

Известия вузов. Строительство. 2023. № 2. С. 25–35.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2023; (2): 25–35.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 691.421–431:666.31

DOI: 10.32683/0536-1052-2023-770-2-25-35

ПРОЦЕССЫ В КИРПИЧЕ НА ОСНОВЕ НЕКОНДИЦИОННОЙ ГЛИНЫ И АЛЮМОЩЕЛОЧНОГО ШЛАМА В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР 1000–1100 °С

Владимир Закирович Абдрахимов

Самарский государственный экономический университет, Самара, Россия

Аннотация. Исследования показывают, что во многих регионах России значительно уменьшилось количество кондиционного глинистого сырья и эффективных отошителей ($Al_2O_3 > 15\%$), поэтому возникла необходимость найти пути и способы замены их на некондиционное сырье, но с привлечением отходов производств, содержащих $Al_2O_3 \geq 50\%$. Получен кирпич М150–М175 на основе некондиционной (легкоплавкой бейделлитовой глины) с применением отхода химического производства – алюмощелочного шлама, образующегося при очистке стоков производств этил- и изопропилбензола в качестве отошителя. При температуре обжига керамического материала 1000 °С появились гематит, анортит, стеклофаза, диопсид и кристобалит. Увеличение температуры обжига до 1050 °С к особым изменениям не приводит, за исключением повышения содержания кристобалита, анортита, стеклофазы и диопсида. Дальнейшее увеличение температуры обжига сейсмостойкого кирпича до 1100 °С способствует появлению муллита, который упрочняет керамический черепок.

Ключевые слова: сейсмостойкий кирпич, некондиционная глина, алюмощелочной шлам, анортит, стеклофаза, диопсид, муллит

Для цитирования: Абдрахимов В.З. Процессы в кирпиче на основе некондиционной глины и алюмощелочного шлама в интервале температур 1000–1100 °С // Известия вузов. Строительство. 2023. № 2. С. 25–35. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-770-2-25-35.

Original article

PROCESSES IN BRICK BASED ON SUBSTANDARD CLAY AND ALUMINUM-ALKALINE SLUDGE IN THE TEMPERATURE RANGE 1000–1100 °C

Vladimir Z. Abdrakhimov

Samara State University of Economics, Samara, Russia

Abstract. The conducted studies show that in many regions of Russia the quantities of conditioned clay raw materials and effective cleaners have significantly decreased ($Al_2O_3 > 15\%$), therefore it became necessary to find ways to replace them with substandard raw materials, but with the involvement of waste products containing $Al_2O_3 \geq 50\%$. Brick M150–M175 was obtained on the basis of substandard (low-melting beidellite clay) with the use of chemical production waste – aluminum-alkali sludge formed during the purification of effluents of ethyl and isopropylbenzene production as a thinner. At the ceramic material firing

temperature of 1000 °C, hematite, anorthite, glass phase, diopside and cristobalite appeared. An increase in the firing temperature to 1050 °C does not lead to any special changes, except for an increase in the content of cristobalite, anorthite, glass phase and diopside. A further increase in the firing temperature of earthquake-resistant bricks to 1100 °C contributes to the appearance of mullite, which strengthens the ceramic shard.

Keywords: earthquake-resistant brick, substandard clay, alumina slurry, anorthite, glass phase, diopside, mullite

For citation: Abdrakhimov V.Z. Processes in brick based on substandard clay and aluminum-alkaline sludge in the temperature range 1000–1100 °C. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2023; (2): 25–35. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2023-770-2-25-35.

Введение. В работах [1, 2] была показана принципиальная возможность получения кирпича М150–М175 на основе некондиционной глины и отходов производств. Следует отметить, что на территории с повышенной сейсмичностью для кладки самонесущих и несущих стен согласно п. 6. СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах» необходимо использовать керамические камни и кирпичи марки М125 и выше. Такой кирпич применяют на тех строительных площадках, где сейсмичность превышает 5 баллов [1, 3].

К некондиционным глинам относятся глины, из которых невозможно получить без различных добавок керамический кирпич марки М125 и выше. Эти глины содержат оксид алюминия не более 15 % ($Al_2O_3 \leq 15\%$). Добавка в керамические массы из некондиционных глин отходов химической промышленности, содержащих Al_2O_3 более 50 %, позволяет получить сейсмостойкий кирпич марки М150 и выше.

