

И. А. Левицкий, проф., д-р. техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
И. И. Жукова, магистр техн. наук; М. В. Комар  
(ОАО «Керамин», г. Минск)

## АПРОБАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА

В результате лабораторно-экспериментальных исследований установлена возможность синтеза керамических масс для получения клинкерного кирпича пластическим методом подготовки сырья на основе поликомпонентной системы минерального сырья Республики Беларусь, включающей, мас. %: тугоплавкую глину месторождения «Городное» в количестве 5–20; суглинок месторождения «Фаниполь» – 35–55; гранитоидные отсева фракций менее 0,1 мм – 20 – 40; глину легкоплавкую месторождения «Большая Карповка» марки БК-0 (Россия) – 10. Установлена оптимальная область составов, включающая выше перечисленные сырьевые материалы в интервалах мас. %: 5–10; 40–50; 35–40 и 10, соответственно. Установлены технически обоснованные параметры термообработки: максимальная температура обжига изделий составляет  $(1150 \pm 5)$  °С с выдержкой при данной температуре – 3 ч.

Образцы клинкерного кирпича оптимальной области составов характеризуются следующими физико-химическими и технологическими свойствами: общая усадка составляет 6,7–8,0 %; водопоглощение – от 3,4 до 7,2 %; плотность –  $(2,15–2,48) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Механическая прочность при сжатии и изгибе – соответственно 9,0–17,1 и 72,01–136,3 МПа. Морозостойкость образцов при объемном замораживании составляет 175 циклов, истираемость – 0,20–0,40 г/см<sup>2</sup>.

Основными кристаллическими фазами образцов клинкерного кирпича является муллит,  $\alpha$ -кварц, анортит и гематит.

Анализ зависимости физико-химических свойств изделий от химического состава исследуемых масс позволил установить, что область оптимальных составов отвечает следующему пределу содержания оксидов, мас. %: SiO<sub>2</sub> – 63,1–67,8; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 15,2–17,8; сумма оксидов щелочных (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O) и щелочноземельных (CaO + MgO) металлов – 5,5–6,5; сумма Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiO<sub>2</sub> – 5,2–7,1.

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.

Промышленная апробация технологии получения клинкерного кирпича проводилась в условиях Минского керамического завода

ОАО «Керамин» с использованием действующего технологического оборудования и теплотехнических установок с необходимой корректировкой технологических параметров.

Сопоставленный анализ химического состава применяемого в исследованиях сырья для лабораторного синтеза и проведения промышленных испытаний показал различие содержания составляющих оксидов. Это потребовало корректировки рецептуры сырьевой смеси для получения клинкерного кирпича по химическому и минеральному составу, согласно установленному нами в процессе выполнения исследований соотношения.

Обжиг образцов клинкерного кирпича производился в промышленной туннельной печи FMO–470. Продолжительность тепловой обработки кирпича составляла 2,5 ч при максимальной температуре обжига  $1120 \pm 10$  °С. Общая продолжительность режима термообработки, включая охлаждение, составила 20 ч.

Визуальным контролем обожженных образцов клинкерного кирпича установлено отсутствие дефектов поверхности изделий, цвет их был равномерный шоколадно-коричневого цвета.

Полученные образцы изделий подвергались контролю физико-химических свойств в соответствии с требованиями СТБ 1787 – 2007.

Водопоглощение опытных изделий составило 4,56 %, относительная плотность – 2190 кг/м<sup>3</sup>, усадка общая – 7,5 %; удельная эффективность радионуклидов – 178 Бк/кг. Механическая прочность при сжатии составила 42,5 МПа, при изгибе – 5,1 МПа; морозостойкость – 100 циклов.

Таким образом, клинкерный кирпич, обожженный при указанных режимах, соответствовал классу Б.

Рентгенофазовым анализом в изделиях установлено наличие кристаллических фаз муллита, анортита, кварца и гематита

По сравнению с лабораторными образцами выросло количество кристаллической фазы анортита в связи с более длительной выдержкой изделий в туннельной промышленной печи. Выросло также относительное количество кристаллической фазы муллита, который также формируется из расплава. Рост продолжительности выдержки при максимальной температуре обжига обусловил рост его содержания примерно вдвое.

Что касается фаз гематита, то относительное количество при повышении продолжительности выдержки при максимальной температуре несколько снижается. Это, очевидно, обусловлено растворением мелкокристаллических образований гематита в формирующемся при более длительном процессе обжига расплаве.

Следует отметить, что интенсивность кристаллической фазы реликтовых зерен низкотемпературного кварца в образце, полученного при заводских испытаниях, несколько снижено по сравнению с лабораторным образцом, что также обусловлено его плавлением при более длительной термической обработке.

Электронно-микроскопическим исследованием методом сканирования скола образцов установлено, что их микроструктура включает преимущественно кристаллическую фазу, аморфизированное вещество, а также стекловидную и газовую фазу.

Микроструктура изделий, полученных в заводских условиях, по сравнению с лабораторными образцами, представлена более крупными кристаллическими образованиями и увеличенной долей стекловидной фазы. Это, очевидно, обусловлено более продолжительным режимом обжига в заводских условиях. Что касается исследований кристаллических образований в локальных точках образцов заводских испытаний, то они характеризуются формированием таких же кристаллических образований и сохранением реликтовых кристаллов.

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, глини 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.

Проведенная апробация составов масс в производственных условиях ОАО «Керамин» подтвердила возможность получения клинкерного кирпича по разработанным в исследованиях рецептуре и технологическим режимам.