

УДК 666.3.016

ВЗАИМОСВЯЗЬ СВОЙСТВ, ФАЗОВОГО СОСТАВА И МИКРОСТРУКТУРЫ КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА

Д-р техн. наук **И. А. ЛЕВИЦКИЙ** (e-mail: Levitskii@belstu.by), **О. Н. ХОРУЖИК**

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (Минск, Республика Беларусь)

Получен клинкерный кирпич на основе полиминерального сырья, включающего легкоплавкую и тугоплавкую глины, суглинки и гранитоидные отсеивы при пластическом методе изготовления. Установлена взаимосвязь физико-химических свойств изделий от массового содержания компонентов и оксидного состава шихты, определены оптимальные температурно-временные режимы обжига, составляющие 1150 ± 5 °С с выдержкой при оптимальной температуре 4 ч. Полученные данные по оксидному и минеральному составу позволяют прогнозировать состав шихты для получения клинкерного кирпича, режимы термообработки и свойств изделий

Ключевые слова: клинкерный кирпич, морозостойкость, спекание, стеклофаза, механическая прочность, водопоглощение, оксидный состав

RELATIONSHIP BETWEEN PROPERTIES, PHASE COMPOSITION AND MICROSTRUCTURE OF CLINKER BRICK

I. A. Levitskii, O. N. Horuzhik (Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus)

A clinker brick has been obtained based on polymineral raw materials, including low-melting and high-melting clays, loams and granitoid screenings with the plastic manufacturing method. The relationship between the physical and chemical properties of products on the mass content of components and the oxide composition of the batch was established, the optimal temperature and time of firing were determined, which was 1150 ± 5 °C for 4 h. The obtained data on the oxide and mineral composition makes it possible to predict the composition of the batch for producing clinker bricks, the modes of heat treatment, and the properties of products

Keywords: clinker brick, frost resistance, sintering, glass phase, mechanical strength, water absorption, oxide composition

За последние годы в Республике Беларусь потребность в клинкерном кирпиче возросла более чем в 3 раза. Собственное производство данного вида продукции отсутствует.

Целью исследований является синтез составов керамических масс и определение технологических параметров производства клинкерного кирпича на основе полиминерального сырья региона.

Выбор источников сырья и подбор шихтового состава глиномассы для получения клинкерного кирпича является довольно сложной материаловедческой задачей, и она базируется на изучении химического и минералогического состава, ситового и седиментационного анализа компонентов сырьевой смеси [1 – 4]. Такие исследования используются не только для выбора состава шихты, но и позволя-

ют получить информацию о режимах сушки и обжига, обеспечивающих требуемое качество продукции. Особенно актуально это для Беларуси, которая не располагает высококачественным глинистым сырьем – огнеупорными и тугоплавкими глинами.

В связи с этим нами учитывались накопленные сведения других исследователей по составам масс для получения клинкерной керамики на основе изучения характеристик исходного сырья [4 – 6].

Согласно нормативно-технической документации Республики Беларусь (СТБ 1787–2007) клинкерный кирпич подразделяют на два класса – А и Б.

Полнотелый клинкерный кирпич класса А применяется для кладки и облицовки стен в гидротехнических сооружениях, а также для устройства тротуаров и отмосток.

Клинкерный кирпич класса Б может быть полнотелым и пустотелым, и он используется для кладки и облицовки стен зданий и сооружений.

Для разработки составов масс клинкерного кирпича мы применяли многокомпонентную систему сырьевых материалов, включающую несколько глинистых материалов различного минерального и гранулометрического состава [7]. Флюсующим компонентом, выполняющим на первых этапах обжига роль отошителя, выступали гранитоидные отсевы фракции менее 1 мм, образующиеся на РУПП «Гранит» (Республика Беларусь) как отходы камнедробления гранитов.

В качестве глинистого сырья для получения клинкерных изделий применялись тугоплавкая глина месторождения «Городное» Брестской области, суглинки месторождения «Фаниполь» Минской области Республики Беларусь, а также добавка импортируемой из России глины месторождения «Большая Карповка» (Курская область).

Химический состав исходных компонентов, используемых для исследований, приведен в табл. 1.

Составы исследуемых масс для получения клинкерной керамики включали, %*: глина месторождения «Городное» – 5 – 15; суглинки месторождения «Фаниполь» – 35 – 55; гранитоидные отсеvy указанной выше фракции – 20 – 40. Глина марки БК-0 вводилась в постоянном количестве 10 – 20 %. Шаг варьирования компонентов составил 5 %.