Цель работы. На основе некондиционной бейделлитовой глины и высокоглиноземистого отхода химической промышленности – алюмощелочного шлама, образующегося при очистке стоков производств этил- и изопропилбензола, получить сейсмостойкий кирпич с высокими физико-механическими показателями и исследовать процессы, происходящие при обжиге его в интервале температур 1000–1100 °C.

Методика исследования. Поэлементный анализ и электронное фотографирование исследуемых образцов производили с помощью растрового электронного микроскопа JSM 6390A фирмы Jeol, Япония [4]. С использованием иммерсионных жидкостей, прозрачных шлифов и аншлифов под микроскопом МИН-8 и МИН-7 проводили петрографические исследования, а с помощью рентгенодифрактометрического анализа исследовали качественный минералогический (фазовый) состав образцов на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с $Cu_{K\alpha}$ -излучением, β -фильтр. На спектрофотометре “Spekord-75JR” были получены ИК-спектры поглощения. Приготовление образцов осуществлялось в виде суспензии порошка с вазелиновым маслом. Сведения о минералообразовании в образцах получены с помощью электронного микроскопа ЭМБ-100БР методом «реплик» на просвет.

Постановка задачи. В XXI в. в России значительно уменьшилось количество кондиционного глинистого сырья и эффективных отошителей ($Al_2O_3 > 15\%$), поэтому возникла необходимость найти пути и способы замены их на некондиционное сырье с привлечением отходов производств, содержащих $Al_2O_3 \geq 50\%$.

Таблица 1. Химический состав компонентов, мас. %

Table 1. Chemical composition of components, mas. %

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃	П.п.п.
Бейделлитовая глина	56,38	14,46	8,52	2,75	1,82	3,73	1,82	9,42
Алюмощелочной шлам	5,85	63,10	0,96	4,45	4,24	17,60	–	4,30

Таблица 2. Элементный химический состав сырьевых компонентов, мас. %

Table 2. Elemental chemical composition of raw materials, mas. %

Компонент	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Бейделлитовая глина	7,73	50,06	0,46	1,04	7,20	17,70	1,45	2,05	3,35
Алюмощелочной шлам	–	47,28	9,82	2,83	25,85	3,44	7,43	3,12	0,23

Необходимо провести комплексное исследование сырьевых компонентов: химический состав, усредненный оксидный и поэлементный состав, определить минералогический состав и микроструктуру. Подобрать составы для получения керамических материалов и установить оптимальный состав для получения сейсмостойкого кирпича. Выяснить влияние алюмощелочного шлама на физико-механические показатели. Исследовать процессы, происходящие при обжиге изделий в интервале температур 1000–1100 °С, для определения фазового состава.

Результаты исследования. Сырьевые материалы. Для получения сейсмостойкого керамического кирпича и исследования его фазового состава использовались в качестве связующего бейделлитовая легкоплавкая глина Образцовского месторождения Самарской области, в качестве алюмосодержащего отощителя – алюмощелочной шлам, образующийся при очистке стоков производств этил- и изопропилбензола. Химический состав сырьевых компонентов (оксидный и поэлементный) приведен в табл. 1, 2. Микроструктура сырьевых компонентов представлена на рис. 1, а минералогический состав на рис. 2.

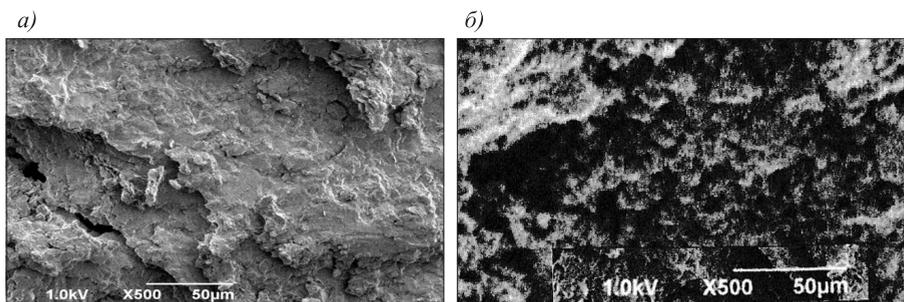


Рис. 1. Микроструктура сырьевых компонентов бейделлитовой глины (а) и алюмощелочного шлама (б)

Микроструктура получена с помощью растрового электронного микроскопа JSM 6390A. Увеличение $\times 500$

Fig. 1. Microstructure of raw components of beidellite clay (a) and aluminum-alkali sludge (b)

The microstructure was performed using a scanning electron microscope JSM 6390A. Increase $\times 500$

