальциевая зола-унос, пыль газоочистки ферросплавного производства, лицевая стеновая керамика, структурообразование, поровая структура, морозостойкость, микропоризованные стеновые материалы.

## Microporous wall ceramic materials produced from industrial waste

N.A. Lokhova<sup>a</sup>, M.I. Tsindeliani<sup>b</sup>

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

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

Received 15.07.2013, accepted 29.09.2013

*Production of the articles possessing increased frost resistance and improved heat-insulating properties is a priority in the sphere of fired wall materials manufacturing. The structure of porous ceramic materials affects on the product performance characteristics. The presence of fuel residues in the heat and power engineering and metallurgy heavy-tonnage disperse waste predetermines the production of micro-porous ceramic materials possessing improved heat-insulating properties. Besides, the production of ceramic materials having enhanced porosity requires developing the manufacturing methods to strengthen cell walls. The article reveals the results of the integrated studies of the dry compaction ceramic wall materials produced of high-calcium fly ash from the Irsha Borodino field coal combustion and gas purification dust of Bratsk Ferroalloy Plant. Besides, the use of gas purification dust of the ferroalloys production, the particles of which have a cluster-based structure, presupposes the enrichment of the porous body structure by the initial interglobular porosity. To increase frost resistance of ash-siliceous ceramic materials while preserving high porosity, it is proposed to activate endogenous steam and gas emission at the stages of primary and final ceramic body crystallization by means of introducing carbonized clay loam mined from Anzebi deposits.*

**Keywords:** high-calcium fly ash, gas purification dust of ferroalloy production, exterior wall ceramics, structure formation, pore structure, frost resistance, micro-porous wall materials.

Создание строительных материалов с улучшенными теплозащитными характеристиками из техногенных отходов является приоритетной задачей строительного материаловедения.

Наличие в дисперсных техногенных отходах теплоэнергетики (высококальциевая зола-унос – З-У) и металлургии (пыль газоочистки ферросплавного производства – ПГО) топливных остатков является предпосылкой для изготовления микропоризованных стеновых керамических материалов с улучшенными теплозащитными пока-

зателями. Кроме того, использование ПГО, частицы которой имеют кластерное строение, предполагает обогащение пористой структуры черепка исходной межглобулярной пористостью [1, 2].

Производство керамических материалов повышенной пористости требует разработки специальных технологических приемов по упрочнению стенок пор, что может быть осуществлено путем совмещения гидратного механизма омоноличивания сырья с последующим обжигом для получения кристаллической структуры [3].

Это реализуется смешиванием кислого ингредиента (пыль газоочистки ферросплавного производства) с щелочесодержащим (высококальциевая зола-унос). Химическое взаимодействие между ними и образование гидратсодержащих фаз обуславливает создание связи в сырце. В процессе обжига происходит микроармирование стенок пор черепка волластонитом – продуктом дегидратации силикатов и алюмосиликатов кальция. Выделение химически связанной воды при этом приводит к формированию микропор [4]. Однако материал, полученный обжигом масс, на основе ПГО и высококальциевой 3-У характеризуется относительно низкой морозостойкостью (25 циклов).

**Цель работы:** разработка составов и технологических параметров микропоризованных стеновых керамических изделий на основе высококальциевой золы-уноса и пыли газоочистки ферросплавного производства.

В лабораторных исследованиях изучение физико-механических свойств стенового золокремнеземистого

керамического материала полусухого прессования проводилось на образцах-цилиндрах диаметром 40 мм, массой 40 г.

3-У представляет собой дисперсный материал, в котором размер частиц в основном менее 0,16 мкм. Ежегодное образование золы-уноса на Иркутской ТЭС-7 г. Братска от сжигания углей Ирша-Бородинского месторождения колеблется от 21 до 24 тыс. т. В настоящее время в отвалах накоплено более миллиона тонн зольных отходов.

Пыль газоочистки ферросплавного производства (ПГО) – многотоннажный высокодисперсный отход (удельная поверхность = 27000-35000 см<sup>2</sup>/г), образующийся на ОАО «Братский завод ферросплавов» («БЗФ») [5]. Ежегодное образование ПГО на ОАО «БЗФ» – 12000 т, из них утилизируется 700 т/год, а оставшаяся часть направляется в шламонакопители.