Все применяемые сырьевые материалы предварительно высушивали до влажности, не превышающей 1 %, затем измельчали до прохождения

через сито № 1 (51 отв./см²). Полученную смесь перемешивали, увлажняли до 17 – 19 %, оставляли на вылеживание в течение не менее 7 сут, а затем после тщательного промина формовали образцы для проведения исследований. Их сушку вели при температуре 105 – 110 °С в течение 6 ч. Обжиг образцов осуществляли в интервале температур (1050 – 1150) ± 5 °С с шагом 25 °С и выдержкой при максимальных температурах обжига в течение 4 ч. Общая продолжительность обжига составляла 36 ч.

Обоженные образцы имели равномерную окраску от коричнево-оранжевого до шоколадно-коричневого цвета. Дефекты в виде деформации, посечек, расслоения, включая известковые включения, отсутствовали.

Физико-химические свойства образцов оценивали по стандартным методикам керамического производства. Показатели внешнего вида, наличие известковых включений исследовали по СТБ 1160-99, водопоглощение, плотность и морозостойкость – объемным методом замораживания образцов – по ГОСТ 7025-91. Предел прочности при сжатии и изгибе – по ГОСТ 8462-85, истираемость – по ГОСТ 13087-81 на установке ЛКИ-2. Удельную эффективную активность естественных радионуклидов определяли в соответствии с ГОСТ 30108-94 с использованием радиометра РУГ-92-2.

Термический анализ материалов и сырьевых смесей выполняли на приборе DSC 404 F3 Pegasus фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 25 – 1200 °С в нейтральной среде с погрешностью ±0,1 °С.

Таблица 1. Химический состав исходного сырья, применяемого для получения клинкерного кирпича

Сырье	Массовое содержание оксидов, %								п.п.п
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂	
Глина месторождения «Городное»	62,12 – 68,23	15,56 – 18,31	4,76 – 6,23	0,10 – 0,23	1,00 – 1,15	0,74 – 0,98	0,50 – 1,44	0,72 – 1,18	7,03 – 9,72
Глина месторождения «Большая Карповка» БК-0	65,50 – 71,45	16,04 – 19,61	3,20 – 5,02	0,04 – 0,15	0,27 – 0,51	0,06 – 0,11	0,12 – 0,16	1,43 – 1,86	6,27 – 8,20
Суглинки месторождения «Фаниполь»	75,94 – 81,42	8,94 – 10,25	2,01 – 2,85	0,66 – 0,82	1,41 – 1,64	1,20 – 1,47	1,28 – 1,58	0,50 – 0,71	2,95 – 4,37
Гранитоидные отсеvy	57,20 – 65,13	11,75 – 17,31	7,16 – 9,48	3,28 – 5,16	2,10 – 3,18	3,10 – 3,73	3,98 – 5,12	0,60 – 1,32	0,10 – 0,30

* Здесь и далее по тексту, если не оговорено особо, указано массовое содержание, %.

Фазовый состав образцов изучали на рентгеновской установке D8 Advance фирмы Brucker (Германия); излучение – CuK_α , детектор – сцинтилляционный счетчик. Для идентификации кристаллических фаз применяли международную картотеку Joint Committee on Powder Diffraction Standards и программное обеспечение Diffrac Plus фирмы Brucker.

Микроструктуру скола керамических образцов исследовали с помощью сканирующих микроскопов TESCAN MIRA 3 (Япония), а также JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 JEOL (Япония).

Результаты определения физико-химических свойств обожженных образцов клинкерной керамики представлены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, значения физико-химических свойств образцов, обожженных при температуре 1050 ± 5 °С, не соответствуют требованиям, предъявляемым к клинкерному кирпичу. Значения водопоглощения образцов, обожженных при 1100 ± 5 и 1150 ± 5 °С, составляют соответственно 3,5 – 8,2 и 3,2 – 4,7 %, и данный показатель закономерно снижается при повышении температуры термической обработки.

Механическая прочность образцов при данных температурах обжига соответствует требованиям стандарта, и ее значения при сжатии составляют 74 – 81 и 78 – 96 МПа, при изгибе – 10 – 16 и 11 – 18 МПа.

Морозостойкость при объемном замораживании образцов находится в интервале 150 – 180 циклов.

Значения кажущейся плотности находятся в интервале $(2,17 - 2,54) \cdot 10^{-3}$ кг/м³, истираемости – 0,2 – 0,7 г/см².

Показатели общей усадки также зависят от температуры обжига и составляют 4,9 – 6,1 %

для образцов, обожженных при 1100 °С; и 6,4 – 7,7 % – при температуре обжига 1150 °С.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов находится в интервале 170 – 185 Бк/кг при нормируемом значении 370 Бк/кг.

