

Формирование свойств глинокремнеземистого материала с органоминеральной добавкой

И.А. Макарова^а, С.В. Либеровская^б

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

^аmakarovabrgy@yandex.ru, ^бliberovskaya@mail.ru

Статья поступила 21.09.2016, принята 30.10.2016

Истощение природной базы высококачественного глинистого сырья для изготовления стеновой керамики приводит к усложнению технологии и удорожанию конечного продукта. Химический и минеральный состав предлагаемых исходных компонентов предопределяет использование энерго- и ресурсосберегающей технологии изготовления стеновых керамических изделий. Реализация такой технологии способствует получению качественного материала пониженной средней плотности. В качестве основного компонента используется пыль газоочистки ферросплавного производства, в качестве комплексной добавки — закарбонизованный суглинок и минеральный шлам от газоочистки производства алюминия. Варьирование состава шихты и температуры обжига позволяет получить материал с различными физико-механическими свойствами. В частности, изготовление рядовых изделий возможно при повышенных расходах органоминеральной добавки и низкой температуре обжига (до 800 °С). Для получения изделий с повышенной морозостойкостью необходимо снижение расхода органоминеральной добавки и повышение температуры обжига.

Ключевые слова: глинокремнеземистый керамический материал; стеновая керамика; пыль газоочистки ферросплавного производства; закарбонизованный суглинок; шлам газоочистки рекультивированного шламонакопителя алюминиевого производства.

Formation of properties of clay-silica material with organic-mineral additive

I.A. Makarova^а, S.V. Liberovskaya^б

Bratsk State University; 40 Makarenko St., Bratsk, Russia

amakarovabrgy@yandex.ru, bliberovskaya@mail.ru

Received 21.09.2016, accepted 30.10.2016

Depletion of natural clay base of high-quality raw materials for manufacturing wall ceramic leads to a complication of technology and rise in price of the final product. Chemical and mineral composition of the starting components determines the use of energy-saving and resource-saving production technology of wall ceramic products. Implementation of this technology helps to ensure a low average density of high quality material. As the main component, dust is used from gas purification of ferroalloy production. As a complex additive, carbonized mineral loam and sludge from the gas cleaning aluminum are used. Varying the composition of the charge and the firing temperature makes it possible to obtain a material with different physical and mechanical properties. In particular, production of ordinary products is possible at increased consumption of organic-mineral additives and low firing temperature (up to 800 °C). For products with a high frost resistance reduction is needed for the consumption of organic-mineral additive and increase of firing temperature.

Key words: clay-silica ceramic material; wall ceramic; dust from gas purification of ferroalloy production; carbonized loam; gas cleaning sludge reclaimed slurry tank aluminum production.

Введение

Современный рынок строительных материалов испытывает дефицит качественной лицевой керамики по приемлемой для потребителя цене. Особым спросом пользуются стеновые изделия с пониженной средней плотностью и теплоизоляционными свойствами, что обусловлено климатическими условиями в большинстве регионов нашей страны.

Традиционным сырьем для стеновой керамики являются суглинки, но в настоящее время их использование уже не обеспечивает получение качественного материала. Это связано с тем, что основная часть высоко-

качественного глинистого сырья уже истощена, а имеющиеся сырьевые запасы не стабильны по своему химическому составу и содержат примеси, отрицательно влияющие на свойства готовых керамических изделий (карбонатные, сернистые примеси). Все это приводит к усложнению технологии и удорожанию конечного продукта. Наряду с этим непосредственно технология изготовления керамических изделий за счет высокой энергоемкости уступает многим другим. Так, затраты на тепловую и электрическую энергию в структуре себестоимости составляют от 40 до 60 % [1].

Такие затраты на энергоресурсы обусловлены переработкой сырья на подготовительном этапе, сушкой и обжигом (до 1 200 °С) [2].

Альтернативным вариантом расширения сырьевой базы для производства стеновой керамики является использование промышленных отходов, которые, как правило, представляют собой дисперсное сырье, не требующее дополнительной переработки и обладающее высокой физико-химической активностью [3–8].

В Братском государственном университете разработана технология изготовления керамических изделий на основе кремнеземистого отхода методом полусухого прессования [9; 10]. Готовые изделия имеют черепок белого цвета, обладают пониженной средней плотностью (970–1 010 кг/м³), что в среднем на 52 % ниже плотности традиционного глинистого черепка [11; 12]. Наряду с этим технология позволяет получить высококачественный стеновой материал при температуре обжига существенно ниже (800–900 °С), чем в традиционной технологии.

Цель исследования — выявление зависимости физико-механических свойств глинокремнеземистого материала с органоминеральной добавкой в зависимости от состава шихты и температуры обжига. В качестве основного компонента шихты используется пыль газоочистки (ПГО) ферросплавного производства. Для направленного регулирования физико-механических свойств керамического черепка предлагается использовать добавки закарбонизованного суглинка и минерального шлама от газоочистки производства алюминия (ШГО).

Основной компонент ПГО имеет следующий химический состав (масс. %): SiO₂ — 70,63–75,14; Fe₂O₃ — 1,76–1,78; Al₂O₃ — 1,09–1,43; CaO — 0,54–0,62; Na₂O — 0,94–1,15; K₂O — 1,33–3,25; MgO — 1,77–2,44; ППП — 9,82–11,39. Гранулометрический состав ПГО по данным технического паспорта отходов БрАЗ представлен в табл. 1.

Таблица 1

Гранулометрический состав ПГО

Размер частиц, мкм	Содержание, масс. %
Менее 0,1	8,5
0,1–0,2	34,5
0,2–0,4	30,0
0,4–1,0	8,0
1,0–10	2,5
0–50	1,0
50–100	5,0
Более 100	11,0

По данным электронно-микроскопического анализа, ПГО представлен агрегатами из очень мелких чешуек-пластинок и сферических частиц диаметром от 0,01 до 0,7 мкм. Редко между агрегатами просматриваются нити [13].