Химические составы ПГО различных марок и золы-уноса приведены в таблице 1.

Таблица 1

*Химический состав золы-уноса Иркутской ТЭС-7 и ПГО (ОАО «БЗФ»)*

Содержание, мас. %	Пыль газоочистки ферросплавного производства марки 85	Высококальциевая зола-унос	Пыль газоочистки ферросплавного производства марки 65
SiO <sub>2</sub>	93	50,5	70,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,14	8,4	1,76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,7	8,8	1,09
CaO (в т. ч. CaO <sub>своб</sub> )	0,26	27,5 (6,45)	0,54
SO <sub>3</sub>	–	1,5	–
ППП	3,96	не более 2	11,39
Na <sub>2</sub> O	0,41	0,1	1,15
K <sub>2</sub> O	0,8	0,6	3,25
MgO	1,03	1,7	2,44

Оптимизация состава и технологических параметров изготовления стенового золокремнеземистого материала осуществлена с использованием планирования экспе-

римента в соответствии с математическим планом Бокс-3, который предусматривает варьирование четырех факторов на трех уровнях (таблица 2).

Таблица 2

*Уровни и факторы варьирования*

Уровень варьирования	Кодированное обозначение	Влажность шихты, мас. % X <sub>1</sub>	Удельное давление прессования, МПа X <sub>2</sub>	Температура обжига, °С X <sub>3</sub>	Содержание ПГО марки 85 в шихте, мас. % X <sub>4</sub>
Нижний (X <sub>i</sub> min)	–1	8	20	800	15
Средний (X <sub>i</sub> 0)	0	11	35	925	35
Верхний (X <sub>i</sub> max)	+1	14	50	1050	55
Интервал варьирования X <sub>i</sub> (Δ X <sub>i</sub> )		3	15	125	20

В качестве откликов (таблица 3) фиксировались: средняя плотность (ρ<sub>m</sub>), прочность при сжатии (R<sub>сж</sub>), водопоглощение по массе (W<sub>m</sub>), коэффициент размягчения (K<sub>p</sub>), открытая пористость (Π<sub>o</sub>), коэффициент конструктивного качества (ККК).

В результате обработки результатов экспериментов были получены зависимости свойств материала от факторов варьирования в виде уравнений регрессии (таблица 4). После проверки на адекватность полученные уравнения использованы для построения графических зависимостей (рис. 1 – 6).

## Отклики эксперимента

№ опыта	Факторы варьирования				Прочность при сжатии, МПа	Водопоглощение, мас. %	Коэффициент размягчения	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Открытая пористость, %	ККК·10 <sup>-2</sup> , МПа/(кг/м <sup>3</sup> )
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	72,1	22,6	1,31	1,430	32,32	5,04
2	1	1	1	-1	52,3	27,1	0,88	1,437	38,94	3,64
3	1	1	-1	1	24,1	22,4	1,61	1,350	30,24	1,79
4	1	1	-1	-1	21,2	28,2	1,17	1,324	37,34	1,60
5	1	-1	1	1	48,4	26,1	1,84	1,375	35,89	3,52
6	1	-1	1	-1	47,1	27,5	0,41	1,431	39,35	3,29
7	1	-1	-1	1	30,8	30,1	1,63	1,263	38,02	2,44
8	1	-1	-1	-1	28,1	24,5	1,62	1,317	32,27	2,13
9	-1	1	1	1	72,0	25,2	0,38	1,408	35,48	5,11
10	-1	1	1	-1	75,0	28,6	1,52	1,393	39,84	5,38
11	-1	1	-1	1	26,3	26,8	1,11	1,333	35,72	1,97
12	-1	1	-1	-1	28,1	26,3	1,37	1,340	35,24	2,10
13	-1	-1	1	1	51,0	28,1	1,24	1,215	34,14	4,20
14	-1	-1	1	-1	50,3	31,0	1,11	1,500	46,50	3,35
15	-1	-1	-1	1	20,4	29,3	1,62	1,258	36,86	1,62
16	-1	-1	-1	-1	5,1	26,8	1,92	1,298	34,79	0,39
17	0	0	0	1	35,0	27,7	0,65	1,300	36,01	2,69
18	0	0	0	-1	52,0	27,5	1,66	1,380	37,95	3,77
19	0	0	1	0	26,9	25,6	0,70	1,302	33,33	2,07
20	0	0	-1	0	3,3	25,5	0,92	1,260	32,13	0,26
21	0	1	0	0	38,4	27,1	0,6	1,370	37,13	2,80
22	0	-1	0	0	36,7	28,5	0,94	1,282	36,54	2,86
23	1	0	0	0	47,5	26,3	0,65	1,292	33,98	3,68
24	-1	0	0	0	50,1	28,2	0,98	1,305	36,80	3,84