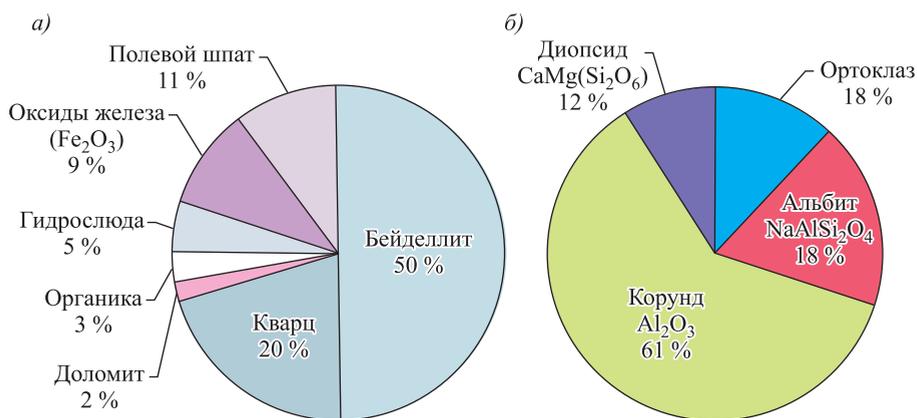


Рис. 2. Минералогический состав бейделлитовой глины (а) и алюмощелочного шлама (б)

Fig. 2. Mineralogical composition of beidellite clay (a) and aluminum-alkali sludge waste (b)

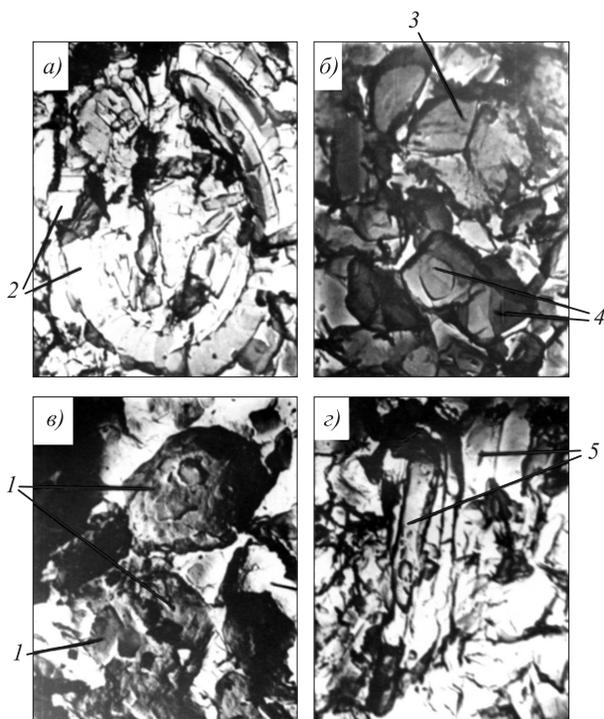


Рис. 3. Микроструктура образцовской бейделлитовой глины

1 – бейделлит; 2 – органические включения; 3 – полевой шпат; 4 – кварц; 5 – гидрослюда
Увеличение а, в $\times 10\,000$; б, г $\times 8000$

Fig. 3. Microstructure of Obratsovskaya beidellite clay

1 – beidellite; 2 – organic inclusions; 3 – feldspar;
4 – quartz; 5 – hydrosluda
Increase a, c $\times 10\,000$; b, d $\times 8000$

Бейделлитовая глина. Бейделлитовая глина Образцовского месторождения относится к группе среднедисперсного сырья по гранулометрическому составу. Она высокочувствительна к сушке, характеризуется высокой усадкой образцов. По пластичности (число пластичности 15–22) – среднепластичная.

Основным глинистым породообразующим минералом исследуемого глинистого сырья является бейделлит (рис. 3) – $Al_2[Si_4O_{10}][OH]_2 \cdot nH_2O$, названный по местности Бейделл штата Колорадо (США) и относящийся к минералам группы монтмориллонита. По огнеупорности бейделлитовая глина (1320–1350 °С) легкоплавкая.

Бейделлитовая глина Образцовского месторождения относится к некондиционному сырью, так как непригодна для получения керамического кирпича. На рис. 4 представлен керамический кирпич из образцовской глины без добавок, обожженный на кирпичном заводе г. Тольятти в туннельной печи при температуре обжига 1000 °С.