Радиометрические исследования, выполненные в КрасГАСА, свидетельствуют о том, что ПГО отвечает гигиеническим требованиям (концентрация радионуклидов не превышает нормативов и регистрируется в пределах фона) и могут быть использованы для изготовления материалов как для промышленного, так и для жилищного строительства [14].

Добавка закарбонизованного суглинка Анзевинского месторождения имеет химический состав (масс. %): SiO₂ — 54,94; Al₂O₃ — 12,58; Fe₂O₃ — 3,88; CaO — 5,9; MgO — 5,5; K₂O — 4,19; Na₂O — 0,47; SO₃ — 0,17; TiO₂ — 0,72; ППП — 10,29. Содержание CaCO₃ + MgCO₃ во включениях суглинка — 34,2 %. Суглинок относится к умеренно пластичному сырью с низкой чувствительностью к сушке.

Добавка ШГО имеет следующий химический состав (масс. %): Al₂O₃ — 36; CaO + CaF — 3,9; F — 10,3; C — 25,3; Na₂SO₄ — 22,5; SiO₂ — 0,2; Fe₂O₃ — 1,8. Средний диаметр частиц ШГО — 10...25 мкм. Естественная влажность таких отходов составляет 18,4 %, что близко к карьерной влажности местного суглинка Анзевинского месторождения.

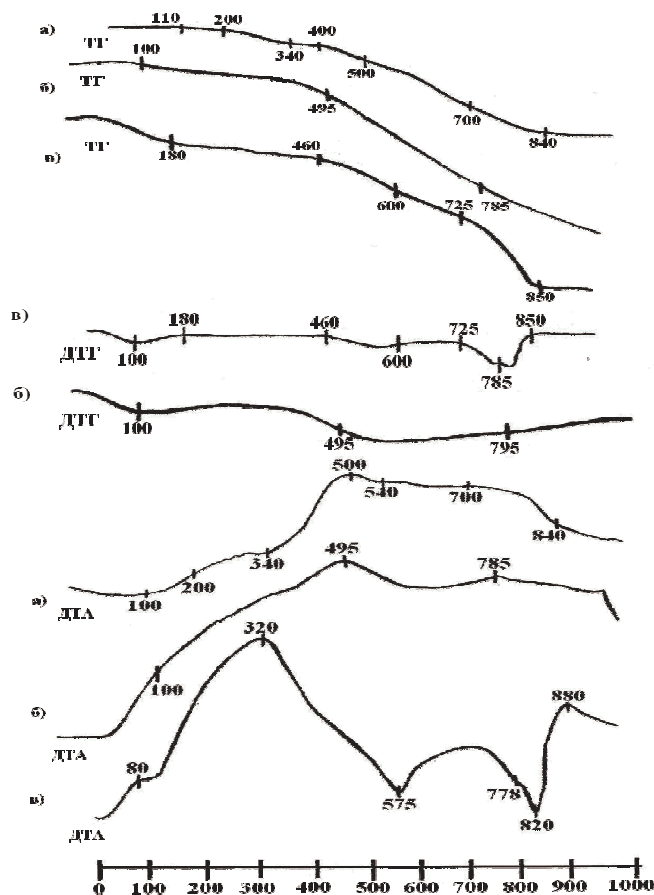


Рис. 1. Дериватограммы: а — пыли электрофильтров; б — пыли газоочистки; в — суглинка Анзевинского месторождения

Исходные компоненты шихты изучались с применением химического, дериватографического (рис. 1), рентгенофазового (рис. 2) и порометрического анализов.

Рентгенофазовые исследования выполнены в КрасГАСА на рентгеновской установке ДРОН-3,0 (α — SiK-излучение) со скоростью движения счетчика 2 о/мин, диаграммной ленты — 720 мм/ч, с отметкой через 1о. Рентгенофазовый анализ свидетельствует о том, что ПГО состоит преимущественно из рентгеноаморфной фазы. Кристаллическая фаза присутствует в незначительном количестве и представлена кристаллическим кремнием ($d = 0,334$ нм) и карборундом ($d = 0,251$ нм).