Анализ физико-химических свойств изделий по химическому составу исследуемых масс позволил определить, что область оптимальных составов отвечает следующему пределу содержания оксидов, %: SiO_2 – 63,1 ... 67,8; Al_2O_3 – 15,2 ... 17,8; сумма оксидов щелочных ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) и щелочно-земельных ($\text{CaO} + \text{MgO}$) металлов – 5,5 ... 6,5; сумма $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ – 5,2 ... 7,1. Данные интервалы содержания оксидов близки к полученным значениям других исследователей [2].

Минеральный состав оптимальной области керамических масс для получения клинкерной керамики позволил установить следующее содержание минералов, %: 7 – 10 каолинита; 14 – 18 монтмориллонита; 6 – 8 иллита; 7 – 9 полевых шпатов; 35 – 39 кварца; 2 – 3 мусковита и биотита; 7 – 10 глауконита; 4 – 6 хлорита; 1 – 3 кальцита; 2 – 4 железистых минералов; 2 – 3 прочих минералов. Полученные результаты находятся в соответствии с данными работ [5, 6].

Нами установлено, что для оптимальной области составов соотношение оксидов $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ должно составлять 6,0 – 6,4.

Увеличение содержания суммы Al_2O_3 и SiO_2 свыше указанного количества не обеспечивает требуемые значения физико-химических свойств образцов, что может быть причиной полиморфизма свободного кварца, присутствующего в сырьевой композиции.

Таблица 2. Физико-химические свойства обожженных образцов клинкерной керамики

Показатель	Значения физико-химических свойств образцов, обожженных при температуре, °С		
	1050 ± 5	1100 ± 5	1150 ± 5
Усадка общая, %	3,6 – 4,5	4,9 – 6,1	6,4 – 7,7
Водопоглощение, %	6,4 – 10,7	3,5 – 8,2	3,2 – 4,7
Механическая прочность, МПа:			
при сжатии	40 – 48	74 – 81	78 – 96
при изгибе	5 – 6	10 – 16	11 – 18
Морозостойкость, циклы	75 – 100	150 – 180	150 – 180
Кажущаяся плотность, кг/м ³	$(2,06 - 2,11) \cdot 10^3$	$(2,17 - 2,50) \cdot 10^3$	$(2,19 - 2,54) \cdot 10^3$
Истираемость, г/см ²	1,0 – 1,2	0,3 – 0,7	0,2 – 0,4
Удельная эффективность естественных радионуклидов, Бк/кг	170 – 175	170 – 185	170 – 185

Проведенные исследования позволили определить область оптимальных составов сырьевых смесей, включающих, %: глина тугоплавкая месторождения «Городное» – 20 ... 30; суглинки месторождения «Фаниполь» – 30 ... 40; гранитоидные отсеvy фракции менее 1 мм – 25 ... 30; глина месторождения «Большая Карповка» БК-0 – 10 ... 20.

В табл. 3 приведены некоторые составы масс клинкерного кирпича, оптимальные по физико-химическим свойствам.

Выполненный термический анализ сырьевых смесей исследуемых керамических масс позволил установить, что при нагревании протекающие в них процессы идентичны, что иллюстрирует рис. 1.

В температурных максимумах 70,6 – 78,1 °С наблюдаются эндотермические эффекты, обусловленные удалением из образцов формовочной и гигроскопической влаги. При повышении температуры удаляется адсорбционно связанная и межслоевая молекулярная влага из гидрослюд, монтмориллонита и глауконита, что обусловлено неглубоким эндотермическим эффектом при температуре 143,7 – 153,2 °С.

Экзотермические эффекты с максимумами в интервале температур 346,8 – 362,3 °С обусловлены структурной перестройкой Fe^{2+} в Fe^{3+} в железосодержащих составляющих сырья (мусковит, биотит, глауконит и др.). Эндотермические эффекты с максимумом при температурах 482,7 – 493,6 °С связаны с удалением гидроксильной влаги из монтмориллонита, хлорита и гидрослюд, входящих в состав составляющей керамической массы, а также с частичной аморфизацией вещества.

Эндотермические эффекты небольшой интенсивности с максимумами при 573,0 – 575,0 °С объясняются удалением оставшейся конституционной влаги и разрушением структуры монтмориллонита, хлорита, каолинита и глауконита.