Таблица 4

## Уравнения регрессии для кодированных значений переменных

Золосиликатный керамический материал (65 % З-У + 35 % ПГО марки 85)	
1) прочность при сжатии:	$Y_1 = 34,727083 - 0,372222 \cdot X_1 + 5,08889 \cdot X_2 + 17,094444 \cdot X_3 + 1,161111 \cdot X_4 + 14,072917 \cdot X_1^2 + 2,822917 \cdot X_2^2 - 19,627083 \cdot X_3^2 + 8,772917 \cdot X_4^2 - 3,70625 \cdot X_1 \cdot X_2 - 3,29375 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,96875 \cdot X_1 \cdot X_4 + 3,70625 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,13125 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,01875 \cdot X_3 \cdot X_4 + 1,60625 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 + 2,46875 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_4 + 1,95625 \cdot X_1 \cdot X_3 \cdot X_4 + 1,98125 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,30625 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$
2) водопоглощение по массе:	$Y_2 = 0,792917 - 0,118333 \cdot X_1 - 0,132222 \cdot X_2 - 0,087778 \cdot X_3 - 0,126111 \cdot X_4 + 0,022083 \cdot X_1^2 - 0,022917 \cdot X_2^2 + 0,017083 \cdot X_3^2 + 0,362083 \cdot X_4^2 + 0,06125 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,13625 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,1175 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,06375 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,1125 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,185 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,0125 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,04125 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,24125 \cdot X_1 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,17125 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,0075 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$
3) коэффициент размягчения:	$Y_3 = 27,095833 - 0,861111 \cdot X_1 - 0,977778 \cdot X_2 + 0,105556 \cdot X_3 - 0,511111 \cdot X_4 + 0,154167 \cdot X_1^2 + 0,704167 \cdot X_2^2 - 1,545833 \cdot X_3^2 + 0,504167 \cdot X_4^2 + 0,025 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,35 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,175 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,1375 \cdot X_2 \cdot X_3 - 1,0625 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,9375 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,15 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,75 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,225 \cdot X_1 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,6125 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,425 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$
4) средняя плотность:	$Y_3 = 1,297 + 0,009389 \cdot X_1 + 0,024778 \cdot X_2 + 0,041556 \cdot X_3 - 0,027111 \cdot X_4 + 0,0015 \cdot X_1^2 + 0,029 \cdot X_2^2 - 0,016 \cdot X_3^2 + 0,043 \cdot X_4^2 - 0,003 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,00825 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,014125 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,004 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,028875 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,016125 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,000125 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,01275 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,01175 \cdot X_1 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,01475 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,018625 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$
5) открытая пористость:	$Y_3 = 35,167083 - 0,945556 \cdot X_1 - 0,672778 \cdot X_2 + 1,287778 \cdot X_3 - 1,53 \cdot X_4 + 0,222917 \cdot X_1^2 + 1,667917 \cdot X_2^2 - 2,437083 \cdot X_3^2 + 1,812917 \cdot X_4^2 - 0,0425 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,295 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,17125 \cdot X_1 \cdot X_4 - 0,36875 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,6 \cdot X_2 \cdot X_4 - 1,75 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,21 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 - 1,40125 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,65875 \cdot X_1 \cdot X_3 \cdot X_4 + 1,205 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,00625 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$
6) коэффициент конструктивного качества · 10 <sup>-2</sup> :	$Y_3 = 2,670625 - 0,046111 \cdot X_1 + 0,312778 \cdot X_2 + 1,183333 \cdot X_3 + 0,151667 \cdot X_4 + 1,089375 \cdot X_1^2 + 0,159375 \cdot X_2^2 - 1,505625 \cdot X_3^2 + 0,559375 \cdot X_4^2 - 0,269375 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,276875 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,028125 \cdot X_1 \cdot X_4 + 0,245625 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,089375 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,038125 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,135625 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,220625 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_4 + 0,103125 \cdot X_1 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,095625 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 + 0,065625 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$