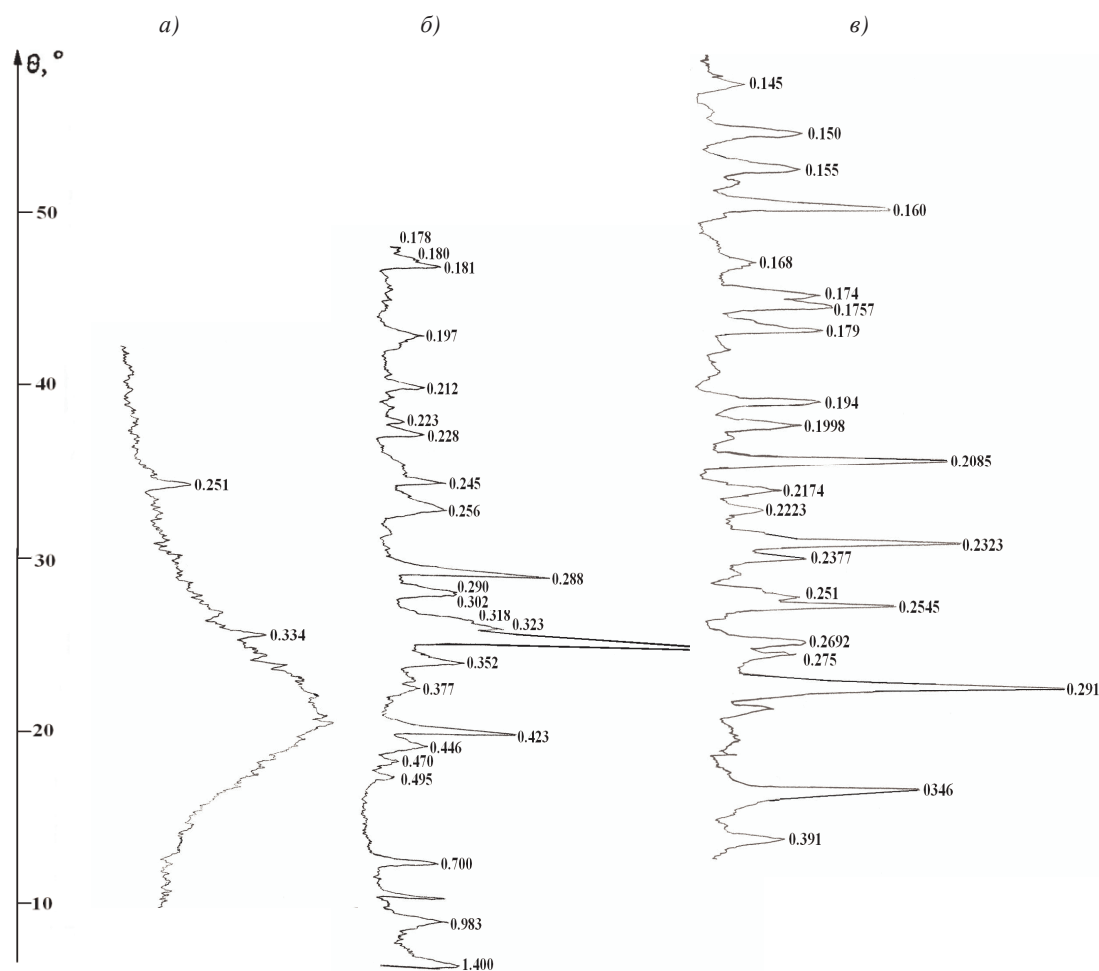


Рис. 2. Рентнограммы: а — пыли газоочистки; б — суглинка Анзебинского месторождения; в — пыли электрофильтров

Дериватографические исследования ПГО показывают экзотермический эффект в широком температурном интервале (380...755 °С) с потерей массы, связанный с выгоранием тонкодисперсного углеродистого вещества.

Для Анзебинского суглинка методом рентгенофазового анализа установлено присутствие доломита ($d = 0,178; 0,288$ нм), кварца ($d = 0,181; 0,197; 0,212; 0,223; 0,228; 0,245$ нм), иллита ($d = 0,256; 0,446; 0,495; 0,983$ нм), кальцита ($d = 0,302$ нм), хлорита ($d = 0,256; 0,352; 0,470; 0,700; 1,400$ нм) и полевых шпатов ($d = 0,318; 0,323; 0,377$ нм).

Рентгенофазовым анализом установлено содержание в составе ШГО криолита — Na_3AlF_6 (0,157; 0,160; 0,194; 0,348 нм); хиолита — $\text{Na}_5\text{Al}_2\text{F}_{14}$ (0,179; 0,199; 0,217; 0,290 нм); глинозема — Al_2O_3 (0,174; 0,208; 0,237; 0,254 нм) и гематита (0,169; 0,252; 0,269 нм).

Проба ШГО последовательно подвергалась термической обработке при температурах от 200 до 1 000 °С. Анализ изменения фазового состава показывает, что до 800 °С происходит снижение интенсивности рефлекса глинозема ($d/n = 0,348$ нм). Термическая деструкция криолита ($d/n = 0,387$ нм) наблюдается при температуре 400...600 °С. При этом отмечено увеличение интенсивности рефлекса, соответствующего криолиту, что, вероятно, обусловлено термическим разложением хио-

лита $3\text{Na}_5\text{Al}_2\text{F}_{14} \rightarrow 5\text{Na}_3\text{AlF}_6 + 4\text{AlF}_3$. При 800 °С рефлекса, характерного для хиолита, не обнаружено.

На кривой ТГ зафиксировано равномерное снижение массы до температуры 840 °С. На кривой ДТА выявлено три эндоэффекта:

- эндоэффект в интервале 80...100 °С свидетельствует об удалении адсорбционной воды, при этом потери по массе составляют 2,9 % при нагревании с постоянной скоростью до 700 °С;

- эндоэффект с максимумом при 340 °С, очевидно, можно отнести к структурной перестройке, так как, по данным РФА, наблюдается снижение рефлексов глинозема, криолита, хиолита. При нагревании до 400 °С суммарные потери по массе составляют 18 %;

- экзоэффект при 400...840 °С указывает на процесс выгорания органической графитизированной составляющей. При нагревании от 400 до 700 °С потери по массе составляют 57,1 %, от 700 до 840 °С — 22 %.

Сочетание высокоактивного кремнеземистого компонента (ПГО) с суглинком позволяет связать продукты термического разложения карбонатов (CaO и MgO) в полезные силикатные и алюмосиликатные новообразования, устранив таким образом их негативное влияние в виде высолов на поверхности изделия и появления трещин в процессе обжига. Создание парогазовой среды при дегидратации глинистых минералов (иллита,

хлорита) и разложении карбонатных примесей является благоприятным фактором для развития процессов структурообразования. Также добавка суглинка способствует более полному выгоранию органики в шихте [15–17].

В свою очередь добавка ШГО за счет минеральной составляющей способствует интенсификации спекания. Присутствие в составе этих отходов органических примесей наряду с активными флюсующими компонентами позволяет прогнозировать комплексное воздействие добавки при обжиге и, как следствие, значительное снижение температуры спекания.

Изначально для выявления процесса формирования свойств керамических материалов в качестве сырья использовалось ПГО. При этом в лабораторных исследованиях изучение свойств материала проводилось методом полусухого прессования на образцах-цилиндрах диаметром 40 мм, влажность порошка составляла 18 %. Физико-технические характеристики образцов представлены на рис. 3–6.