Таблица 3. Оптимальные составы масс для получения клинкерного кирпича

Компоненты сырьевой смеси	Массовое содержание компонентов, %, составов с индксом			
	15-1	17-2	9-3	20-3
Глина месторождения «Городное»	20	30	20	20
Суглинки месторождения «Фаниполь»	40	30	35	30
Гранитоидные отсеvy	30	25	30	30
Глина месторождения «Большая Карповка»	10	15	15	20

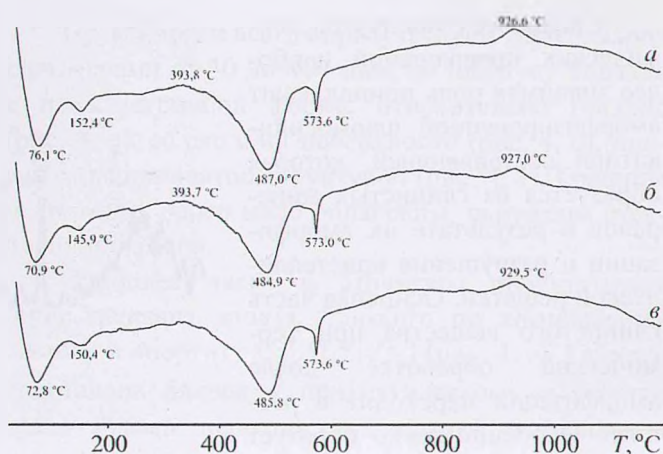


Рис. 1. Кривые ДСК исследованных шихт составов а – 15-1; б – 17-2; в – 9-3

Формирование низкотемпературного анортита обусловлено экзотермическими эффектами при максимуме 927,0 – 933,2 °С.

Рентгенофазовым анализом образцов, обожженных при температуре 1150 °С, установлено наличие кристаллических фаз α -кварца, анортита, муллита и гематита (рис. 2).

Наличие развитого гало на рентгенограммах свидетельствует о формировании значительного количества стекловидной фазы. С ростом температуры обжига фиксируется увеличение интенсивности дифракционных максимумов муллита, снижаются интенсивности α -кварца и гематита, что может свидетельствовать о растворении данных фаз в расплаве.

Проведенные исследования позволили установить, что спекание керамических масс достигается за счет формирования хорошо развитой кристаллической структуры, сцементированной стекловидной фазой. Положительную роль играет также высокая степень уплотнения черепка изделий за счет пластического формирования.

Из глинистых минералов, присутствующих в исследованных сырьевых композициях, наибольшим содержанием плавней и низкой дисперсностью (менее 5 мкм) характеризуется монтмориллонитовая составляющая, которая наряду с тонкодисперсными примесями – свободным гидроксидом железа и слюдястыми минералами – приводит к активному формированию расплава. Глинистые частицы размером более 5 мкм, представленные песчаными и пылевидными фракциями, как показали наши исследования, остаются продолжительное время инертными и мало взаимодействуют с расплавом.

Среди всех продуктов термических превращений наиболее значимая роль принадлежит аморфизированной алюмосиликатной составляющей, которая образуется из глинистых минералов в результате их аморфизации и разрушения кристаллической решетки. Основная часть глинистого вещества при термической обработке после аморфизации переходит в расплав. Особенно легко образует расплав легкоплавкая глина БК-0 и суглинки. Дальнейшие реакции идут с участием расплава, что обеспечивает возможность сравнительно быстрого формирования кристаллов различных минералов.

Продукты кристаллизации из расплава формируются преимущественно при температуре отжига 1150 °С. Они преобладают, хотя важная роль принадлежит и продуктам твердофазовых реакций.

При охлаждении расплава формируется стекловидная фаза, наиболее существенную роль на степень кристаллизации оказывают Na_2O и K_2O , повышая ее количество.

Окраска изделий зависит от количества железосодержащих примесей.

Наиболее существенное представление об особенностях формирования плотносспекшейся структуры исследуемых образцов клинкерного кирпича дает электронно-микроскопическое изучение их структуры с анализом химического состава в их локальных точках, что иллюстрирует рис. 3.