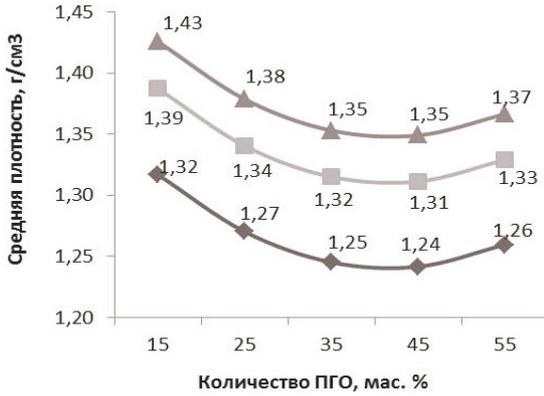


Рис. 1. Зависимость средней плотности от расхода ПГО

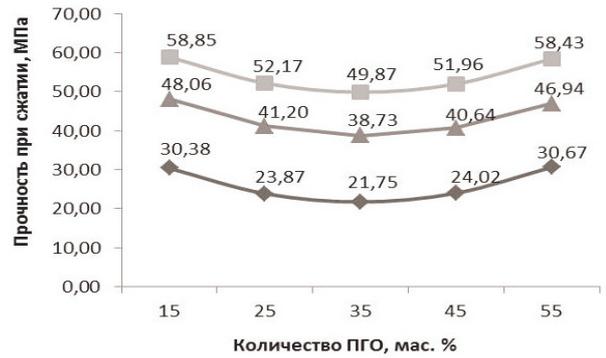


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии от расхода ПГО

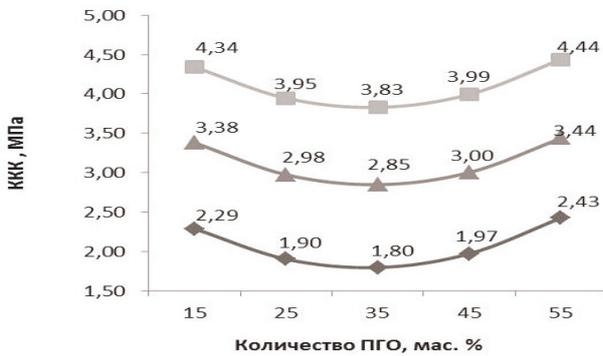


Рис. 3. Зависимость ККК от расхода ПГО

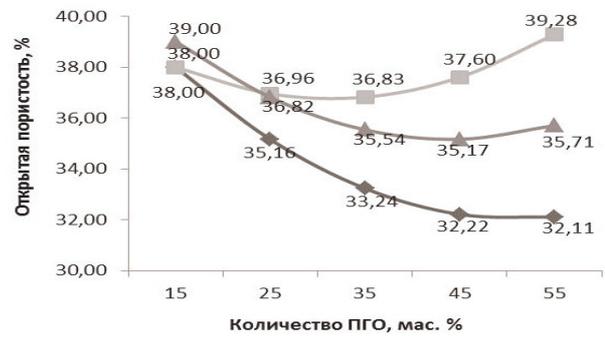


Рис. 4. Зависимость открытой пористости от расхода ПГО

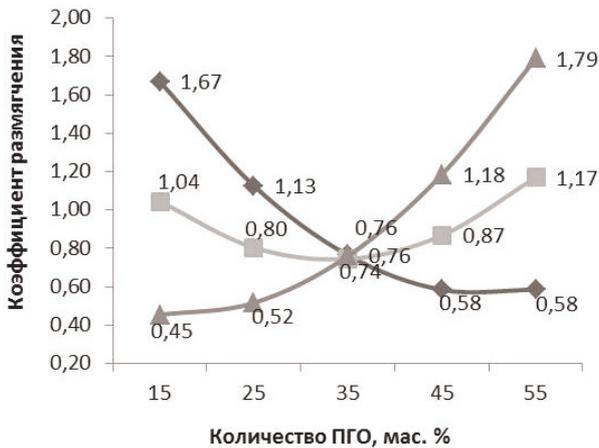


Рис. 5. Зависимость коэффициента размягчения от расхода ПГО

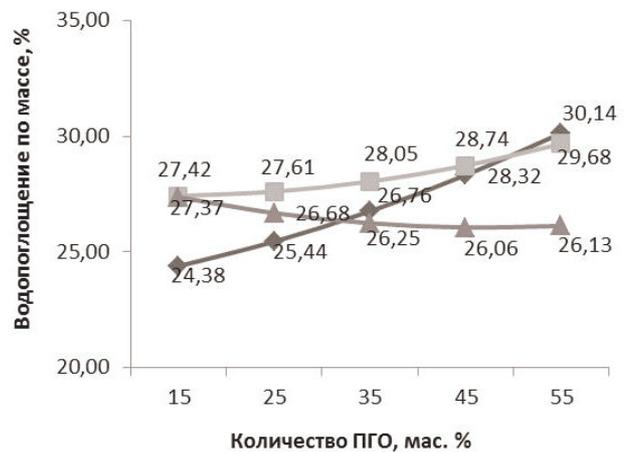


Рис. 6. Зависимость водопоглощения от расхода ПГО

◆ W=14 %; p=20 МПа; Тобж=800 °C  
 ■ W=14 %; p=20 МПа; Тобж=925 °C  
 ▲ W=14 %; p=20 МПа; Тобж=1050 °C

Основными выводами исследования являются следующие.

Установлено, что увеличение расхода ПГО (рис. 1) до 45 % приводит к снижению средней плотности материала, что связано с увеличением доли микропоризованного сырья (ПГО) в сырьевой смеси. Известно, что частицы ПГО имеют кластерное строение, при котором глобулы преимущественного размера до 0,4 мкм объе-

динены в «гроздь» с межглобулярной пористостью. Следовательно, рост количества ПГО в смеси увеличивает содержание исходной микропористости сырьевой смеси.

Снижение средней плотности материалов сопровождается приростом водопоглощения (рис. 6). Примечательно, что максимальные значения открытой пористости достигаются при температуре обжига 925 °C. Для