Алюмощелочной шлам – отход химической промышленности – образуется после очистки стоков производств этил- и изопропилбензола от остаточного хлорида алюминия, который использовался как катализатор. Как видно из табл. 1 и 2, исследуемый шлам имеет повышенное содержание оксидов алюминия и щелочей, что будет способствовать спеканию сейсмостойкого кирпича в интервале температур 1050–1100 °С, в результате чего повысятся технические (физико-механические) показатели. Кроме того, алюмощелочной шлам имеет повышенную дисперсность (10 000–12 000), которая придает шламу число пластичности до 8–10 [5–7].

Получение сейсмостойкого кирпича и его свойства. Сырьевые компоненты бейделлитовая глина и алюмощелочной шлам по рецепту, представленному в табл. 3, измельчались до прохождения через сито 1 мм, затем тщательно перемешивались.

Из полученной шихты влажностью 20–22 % пластическим формованием изготавливали кирпич-сырец. Сформованные образцы высушивали в сушильном шкафу до остаточной влажности не более 5 %, затем в муфельной печи обжигали в интервале температур 1000–1100 °С. При конечной температуре делали изотермическую выдержку в течение 1 ч. Технические (физико-механические)

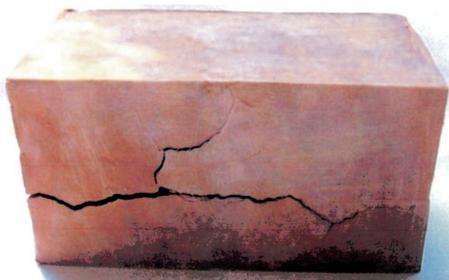


Рис. 4. Полнотельный кирпич из образцовской глины, обожженный при температуре 1000 °С

Fig. 4. Full-bodied brick made of Obraztsovskaya clay, fired at a temperature of 1000 °С

Таблица 3. Составы керамических масс, мас. %

Table 3. Compositions of ceramic masses, mas. %

Компонент	Состав			
	1	2	3	4
Бейделлитовая глина	100	80	70	60
Алюмощелочной шлам	–	20	30	40

Таблица 4. Технические показатели сейсмостойкого кирпича

Table 4. Technical indicators of earthquake-resistant bricks

Показатель	Состав			
	1	2	3	4
Температура обжига 1000 °С				
Механическая прочность при сжатии, МПа	8,8	12,8	13,8	13,8
Механическая прочность при изгибе, МПа	1,5	2,8	3,2	2,5
Морозостойкость, циклы	11	18	24	21
Термостойкость, 350 – вода 20 °С	1	2	5	4
Температура обжига 1050 °С				
Механическая прочность при сжатии, МПа	9,3	15,9	16,7	16,5
Механическая прочность при изгибе, МПа	1,8	3,0	3,4	2,9
Морозостойкость, циклы	14	38	45	43
Термостойкость, 350 – вода 20 °С	2	3	4	7
Температура обжига 1100 °С				
Механическая прочность при сжатии, МПа	11,1	16,8	18,4	17,7
Механическая прочность при изгибе, МПа	2,2	3,5	3,9	3,7
Морозостойкость, циклы	16	44	64	61
Термостойкость, 350 – вода 20 °С	2	3	8	8

показатели сейсмостойких обожженных керамических материалов представлены в табл. 4.

Данные табл. 4 подтверждают, что бейделлитовая глина является некондиционным сырьем и на ее основе сейсмостойкий кирпич без использования алюмосодержащих отощителей практически невозможно получить даже при обжиге сейсмостойкого кирпича в интервале температур 1050–1100 °С.

Для получения сейсмостойкого кирпича оптимальным является состав 3, содержащий 30 % алюмощелочного шлама. Поэтому фазовые превращения при обжиге в интервале 1000–1100 °С изучали на образцах состава 3. Рентгенограммы образцов состава 3 представлены на рис. 5, а ИК-спектры – на рис. 6.

Обсуждение результатов. Использование алюмощелочного шлама даже в количестве 20 % (состав 2, табл. 4) повышает технические показатели керамического кирпича до марочности М125. Оптимальное количество использования алюмосодержащего шлама не более 30 %, так как более высокое его содержание снижает технические показатели сейсмостойкого кирпича. Огнеупорность алюмощелочного шлама за счет повышенного содержания в нем оксида алюминия ($Al_2O_3 = 63,10\%$) более 1500 °С, поэтому при увеличении содержания шлама в составах керамических масс необходимо повысить и температуру обжига сейсмостойкого кирпича. В табл. 4 показано, что использование алюмосодержащего шлама в сейсмостойком кирпиче на основе некондиционного глинистого сырья позволяет получить кирпич из оптимального состава 3 марки М150–М175, обожженного в интервале температур 1050–1100 °С.