Существенное значение на формирование физико-химических свойств образцов клинкерного кирпича играет муллит. Рост кристаллов муллита наблюдается при повышении температуры обжига от 1100

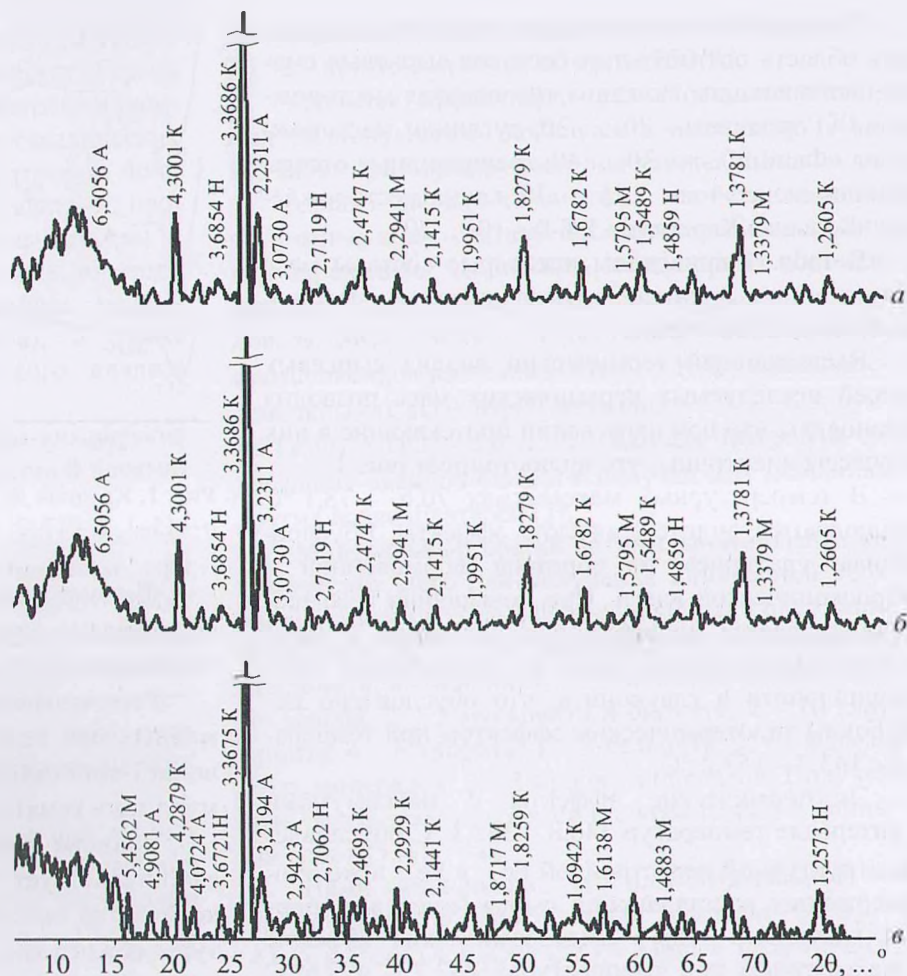


Рис. 2. Рентгенофазовый анализ образцов клинкерного кирпича составов (межплоскостные расстояния приведены в ангстремах)

a – состав 15-1; б – состав 17-2; в – состав 9-3; К – кварц; М – муллит; А – анортит; Г – гематит

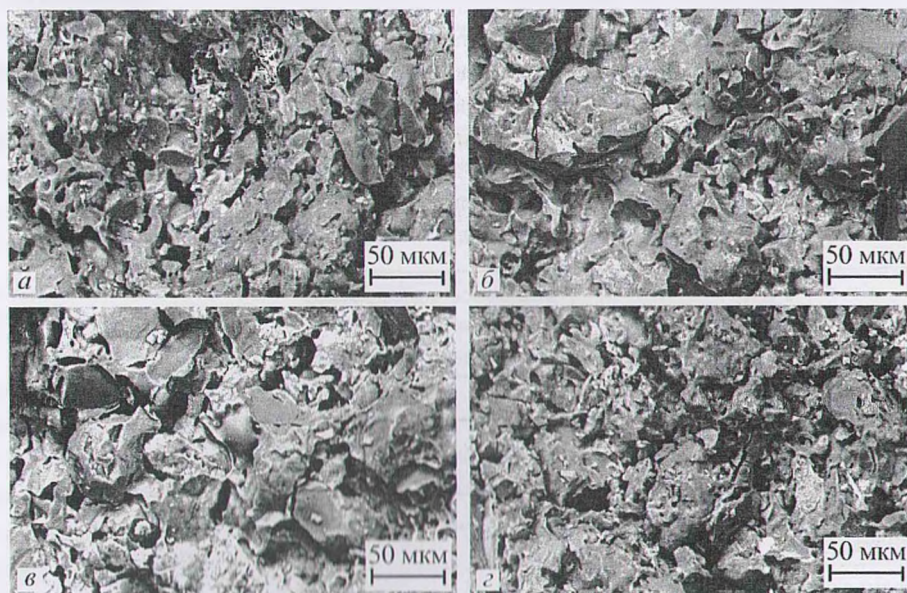


Рис. 3. Микроструктура образцов клинкерной керамики составов а – 7-1; б – 15-2; в – 9-1; г – 20-1

до 1150 °С, что способствует превращению изометричных зародышей, возникающих, очевидно, вследствие твердофазового взаимодействия, в более длинные и тонкие иглы, которые редко рассеяны в структуре образца.