материалов, обожженных при 800 °С, открытая пористость резко снижается с ростом количества ПГО в шихте. Это свидетельствует о неполном выгорании графита в сырце при этой температуре.

Прочность при сжатии материалов снижается с ростом расхода ПГО до 35 % (рис. 2), что связано с дополнительной поризацией черепка и его минеральным составом.

Использование повышенных расходов ПГО (до 55 %) упрочняет черепок. Это происходит на фоне роста водопоглощения (рис. 6), что указывает на одновременное протекание процессов образования открытых пор и упрочнения их стенок. Максимальные значения ККК выявлены для масс с наибольшим содержанием ПГО (рис. 3). Максимальный ККК отмечен для материала, содержащего 55 % ПГО и обожженного при 925 °С.

Выявленная особенность зависимости прочностных свойств от температуры обжига указывает на необходимость контроля температуры обжига при выпуске высокопрочных изделий.

Установлено, что материал, обожженный при 925 °С, обладает водостойкостью при всех рассмотренных расходах ПГО, в отличие от других температур обжига (рис. 5). Материал, полученный при пониженной температуре (800 °С), обладает способностью к упрочнению во влажных условиях (коэффициент размягчения = 1,13-1,67) при расходе ПГО до 25 %. Повышенные значения коэффициента размягчения также характерны для материала, обожженного при 1050 °С, включающего высокие расходы ПГО (45-55 %).

В целом, использование повышенных расходов ПГО (35-55 %) обеспечивает получение материала минимальной средней плотности, достаточной водостойкости и прочности при температурах обжига 925-1050 °С.