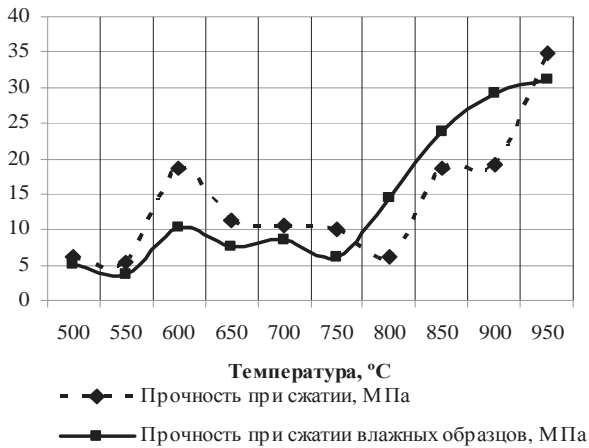


Рис. 3. Зависимость прочности при сжатии обожженных и влажных образцов от температуры обжига

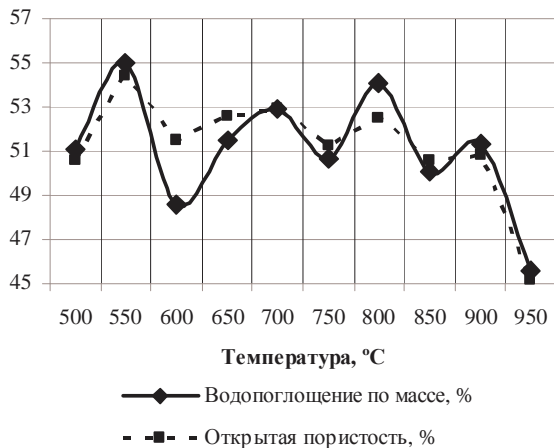


Рис. 4. Зависимость водопоглощения и открытой пористости образцов от температуры обжига

Материал на основе ПГО характеризуется низкой средней плотностью ($970...1060 \text{ кг/м}^3$), повышенными значениями водопоглощения ($45,61...54,98 \%$) и открытой пористости ($45,15...52,94 \%$). Это обусловлено

развитой исходной микропористостью кластерных частиц микрокремнезема и относительно высоким содержанием в отходе органических примесей.

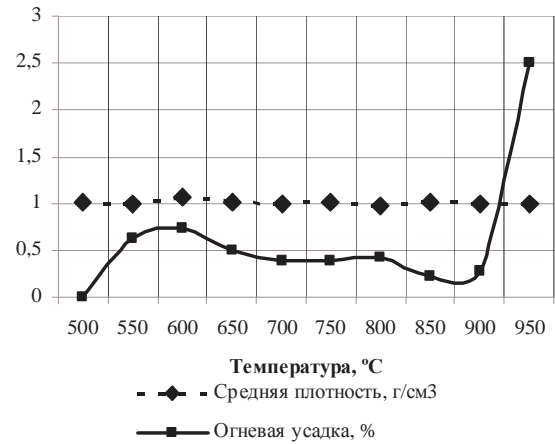


Рис. 5. Зависимость средней плотности и температуры усадки образцов от температуры обжига

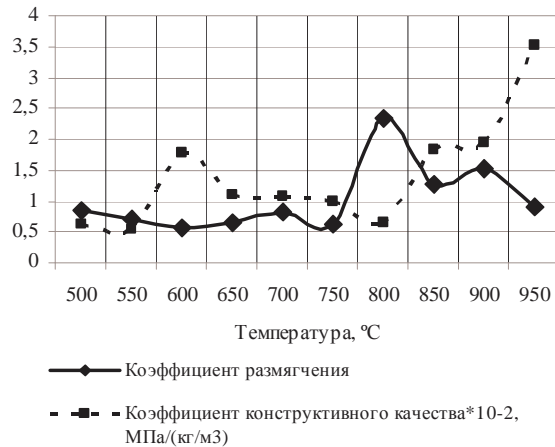


Рис. 6. Зависимость коэффициента размягчения и коэффициента конструктивного качества образцов от температуры обжига

Снижение водопоглощения и открытой пористости наблюдается при $950 \text{ }^\circ\text{C}$, что связано с накоплением расплава и развитием огневой усадки. Следует отметить, что на образцах, термообработанных в диапазоне температур $750...950 \text{ }^\circ\text{C}$, зафиксировано образование трещин.

Устранение дефектов и регулирование физико-технических свойств в образцах возможно за счет использования вышеперечисленных добавок: закарбонизованного суглинка и ШГО.

На следующем этапе исследований для установления взаимосвязи между соотношением компонентов в сырьевой смеси (ПГО, ШГО и суглинка), температурой обжига и свойствами было использовано математическое планирование эксперимента. Исследования проводились в соответствии с математическим планом Бокс-3 с помощью программы «Model», где предусматривалось варьирование трех факторов на трех уровнях. Уровни и факторы варьирования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Уровни и факторы варьирования

Уровень варьирования	Нижний, $X_i \min$	Средний, $X_i 0$	Верхний, $X_i \max$	Интервал варьирования
Кодированное значение	-1	0	1	-
Количество суглинка в шихте, масс. % X1	15	22,5	30	7,5
Количество ШГО в шихте, масс. % X2	5	10	15	5
Температура обжига материала, °С X3	800	875	950	75

В качестве откликов фиксировались: средняя плотность, прочность при сжатии, прочность при сжатии во влажном состоянии, водопоглощение по массе, общая пористость, открытая и закрытая пористость, огневая и общая усадка, коэффициент размягчения, коэффициент конструктивного качества. Результаты эксперимента представлены в табл. 3.

Анализ влияния добавки закарбонизованного суглинка указывает на то, что расход суглинка существенно не влияет на водостойкость материала, полученного обжигом при температуре 875...950 °С. Снижение расхода суглинка до 15 масс. % снижает водостойкость материала, обожженного при 800 °С.