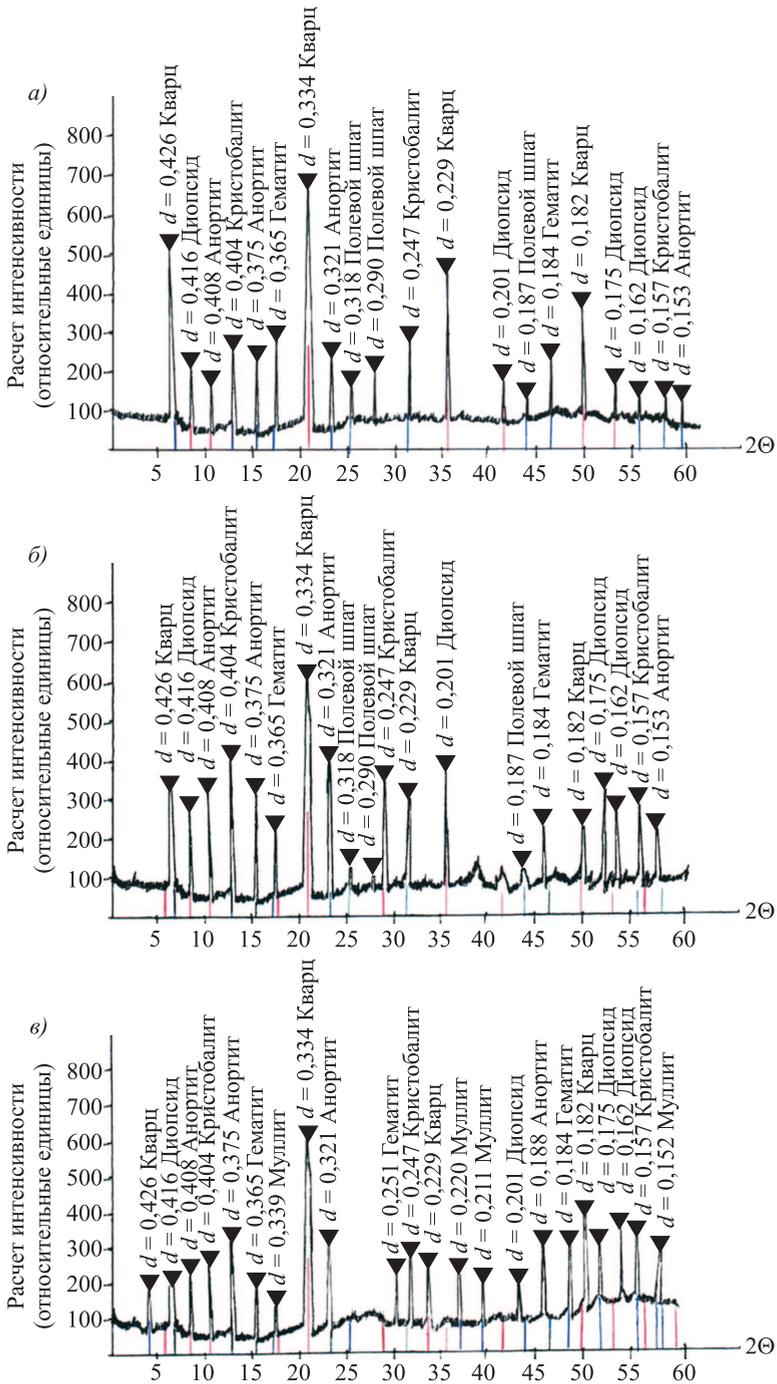


Рис. 5. Рентгенограммы образцов из оптимального состава, обожженных в интервале 1000–1100 °С
 а – 1000 °С; б – 1050 °С; в – 1100 °С

Fig. 5. Radiographs of samples from the optimal composition, burned in the range of 1000–1100 °С
 а – 1000 °С; б – 1050 °С; в – 1100 °С