Следует отметить, что при температуре обжига 1050 °С в образцах не установлено наличие фазы муллита. При дальнейшем повышении температуры обжига до 1100 °С фаза муллита фиксируется как на рентгенограммах, так и на электронно-микроскопических снимках в виде удлинённых игольчатых образований с размером по длине 0,03 – 0,08 мкм. Повышение температуры приводит к изменению габитуса кристаллов (см. рис. 3). Имеются как игольчатые кристаллы, так и короткостолбчатые, по форме близкие к призматической. Их кристаллизация наблюдается в основном на границах раздела аморфизированного глинистого вещества и стеклофазы. Это может свидетельствовать о кристаллизации муллита при непосредственном влиянии на данный процесс содержащихся в керамических массах плавней (оксидов железа и щелочных металлов). Размер этих образований возрастает до 0,5 – 2,0 мкм. Наиболее четкий габитус кристаллов отмечается при температуре обжига 1150 °С, что позволяет судить о формировании вторичного муллита. Максимальное его количество характерно для образцов, содержащих гранитоидные отсеки в количестве 35 – 40 %, что может свидетельствовать о формировании муллита из полевошпатовых минералов, входящих в состав гранитоидов, которые формируют расплав в процессе обжига.

Анализ микроструктуры клинкерного кирпича оптимальной области составов, обожженных при оптимальной температуре (1150 ± 5 °С), показывает, что образцы характеризуются высокой степенью спекания, минимальным количеством открытых и закрытых пор. Открытые поры преимущественно ориентированные, щелевидные, порой с расширениями и пережимами, их размер составляет 10 – 110 мкм. Закрытые поры и капилляры преимущественно также щелевидного сечения, нередко извилистые и ориентированы по направлению кристаллических образований. Размер их составляет до 5 – 130 мкм.

В структуре всех исследованных образцов с помощью локального химического анализа установлено наличие значительного количества микро неоднородностей реликтового происхождения, которые не перешли в расплав при формировании структуры образцов, а также ряда кристаллических новообразований.

Практически всегда присутствуют зерна кварца с размерами от 30 до 460 мкм, по габитусу близкие к неизометричной форме, относительно гладкие (рис. 4, а), со сколами поверхности (рис. 4, б), иногда с трещиноватой структурой (рис. 4, в). Границы реликтовых зерен мало оплавлены, окружены стекловидной фазой.

Наиболее часто в структуре присутствуют зерна полевого шпата, близкого по химическому составу к анортиту $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ (рис. 4, з). Габитус кристаллов близок к призматическому с хорошо различимыми неровностями граней и наличием трещин спайности. Размер кристаллов достигает 140 – 510 мкм по длине, ширина их составляет 100 – 300 мкм. Отмечается также наличие зерен, близких по химическому составу к альбиту $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ (рис. 4, д), кристаллы которого имеют призматическую форму. Очевидно, что полевошпатовые минералы формируются из расплава, обогащенного CaO и Na_2O .

Исследованиями подтверждено заключение работы [8], что в клинкерном кирпиче предпочтительно присутствие зерен полевых шпатов размером менее 0,5 мм, которые обеспечивают образование стеклофазы с термически измененным глинистым веществом. Этому процессу способствует также наличие в шихте железистых минералов.

В связи с использованием сырья, содержащего значительное количество CaO , его сочетание с железистыми примесями, которые являются минерализаторами, в ходе спекания образуют и другие кристаллические новообразования. Среди них прежде всего – часто встречаемые пироксены. Они имеют вид удлинённых призматических кристаллов с размерами 10×100 мкм или крупных образований с размерами 75×150 мкм, в единичных случаях – 150×250 мкм. Исследование химического состава этих новообразований позволяет отнести их к авгиту $\text{Ca}_4(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{Al}[(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$ (рис. 4, е), эгирину $\text{NaFe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ (рис. 4, ж), геденбергиту $\text{CaFe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ (рис. 4, з) или переходной фазе – эгирин-авгиту, эгирин-геденбергиту.

При воздействии свободного кислорода на силикатный расплав, содержащий ионы Fe^{2+} , наблюдается окисление последних с кристаллизацией гематита. Он формируется в виде близких к пластинчатым образованиям различных размеров, длина которых составляет 15 – 270 мкм и ширина 30 – 150 мкм (рис. 4, и, к), которые располагаются беспорядочно. Границы кристаллов корродированы.