Таблица 3

Отклики эксперимента

Содержание суглинка в шихте, %	Содержание ПЭФ в шихте, %	Температура обжига, °С	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа		Водопоглощение, масс. %	Пористость, %			Коэффициент размягчения	Коэффициент конструктивного качества, ККК * 10 ⁻³ , МПа/(кг/м ³)	Усадка, %	
				в сухом состоянии	в водонасыщенном состоянии		общая	открытая	закрытая			огневая	общая
30	15	950	1 382	23,52	24,85	19,92	57,50	27,53	29,97	1,06	17,02	6,80	6,80
15	15	950	1 238	14,04	13,48	27,6	56,56	34,17	22,39	0,96	11,34	4,69	4,69
30	5	950	1 234	23,35	23,28	30,09	46,21	37,13	9,08	1,00	18,92	2,72	2,72
15	5	950	1 164	17,56	16,85	28,03	46,01	32,94	13,07	0,96	15,10	3,21	3,21
30	15	800	1 083	14,61	19,22	43,67	52,65	47,29	5,36	1,32	13,49	0,76	0,89
15	15	800	1 080	18,21	19,98	40,06	51,93	42,82	9,11	1,10	16,72	1,16	1,16
30	5	800	1 163	18,85	15,20	37,71	58,45	43,86	14,56	0,80	16,21	0,90	0,90
15	5	800	1 128	29,76	20,35	38,73	55,30	43,69	11,61	0,68	26,38	0,74	0,74
22,5	10	800	1 172	40,03	36,54	37,00	40,50	34,48	6,02	0,91	34,15	1,06	1,06
22,5	10	950	1 265	13,37	14,82	27,26	56,30	43,36	12,91	1,11	10,57	4,40	4,47
22,5	5	875	1 179	25,91	33,59	34,70	43,72	40,91	2,81	1,30	21,98	1,23	1,23
22,5	15	875	1 210	19,60	20,87	32,30	53,35	39,03	14,32	1,06	16,19	2,96	2,96
30	10	875	1 253	31,96	27,09	30,65	50,40	38,40	12,09	0,85	25,51	1,38	1,38
15	10	875	1 149	25,98	29,94	37,40	62,12	42,97	19,15	1,15	22,61	1,85	1,85
22,5	10	875	1 200	32,15	26,90	31,90	48,94	45,48	3,46	0,84	26,79	1,48	1,48

Содержание суглинка по-разному действует на прочностные характеристики образцов. Так, в высокотемпературной области при максимальном содержании ШГО с увеличением расхода суглинка наблюдается упрочнение черепка.

Напротив, в низкотемпературной области и при минимальном содержании ШГО с увеличением расхода суглинка наблюдается снижение прочности

Наиболее высокие и стабильные прочностные показатели обеспечиваются, независимо от расхода суглинка, при сочетании двух других факторов среднего уровня — расхода ШГО и температуры обжига. Анало-

гичные тенденции отмечаются для коэффициента конструктивного качества.

Чувствительность к дозировке суглинка в высокотемпературной области подтверждается повышением средней плотности и огневой усадки с увеличением содержания суглинка.

При этом выявлено снижение водопоглощения, открытой пористости и увеличение закрытой пористости. Минимальные значения этих показателей обеспечиваются при содержании суглинка в шихте 20...25 масс. %.

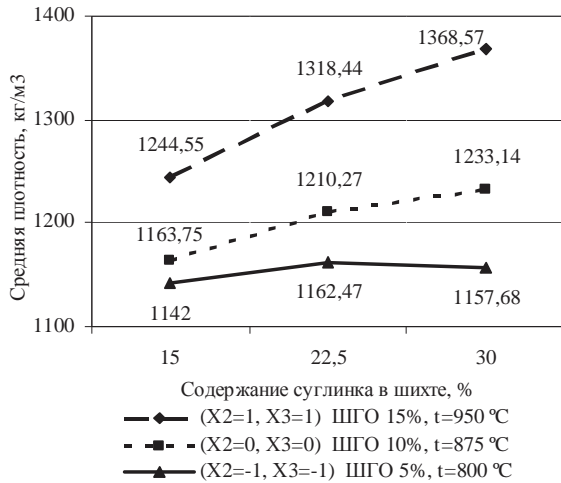


Рис. 7. Зависимость средней плотности от содержания суглинки в шихте

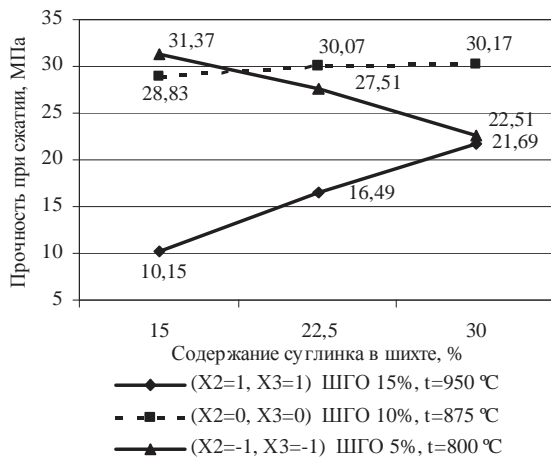


Рис. 8. Зависимость прочности при сжатии от содержания суглинки в шихте

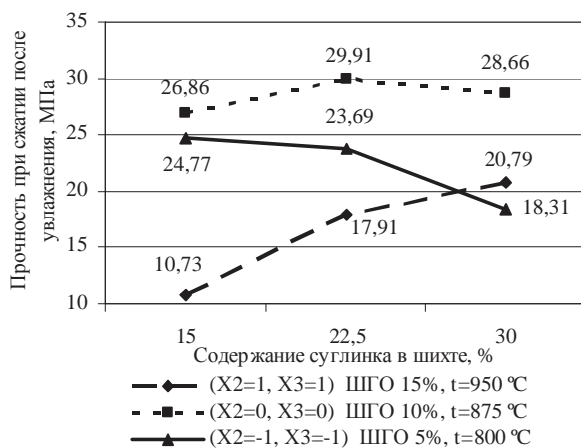


Рис. 9. Зависимость прочности при сжатии после увлажнения от содержания суглинки в шихте