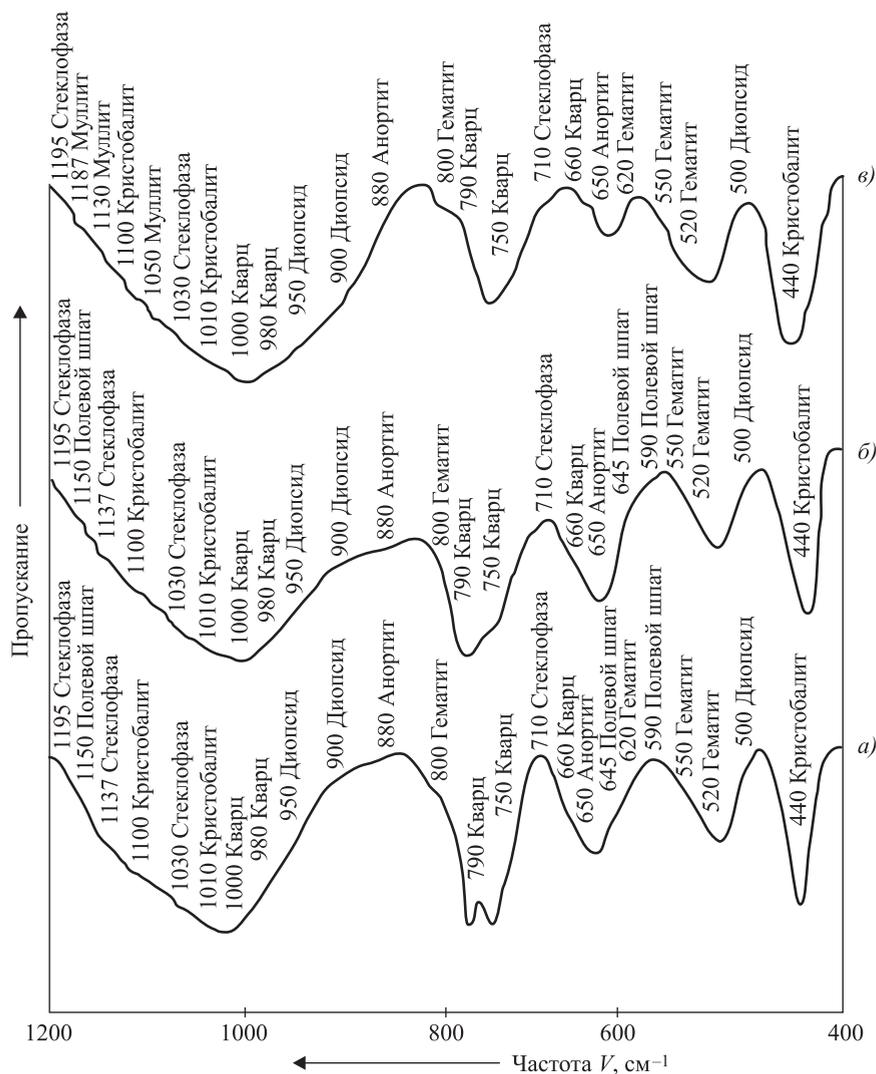


Рис. 6. ИК-спектры образцов из оптимального состава, обожженных в интервале 1000–1100 °С

а – 1000 °С; б – 1050 °С; в – 1100 °С

Fig. 6. IR spectra of samples from the optimal composition, burned in the range of 1000–1100 °С

а – 1000 °С; б – 1050 °С; в – 1100 °С

При температуре обжига 1000 °С в образцах из состава 3 на рентгенограмме отмечается появление новых минералов: кристобалита, анортита, гематита и диопсида (см. рис. 5, а). Образование новых минералов подтверждают и ИК-спектры (см. рис. 6, а). Кроме того, ИК-спектры показывают и появление при 1000 °С стеклофазы, которая, как правило, на рентгенограммах не обнаруживается.

Кальциевый полевой шпат анортит ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) в керамических материалах может находиться только в устойчивой модификации [7, 8]. В работах [9–11] было показано, что в керамических материалах на рост прочности положительное влияние оказывает анортит.

Гематит один из основных железистых минералов, способствующий появлению железистого в интервале температур 1050–1100 °С стекла, которое благоприятствует образованию муллита уже на ранних стадиях обжига (1100–1200 °С). Кристобалит не предполагает рост прочности керамических материалов, но увеличивает количество дефектов в кристаллической решетке, способствующее ускорению твердофазовых реакций. Диопсид предполагает, как показано в работе [12], получение высокопрочной строительной керамики в композиции с легкоплавкими глинами, причем при введении диопсида в сырье эффект упрочнения начинается в интервале температур 900–1050 °С [13].