Особенности структурообразования материала из двухкомпонентной шихты изучены путем исследования свойств образцов состава (35 % ПГО марки 85, 65 % 3-У), изготовленных полусухим прессованием при удельном давлении 20 МПа и влажности шихты 16 %. Серия образцов обжигалась в диапазоне температур

200-1050 °С. Выявлено, что структурообразование материала можно разделить на три этапа:

**I Предкристаллизационный (200-550 °С).** На этом этапе наблюдается рост коэффициента размягчения, коэффициента конструктивного качества, средней плотности и прочности при сжатии в сухом и влажном состоянии материала; формируется и разрушается матрица с повышенным коэффициентом размягчения.

Дальнейший нагрев до 550 °С вызывает падение прочностных показателей, коэффициента размягчения и коэффициента конструктивного качества. Это указывает на возможное разложение  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с выделением химически связанной воды. При этом дегидратируется часть гидросиликатов Ca, образованных при взаимодействии золы и пыли газоочистки.

**II Этап первичной кристаллизации вследствие протекания твердофазовых процессов (550-800 °С).** Для него характерно формирование структуры на фоне активного выгорания топливных компонентов шихты, что приводит к снижению средней плотности, повышению водопоглощения и открытой пористости на фоне снижения прочности и коэффициента размягчения.

**III Этап заключительной кристаллизации (800-1050 °С).** Сопряжен с образованием жидкой фазы и смешанным типом спекания. Для него характерно упрочнение керамической матрицы при снижении водопоглощения и стабилизации показателя открытой пористости. Примечательно, что материал, полученный при 900 °С, обладает повышенным коэффициентом размягчения (1,3). При последующем нагреве до 1050 °С коэффициент размягчения приближается к 1.

Полученные данные согласуются с результатами рентгенофазового анализа (таблица 5). Установлено, что при 1050 °С свободные CaO и MgO полностью связываются в диопсид и анортит. Таким образом, использование двухкомпонентной золокремнеземистой шихты позволяет получить прочный и поризованный керамический черепок при относительно высокой температуре обжига – до 1050 °С.

Таблица 5

Результаты рентгенофазового анализа керамических образцов из техногенного сырья (65 % 3-У + 35 % ПГО марки 85)

Температура, °С	$\text{SiO}_2$ ( $\alpha$ -кварц) [0,49 нм]	MgO (периклаз) [0,829 нм]	CaO [1,497 нм]	$\alpha'$ - $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ [0,303 нм]	$\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ (корунд) [0,175 нм]	$\alpha$ - $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ (беллит) [0,297 нм]	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ (геленит) [0,199 нм]	$\text{CaSO}_4$ (ангидрит) [0,226 нм]	CaMg( $\text{SiO}_3$ ) <sub>2</sub> (диопсид) [0,239 нм]	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (анортит) [0,301 нм]	$\text{SiO}_2$ ( $\alpha$ -квистобалит) [0,695 нм]
200	+	+	+	+	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	-
1050	+	-	-	-	(+)	-	+	(+)	+	+	(+)

Примечание: (+) – фазы, определенные в предположительной форме ввиду наложения рефлексов

Очевидно, что повышение температуры обжига приводит к полному связыванию CaO и MgO в долговечные стабильные новообразования (диопсид, полевые шпаты). Морозостойкость материала составляет 25 циклов попере-

менного замораживания и оттаивания, что соответствует требованиям для рядовых изделий.

Пористая структура керамики из техногенных отходов (таблица 6) включает повышенное содержание микропор размером от 0,0015 до 0,1 мкм.

## Характеристика пористости керамических материалов

Состав шихты	$S_{\text{удр}}, \text{м}^2/\text{г}$	Распределение пор по размерам, $\%(\text{см}^3/\text{г})$									Суммарный объем пор, $\text{см}^3/\text{г}$	Теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{с})$	
		300-150	150-100	100-50	50-10	10-1	1-0,1	0,1-0,04	0,04-0,02	0,02-0,01			0,01-0,0015
Суглинок Анзобинского месторождения (пластическое формование)	2,284	-	$\frac{1,51}{0,0034}$		$\frac{23,35}{0,0525}$	$\frac{10,41}{0,00234}$	$\frac{57,72}{0,123}$	$\frac{9,92}{0,0223}$	$\frac{0,09}{0,0002}$	-	-	0,225	0,437 (пустотность 27 %)
65 % 3-У + 35 % ПГО марки 85 (полусухое прессование)	14,283	$\frac{0,11}{0,0003}$	$\frac{0,25}{0,0007}$	$\frac{0,36}{0,001}$	$\frac{1,22}{0,003}$	$\frac{1,01}{0,0028}$	$\frac{42,58}{0,118}$	$\frac{15,48}{0,0315}$	$\frac{31,87}{0,0986}$	$\frac{3,72}{0,0103}$	$\frac{3,42}{0,0095}$	0,2771	0,373 (пустотность 0 %)