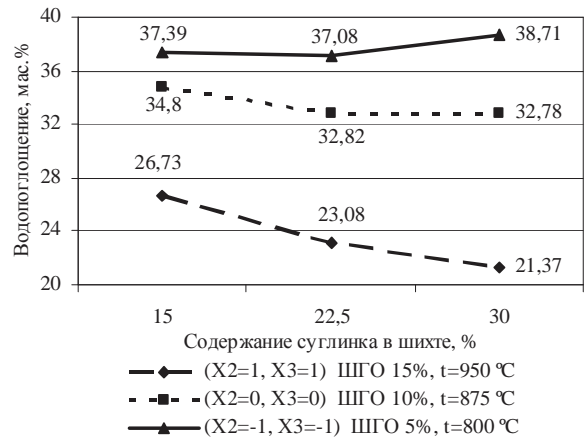


Рис. 10. Зависимость водопоглощения от содержания суглинки в шихте

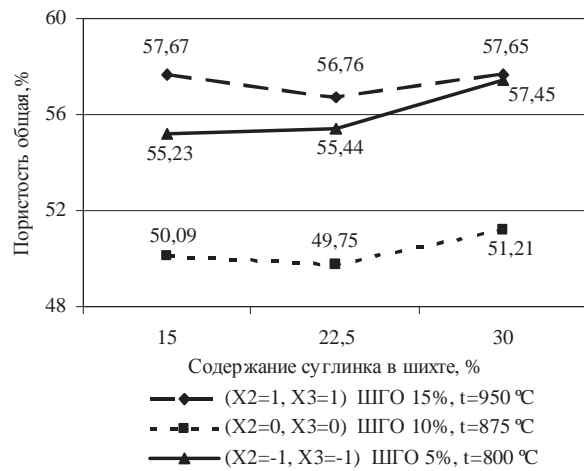


Рис. 11. Зависимость общей пористости от содержания суглинки в шихте

Исследования показали, что расход ШГО влияет на гидравлическую активность (коэффициент размягчения) силикатной матрицы, обожженной при 800...875 °C. Увеличение содержания ШГО до 15 масс. % обеспечивает упрочнение обожженного материала после увлажнения на 10...22 %.

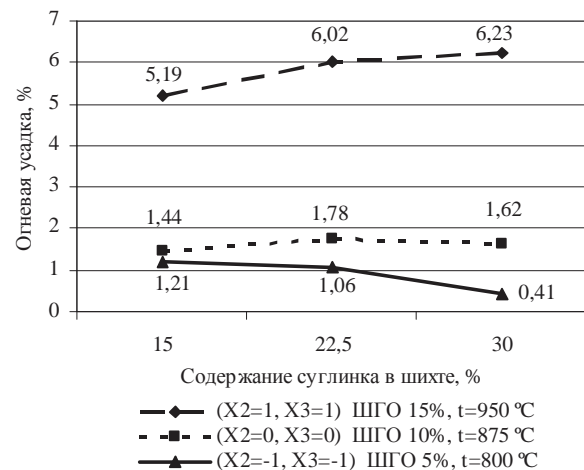


Рис. 12. Зависимость огневой усадки от содержания суглинки в шихте

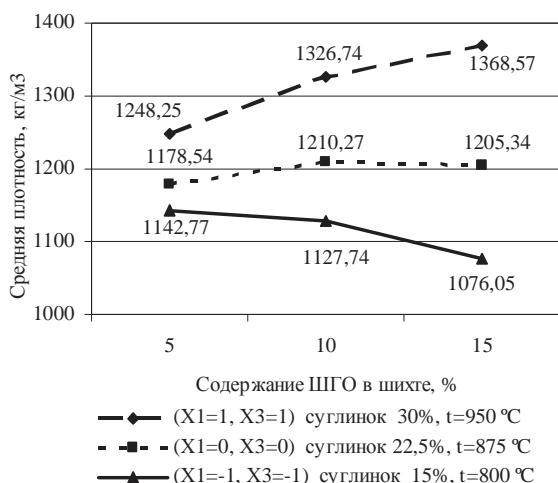


Рис. 13. Зависимость средней плотности от ШГО в шихте

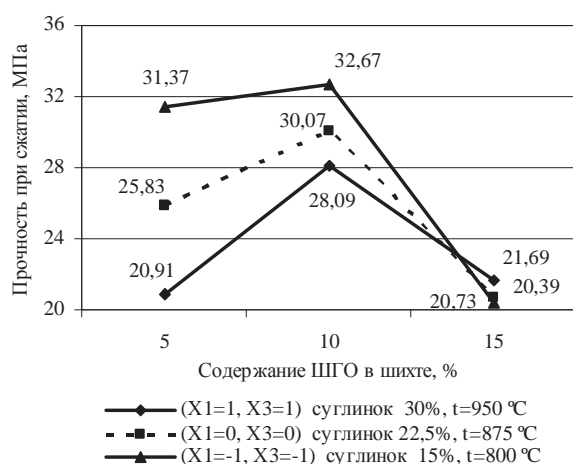


Рис. 14. Зависимость прочности при сжатии от содержания ШГО в шихте

Изменение прочностных характеристик имеет экстремальный характер. Наибольшая прочность достигается при содержании в шихте 10 масс. % ШГО. Выявлены большие колебания прочностных характеристик при низких расходах ШГО. Увеличение расхода ШГО в высокотемпературной области (950 °C) приводит к уплотнению, в низкотемпературной (800 °C) — к разрыхлению структуры материала.