Увеличение температуры обжига образца из оптимального состава до 1050 °С к особым изменениям практически не приводит, кроме повышения содержания кристобалита, анортита и диопсида (увеличение пиков на рентгенограмме) и уменьшения полевого шпата, очевидно, большая часть которого перешла в расплав.

На рентгенограмме при температуре обжига 1100 °С в образцах из оптимального состава 3 отмечается начало кристаллизации муллита ($d/n = 0,152; 0,211; 0,220; \text{ и } 0,339 \text{ нм}$), появление муллита при температуре обжига 1100 °С подтверждается и ИК-спектром. Кристаллизации муллита при обжиге керамических материалов придается особое значение, так как именно муллит сообщает необходимую прочность изделиям [14].

Выводы. 1. Многочисленные исследования показывают, что традиционные кондиционные качественные природные сырьевые материалы истощаются, поэтому в России необходимо изыскать способы замещения этого сырья на отходы производства.

2. В настоящей работе получен сейсмостойкий кирпич М150–М175 на основе некондиционной (легкоплавкой бейделлитовой глины) с применением отхода химического производства – алюмощелочного шлама, образующегося при очистке стоков производств этил- и изопропилбензола в качестве отощителя.

3. При температуре обжига 1000 °С у исследуемого образца из оптимального состава появились гематит, анортит, стеклофаза, диопсид и кристобалит. Увеличение температуры обжига до 1050 °С к особым изменениям не привело, за исключением повышения содержания кристобалита, анортита, стеклофазы и диопсида. Дальнейшее увеличение температуры обжига сейсмостойкого кирпича до 1100 °С способствует появлению муллита, который упрочняет керамический черепок.

Список источников

1. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Сейсмостойкий кирпич на основе межсланцевой глины и алюмосодержащего шлама производства металлического хрома // Новые огнеупоры. 2021. № 4. С. 53–57.
2. Кайракбаев А.К., Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Фазовый состав и физико-механические свойства при различных температурах обжига керамического сейсмостойкого кирпича с использованием ферропыли // Стекло и керамика. 2020. № 12. С. 45–50.
3. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Использование отходов нефтехимического производства и нефтедобычи в производстве сейсмостойкого кирпича // Нефтегазовое дело. 2021. № 3. С. 41–62.

4. *Кайракбаев А.К., Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С.* Процессы в керамическом материале на основе сырья с повышенным содержанием Fe_2O_3 в интервале температур 950–1050 °С. // *Стекло и керамика*. 2021. № 5. С. 44–51.
5. *Хлыстов А.И.* Жаростойкие бетоны на основе отходов промышленности Самарской области. Самара: АСА СамГТУ, 2017. 171 с.
6. *Хлыстов А.И., Соколова С.В., Баранова М.Н., Васильева Д.И., Холопов Ю.А.* Перспективы использования глиноземсодержащих отходов промышленности в производстве жаростойких бетонов // *Экология и промышленность России*. 2021. Т. 25, № 7. С. 8–12.
7. *Хлыстов А.И., Безгина Л.Н., Власов А.В., Линева А.И.* Получение комплексного жаростойкого вяжущего на основе алюмосиликатных и высокоглиноземистых отходов промышленности // *Огнеупоры и техническая керамика*. 2012. № 7. С. 52–56.
8. *Кольцова Т.Н.* Составы твердых растворов жисмондина, кимрита, анортита и целезиана // *Неорганические материалы*. 2017. Т. 53, № 7. С. 751–761.
9. *Сергиевич О.А., Алексеенко И.А., Артемьев Е.А.* Керамические материалы с повышенной износостойкостью для машиностроительной и легкой промышленности // *Труды Кольского научного центра РАН*. 2017. Т. 8, № 5-1. С. 167–172.
10. *Кулибаев А.А., Дян А.В., Шевандо В.В., Калиева Ж.Е., Смаилова Б.О., Идрисов Д.А., Сайбулатов С.Ж.* Физико-химические процессы, протекающие при обжиге золошлакокерамических материалов // *Строительные материалы*. 2009. № 9. С. 54–56.
11. *Кухтин Б.А., Головин Е.П., Федоров Н.В., Савельева А.Д., Нарциссова П.В., Закалюкин Р.М.* Формирование стеклофазы в анортитовой керамике // *Химия и химическая технология*. 2007. Т. 50, № 5. С. 79–82.
12. *Верещагин В.И., Бурученко А.Е., Меньшикова В.К.* Безусадочный облицовочный керамический материал на основе диопсидового сырья // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 1. С. 18–25.
13. *Сафронова Т.В., Зыкова Ю.А.* Физико-химические процессы взаимодействия диопсида с полиминеральным малопластичным сырьем // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2012. № 10. С. 188–194.
14. *Плетнев П.М., Погребенков В.М., Верещагин В.И., Тюлькин Д.С.* Муллитокорундовые материалы на основе муллитовой связки, стойкие к высокотемпературным деформациям // *Новые огнеупоры*. 2017. № 11. С. 36–43.