В глинистом черепке доминируют более крупные поры (1-100 мкм). Суммарный объем пор материала их техногенной массы в 1,3 раза выше в сопоставлении с глинистой керамикой. В совокупности это обеспечивает пониженную теплопроводность материала из техногенных отходов

Согласно ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические» морозостойкость лицевой керамики должна быть не менее 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Для изготовления лицевых керамических изделий требуется разработка способов повышения их морозостойкости.

Обеспечение высокой морозостойкости золокремнеземистых керамических материалов возможно путем применения ПГО марки 65, включающей большее количество флюсующих составляющих. Наличие примеси оксида кальция, магния,  $\text{R}_2\text{O}$  позволяет прогнозировать образование в стенках пор дополнительного количества полезных морозостойких новообразований.

Для повышения морозостойкости золокремнеземистых керамических материалов при сохранении высокой пористости предлагается активизация внутреннего парогазовыделения на этапах первичной и заключительной кристаллизации черепка путем ввода закарбонизованного суглинка Анзобинского место-рождения. Основные технические характеристики лицевого керамического кирпича (из сырьевой смеси состава: 3-7 % высококальцевой 3-У + 66-68 % ПГО марки 65 + 27-28 % закарбонизованного суглинка Анзобинского месторождения): морозостойкость – F50, температура обжига – 900 °С, средняя плотность (при пустотности 0 %) – 1250 кг/м<sup>3</sup>, марка по прочности М 250 (с учетом масштабного коэф-

фициента 0,6 и прочности при сжатии лабораторных образцов 43,3 МПа).

## Литература

1. Тацки Л.Н., Лохова Н.А., Гершанович Г.Л., Сеничак Е.Б. Сырьевая смесь для стеновых керамических изделий: пат. 2086517. Рос. Федерации. № 95107321/03; заявл. 06.05.95; опубл. 10.08.97.
2. Лохова Н.А., Стибунова Н.С., Сеничак Е.Б., Большакова Ю.А., Селена Е.О. Сырьевая смесь для изготовления лицевой керамики: пат. 2410351. Рос. Федерации. № 2009123353/03; заявл. 18.06.09; опубл. 10.04.12.
3. Лохова Н.А. Макарова И.А., Патраманская С.В. Морозостойкие строительные керамические материалы и изделия на основе кремнеземистого сырья: моногр. Братск: БрГУ, 2009. 268 с.
4. Лохова Н.А. Обжиговые материалы на основе микрокремнезема: моногр. Братск: БрГТУ, 2002. 163 с.
5. Русина В.В., Корда Е.В. Основы получения жидкого стекла из техногенного сырья // Цемент и его применение. 2012. № 2. С. 108-114.

## References

1. Tatski L. N., Lokhova N. A., Gershanovich G. L., Senichak E. B. Raw mix for wall ceramic products: pat. 2086517. Ros. Federatsii. № 95107321/03; zayavl. 05/06/1995, opubl. 10.08.1997.
2. Lokhova N. A., Stibunova N. S., Senichak E. B., Bol'shakova Yu. A., Selena E. O. Raw mix for the facing ceramics production: pat. 2410351. Ros. Federatsii. № 2009123353/03; zayavl. 06.18.2009, opubl. 04.10.2012.
3. Lokhova N. A. Frost-resistant ceramic construction materials and products based on silica material: monogr. Bratsk: BrGU, 2009. 268 s.
4. Lokhova N.A., Makarova I.A., Patramanskaya S.V. Fired materials based on silica fume: monogr. Bratsk: BrGTU, 2002. 163 s.
5. Rusina V. V., Corda E. V. The fundamentals of producing liquid glass from industrial wastes// Tsement i ego primeneniye. 2012. № 2. S. 108-114.