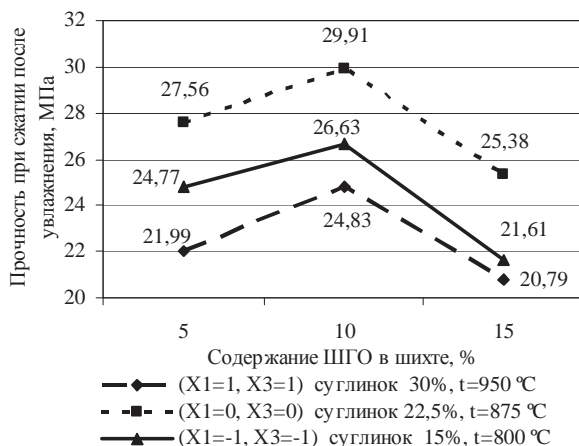


Рис. 15. Зависимость прочности при сжатии после увлажнения от содержания ШГО в шихте

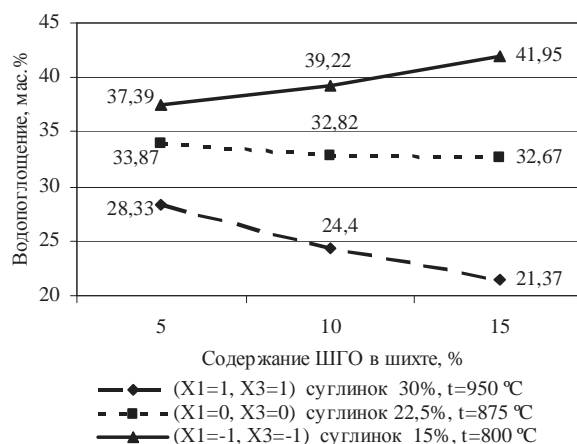


Рис. 16. Зависимость водопоглощения от содержания ШГО в шихте

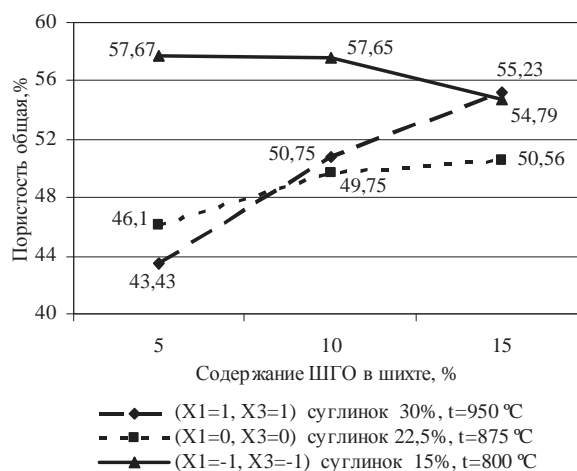


Рис. 17. Зависимость общей пористости от содержания ШГО в шихте

Вышесказанное обусловлено особенностью процессов спекания. Так, при температуре 950 °C отмечены снижения водопоглощения и рост огневой усадки, свидетельствующие о накоплении жидкой фазы. В низкотемпературной области образцы имеют максимальное водопоглощение (37...42 масс. %) и незначительную огневую усадку (0,82...1,21 %).

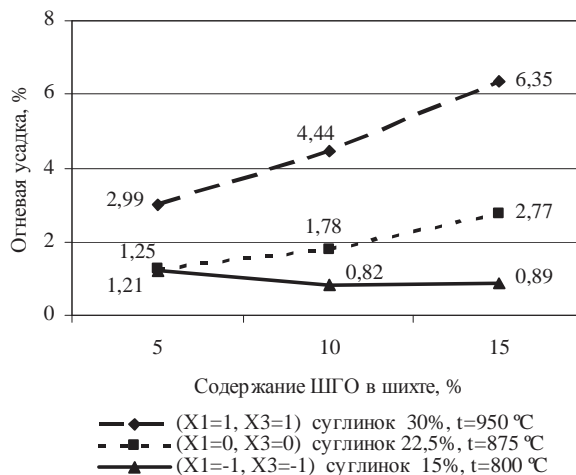


Рис. 18. Зависимость огневой усадки от содержания ШГО в шихте

Трехкомпонентная шихта «микрокремнезем + суглинок + пыль электрофильтров» при пониженном расходе ШГО более чувствительна к увеличению температуры обжига. Очевидно, для таких смесей меньшая плотность упаковки частиц обеспечивает более полное выгорание органической составляющей и приводит к снижению прочности.

В высокотемпературной области при максимальном содержании ШГО с увеличением расхода суглинка наблюдается упрочнение черепка. Напротив, в низкотемпературной области и при минимальном содержании ШГО с увеличением расхода суглинка наблюдается снижение прочности.

В результате данного эксперимента установлено, что из сырьевой смеси «ПГО: суглинок: ШГО = 70: 30: 15» в лабораторных условиях при температуре обжига 800 °С получен кремнеземистоглиняный материал, который характеризуется относительно низкой средней плотностью ($1\ 083\ \text{кг/м}^3$) и повышенным коэффициентом размягчения (1,32). Прочность при сжатии — 14,6 МПа (прогнозируемая марка по прочности 75). Морозостойкость материала соответствует марке F25, несмотря на высокое водопоглощение (43,7 масс. %) и открытую пористость (47,3 %).