References

1. *Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S.* Earthquake-resistant brick based on shale clay and aluminum-containing slag produced by metallic chromium. *Novyye ogneupory = New refractories*. 2021; (4): 53–57. (In Russ.).
2. *Kairakbaev A.K., Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S.* Phase composition and physico-mechanical properties at different firing temperatures of ceramic earthquake-resistant bricks using ferropyl. *Steklo i keramika = Glass and ceramics*. 2020; (12): 45–50. (In Russ.).
3. *Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S.* The use of waste from petrochemical production and oil production in the production of earthquake-resistant bricks. *Neftegazovoye delo = Oil and gas business*. 2021; (3): 41–62. (In Russ.).
4. *Kairakbaev A.K., Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S.* Processes in ceramic material based on raw materials with an increased content of Fe_2O_3 in the temperature range of 950–1050 °С. *Steklo i keramika = Glass and ceramics*. 2021; (5): 44–51. (In Russ.).

5. *Khlystov A.I.* Heat-resistant concrete based on industrial waste of the Samara region. Samara: ASA SamSTU, 2017. 171 p. (In Russ.).
6. *Khlystov A.I., Sokolova S.V., Baranova M.N., Vasilyeva D.I., Kholopov Yu.A.* Prospects for the use of alumina-containing industrial waste in the production of heat-resistant concrete. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and Industry of Russia*. 2021; 25 (7): 8–12. (In Russ.).
7. *Khlystov A.I., Bezgina L.N., Vlasov A.V., Linev A.I.* Obtaining a complex heat-resistant binder based on aluminosilicate and high-alumina industrial waste. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika = Refractories and technical ceramics*. 2012; (7): 52–56. (In Russ.).
8. *Koltsova T.N.* Compositions of solid solutions of gismondine, cymrite, anorthite and celsian. *Neorganicheskiye materialy = Inorganic materials*. 2017; 53 (7): 751–761. (In Russ.).
9. *Sergievykh O.A., Alekseenko I.A., Artemyev E.A.* Ceramic materials with increased wear resistance for machine-building and light industry. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN = Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017; 8 (5-1): 167–172. (In Russ.).
10. *Kulibayev A.A., Dyan A.V., Shevando V.V., Kalieva Zh.E., Smailova B.O., Idrisov D.A., Saibulatov S.Zh.* Physico-chemical processes occurring during the firing of ash and slag ceramic materials. *Stroitel'nyye materialy = Building materials*. 2009; (9): 54–56. (In Russ.).
11. *Kukhtin B.A., Golovin E.P., Fedorov N.V., Savelyeva A.D., Nartsissova P.V., Zakalyukin R.M.* Formation of glass phase in anorthite ceramics. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya = Chemistry and chemical technology*. 2007; 50 (5): 79–82. (In Russ.).
12. *Vereshchagin V.I., Buruchenko A.E., Menshikova V.K.* Non-shrink facing ceramic material based on diopside raw materials. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*. 2015; (1): 18–25. (In Russ.).
13. *Safronova T.V., Zyкова Yu.A.* Physico-chemical processes of interaction of diopside with polymineral low-plastic raw materials. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2012; (10): 188–194. (In Russ.).
14. *Pletnev P.M., Pogrebenkov V.M., Vereshchagin V.I., Tyulkin D.S.* Mullite-corundum materials based on mullite ligament resistant to high-temperature deformations. *Novyye ogneupory = New refractories*. 2017; (11): 36–43. (In Russ.).

Информация об авторе

В.З. Абдрахимов – доктор технических наук, 3375892@mail.ru

Information about the author

V.Z. Abdrakhimov – DSc, 3375892@mail.ru

Статья поступила в редакцию 28.12.2022
 Одобрена после рецензирования 28.01.2023
 Принята к публикации 03.02.2023

The article was submitted 28.12.2022
 Approved after reviewing 28.01.2023
 Accepted for publication 03.02.2023