По мере повышения температуры обжига образцов от 1050 до 1150 °С отмечается частичное растворение гематита в расплаве, обеспечивая окраску сформированной стекловидной фазы. Однако и при высокой температуре обжига гематит присутствует в структуре материала.

Присутствие железосодержащих составляющих придает материалу насыщенную равномерную окраску.

Проведенные исследования позволяют заключить, что формирующаяся в процессе обжига жидкая фаза, обладающая значительной вязкостью, которая возрастает с повышением температуры, действует следующим образом. С точки зрения физической она за счет энергии поверхностного натяжения способствует сближению твердых частиц массы. Кроме того, обеспечивается

и химическое взаимодействие за счет растворения минералов с последующим выделением из расплава термодинамически устойчивых кристаллов. Значительное количество расплава приводит также к взаимодействию продуктов термического разложения суглинков, глин и других составляющих компонентов сырьевой смеси.

При этом формируются кристаллы преимущественно призматического или игольчатого, реже пластинчатого габитуса, которые при последующем охлаждении цементируются стеклофазой и выполняют армирующую роль, повышающую механическую прочность структуры материала.

Установлено также, что реакции дегидратации минералов глин, слюд, гидрослюд и карбонатных

составляющих керамических масс, окисление присутствующих органических включений должны быть завершены до образования значительного