Литература

1. Салахов А.М., Загидуллина Г.М., Салахова Р.А. Снижение энергоёмкости керамического производства – путь повышения конкурентоспособности // Строительные материалы. 2009. № 4. С. 68-69.
2. Мустафин Н.Р. Фазовые превращения при формировании керамики на основе алмосодержащих отходов химического производства и кремнеземистого сырья // Строительные материалы 2006. № 4. С. 24-25.
3. Каприелов С.С. Шейнфельд А.В. Твердоступов А.И., Телков Ю.Ф. Использование отходов производства ферросплавов // Shahin construction. 1990. № 9. С. 26-28.
4. Kirkbrid T.W., Helland S. Condensed silica fume in concrete / Federation Internationael de la Precontrainte, London, 1988. 32 с.
5. Yang Huamin // Shanghai Jinshu – Sangai Metals. 1994. № 4. P. 33-37.
6. Qiu Zhuxiau Production of Al-Si-Fe alloy for deoxidizer in steelmaking // Buii. Electrochem. 1991. Vol. 7. № 7. P. 317, 318.
7. Нехорошев А.В., Цителаури Г.И., Хлебниек Е., Жадамбаа Ц. Ресурсосберегающие технологии керамики, силикатов и бетонов. Структурообразование и тепловая обработка. М.: Стройиздат, 1991. 488 с.
8. Barta R. O reakcich v tuhen stavu // Silikaty. 1959. № 3. P. 23-25.
9. Лохова Н.А., Макарова И.А., Макарова А.Л. Влияние шламового отхода алюминиевого производства на структурообразование глино-кремнеземистого керамического материала. Системы. Методы. Технологии. 2013. № 4 (20). С.109-113.
10. Патраманская С.В., Лохова Н.А., Макарова И.А. Ресурсосберегающие материалы на основе микрокремнезема // Труды НГАСУ. Новосибирск, 2003. Т. 6, № 2 (23). С. 73-78.
11. Лохова Н.А. Морозостойкие строительные керамические материалы и изделия на основе кремнеземистого сырья: моногр. Братск: БрГУ, 2009. 268 с.
12. Макарока И.И., Гура З.А. Николаева Е.А. Короленко О.Н., Лихачева А.В. Получение гидратированной керамики на основе микрокремнезема и закарбонизованного суглинка // Труды Братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. 2006. Т. 2. С 361-366.
13. Шарова В.В., Лохова Е.А., Подвольская Е.А., Сенчик Е.Б. Зола от сжигания Ирша-Бородинских углей и микро-

кремнезем как сырье для производства строительных материалов // Изв. вузов. Строительство. 1999. № 4. С. 55-59.

14. Лохова Н.А., Макарова И.А., Патраманская С.В. Обжиговые материалы на основе микрокремнезема: моногр. Братск: БрГТУ, 2002. 163 с.

15. Лиокумович Л.М. Обжиг кирпича с водяным орошением в зоне высоких температур // Строительные материалы. 1959. № 5. С. 23-25.

16. Варламов В.П. Жукова Э.М. Влияние низковязких минерализаторов на свойства керамических материалов // Строительные материалы. 1985. № 10. С. 22.

17. Волкова О.Е. Лохова И.А., Макарова И.А., Рубайло И.С. Особенности фазового состава и свойств керамического материала на основе микрокремнезема и глиежей // Изв. вузов. Строительство. 2000. № 7-8. С. 52-56.

References

1. Calakhov A.M., Zagidullina G.M., Salakhova R.A. Reducing the energy consumption of ceramic production - way to increase the competitiveness // Stroitel'nye Materialy. 2009. № 4. P. 68-69.
2. Mustafin N.R. Phase transformations in the formation of ceramic based on aluminum-containing waste chemical production and raw materials silica // Stroitel'nye Materialy 2006. № 4. P. 24-25.
3. Kaprielov S.S., Sheinfel'd A.V., Tverdstupov A.I., Telkov Yu.F. The use of waste products ferroalloys // Shahin construction. 1990. № 9. P. 26-28.
4. Kirkbrid T.W., Helland S. Condensed silica fume in concrete / Federation Internationael de la Precontrainte, London, 1988. 32 p.
5. Yang Huamin // Shanghai Jinshu - Sangai Metals. 1994. № 4. P. 33-37.
6. Qiu Zhuxiau. Production of Al-Si-Fe alloy for deoxidizer in steelmaking // Buii. Electrochem. 1991. Vol. 7. № 7. P. 317, 318.
7. Nekhoroshev A.V., Tsitelauri G.I., Kheblionek E., Zhadamba Ts. Resource saving technology of ceramics, concrete and silicates. Pattern formation and heat treatment. M.: Stroizdat, 1991. 488 p.
8. Barta R. O reakcich v tuhen stavu // Silikaty. 1959. № 3. P. 23-25.
9. Lokhova N.A., Makarova I.A., Makarova A.L. Influence of sludge waste of aluminum production on the structure of clay-silica ceramic material // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2013. № 4 (20). P. 109-113.
10. Patramanskaya S.V., Lokhova N.A., Makarova I.A. Resource materials on the basis of silica fume // Trudy NGASU. Novosibirsk, 2003. T. 6, № 2 (23). P. 73-78.
11. Lokhova N.A. Frost-resistant ceramic construction materials and products based on the siliceous raw material: monogr. Bratsk: BrGU, 2009. 268 p.
12. Makaroka I.I., Gura Z.A., Nikolaeva E.A., Korolenko O.N., Likhacheva A.V. Getting hydrated silica fume-based ceramics and carbonized loam // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Estestvennye i inzhenernye nauki - razvitiyu regionov Sibiri. 2006. T. 2. P. 361-366.
13. Sharova V.V., Lokhova E.A., Podvol'skaya E.A., Senchak E.B. Ash from burning Irsha-Borodino coal and silica fume as a raw material for the production of building materials // News of higher educational institutions. Construction. 1999. № 4. P. 55-59.
14. Lokhova N.A., Makarova I.A., Patramanskaya S.V. Kilns materials based on silica fume: monogr. Bratsk: BrGTU, 2002. 163 p.
15. Liokumovich L.M. Firing bricks with water irrigation in high temperature zone // Stroitel'nye Materialy. 1959. № 5. P. 23-25.
16. Varlamov V.P., Zhukova E.M. Effect of low viscosity mineralizing on the properties of ceramic Materials // Stroitel'nye materialy. 1985. № 10. P. 22.
17. Volkova O.E., Lokhova I.A., Makarova I.A., Rubailo I.S. Features of phase composition and properties of the ceramic material on the basis of silica fume and gliezhey // News of higher educational institutions. Construction. 2000. № 7-8. P. 52-56.