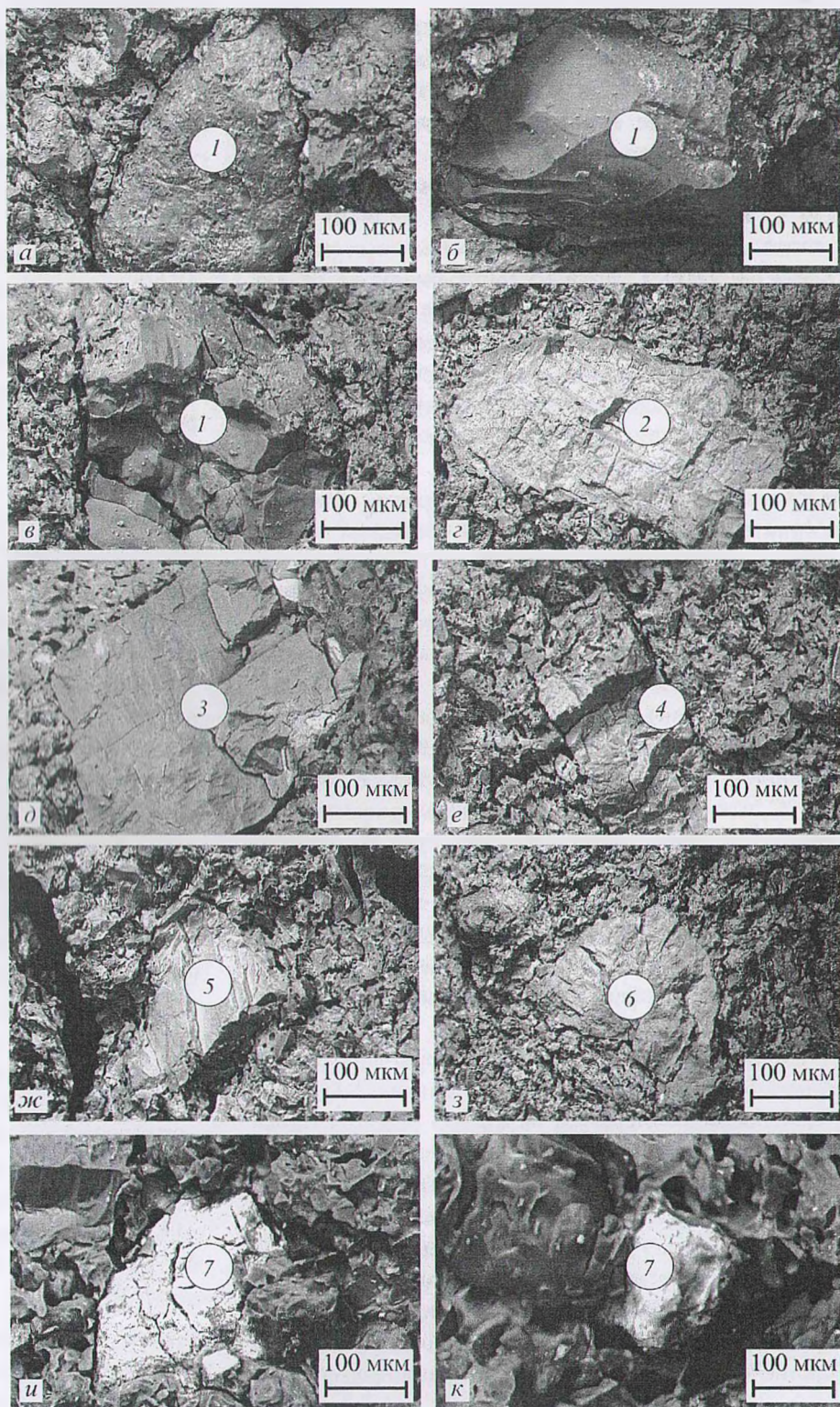


Рис. 4. Кристаллические включения в микроструктуре клинкерного кирпича оптимального состава 17–2

1 – кварц; 2 – анортит; 3 – альбит; 4 – авгит; 5 – эгирин; 6 – геденбергит; 7 – гематит

количества жидкой фазы. Это необходимо для того, чтобы процессы выгорания органических составляющих масс, восстановления ионов железа Fe^{3+} до Fe^{2+} , удаления гидратной влаги и продуктов разложения карбонатов происходили до формирования жидкой фазы и предупреждали заплывание формирующихся пор. Полное завершение процессов газовой выделительной до формирования расплава позволяет также избежать образования черной сердцевины в изделиях.

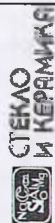
В ходе проведенных исследований установлены составы полиминеральных глинистых масс, температурно-временные режимы обжига клинкерной керамики, взаимосвязь физико-химических свойств образцов изделий с их структурой и фазовым составом.

Показано, что на основе сырья Беларуси могут быть получены изделия клинкерной керамики, подтверждением чего служат проведенные заводские испытания в условиях ОАО «Керамин» (Минск).

Изготовленные в заводских условиях пластическим формованием изделия обжигались в промышленной газопламенной печи при температуре 1120 °С. Продолжительность обжига составляла 20 ч, выдержка при максимальной температуре – 2,5 ч. Клинкерный кирпич характеризовался водопоглощением 4,5 %, плотность – 2190 кг/м³, марочность по механической прочности – 400, по морозостойкости – 100, радиационное качество – 1-й класс. Клинкерный кирпич соответствует классу Б по СТБ 1787–2007 «Кирпич керамический клинкерный. Технические условия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Морозова С. В., Пермяков Е. Н., Карилов А. В. и др.* Клинкерный кирпич на основе местного легкоплавкого сырья // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 5. С. 24 – 26.
2. *Колёда В. В., Михайлюта Е. С., Алексеев Е. В. и др.* Технологические особенности производства клинкерного кирпича // Стекло и керамика. 2009. № 4. С. 17 – 20.
[*Koleda V. V., Mikhailiuta E. S., Alekseev E. V. et al.* Technological particularities of clinker brick production // Glass Ceram. 2009. V. 66, No. 3 – 4. P. 132 – 136.]
3. *Krakow L.* Versatzooptimierung mit regionalen Tonen-Rohstoffkonzepten und Tongrubenatlas Clayserver // Ziegel Zeitschrift. 2000. No. 5. S. 294 – 298.
4. *Августиниук А. И.* Керамика. Л.: Стройиздат, 1975. С. 53 – 75.
5. *Tatarin A, Vog, R.* Untersuchungen für grobkeramische Rohstoffe. Teil 1: Rohstoffzusammensetzung (primäre Eigenschaften) // Ziegelindustrie International. 2013. Bd 66, No. 4. S. 20 – 34.
6. *Vogt S.* Methoden zur Bewertung der Rohstoffeignung und Masseoptimierung. Teil 1 // Ziegelindustrie International. 2015. Bd 68, No. 5. S. 34 – 43.
7. *Левицкий И. А., Хорузик О. Н.* Исследование процессов спекания поликомпонентной сырьевой смеси на основе минерального сырья Республики Беларусь // Тр. БГТУ. Сер. 2. 2018. № 2. С. 140 – 145.
8. *Хоменко Е. С., Пудрик А. В.* Особенности формирования микроструктуры клинкерной керамики // Стекло и керамика. 2017. № 2. С. 15 – 19.
[*Khomenko E. S., Pudrik A. V.* Particulars of Microstructure Formation in Clinker Ceramic // Glass Ceram. 2017. V. 74, No. 1–2. P. 48 – 51.]



Подписка на журнал «Стекло и керамика»
принимается во всех отделениях связи
Индекс 70881

Телефон отдела реализации: (495) 514-26-34