

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ШИХТЫ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Кудрякова А.В., Чернышкіна Я.И., Пикалов Е.С., Ильина Е.С.

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: [evgeniy-pikalov@mail.ru](mailto:evgeniy-pikalov@mail.ru)

Приведены результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств керамического кирпича на основе разработанного состава, включающего малопластичную глину Суворотского месторождения Владимирской области, а также олеат натрия и стекольный бой в качестве добавок. Для рассматриваемого в работе состава также приводятся установленные экспериментальным путем технологические параметры. Состав был разработан для получения высокой плотности и прочности при сжатии. Также учитывались такие свойства материала, как пористость и водопоглощение. Для объяснения полученных свойств приводятся данные по исследованию структуры керамического материала при помощи количественного и качественного рентгенофазового анализа, а также путем фотографирования макроструктуры материала на растровом электронном микроскопе. Полученные данные позволили установить характер процессов структурообразования исследуемого материала и на основе известных из литературных источников сведений обосновать полученные значения его физико-механических свойств.

**Ключевые слова:** керамический кирпич, прочность при сжатии, рентгено-фазовый анализ, минеральный состав, структура

## EVALUATION OF THE EFFECT OF CHARGE COMPOSITION ON STRENGTH CHARACTERISTICS OF CERAMIC BRICKS

Kudryakova A.V., Chernyashkina Y.I., Pikalov E.S., Pina E.S.

Vladimir State University of a name of Alexander Grigorevich and Nikolay Grigorevich Stoletovs, Vladimir, e-mail: [evgeniy-pikalov@mail.ru](mailto:evgeniy-pikalov@mail.ru)

The results of experimental research of physical-mechanical properties of ceramic bricks on the basis of the developed composition comprising Svartskog low plasticity clay deposits of the Vladimir region, as well as oleate of sodium and the glass bottle as additives. For considered in the composition are also set by the experimental process parameters. The composition was designed to produce high density and compression strength. Also take into account such material properties as porosity and water absorption. To explain derived properties of the data on investigation of structure ceramic material with quantitative and qualitative x-ray phase analysis and by photographing the macrostructure of the material on scanning electron microscope. The obtained data allowed to establish the nature of the processes of *strukturoobrazovatelja* of the material and on the basis of known from literary sources to justify the obtained values of physical and mechanical properties.

**Keywords:** ceramic brick, compressive strength, x-ray phase analysis, mineral composition, structure

В последнее время в России при строительстве зданий все большее внимание уделяют энергосбережению. Это связано с ростом цен на теплоносители и повышением теплотехнических норм. Поэтому строительство наружных стен при помощи сплошной кирпичной кладки становится неприемлемым, так как по новым нормам при коэффициенте теплопроводности 0,8 Вт/(м·°С) толщина кирпичной стены должна составлять от 1,1 до 4,5 м в зависимости от климатических условий [2].

Таким образом, чтобы соблюсти нормы по теплоэффективности и обеспечить рациональный расход материала, нужно строить дома с многослойными стенами. Наиболее распространен трехслойный вариант, в котором внутренний слой выполняют из полнотелого керамического кирпича, несущего нагрузку, средний слой выполняют из теплоизоляционного материала, обеспе-

чивающего теплотехнические нормы, и наружный слой выполняют из специального облицовочного кирпича [2].

В то же время актуальным направлением в производстве строительных материалов является разработка составов и технологии изготовления, направленных на расширение сырьевой базы регионов, в которых осуществляется производство этих материалов, и на получение продукции с высокими эксплуатационными характеристиками и невысокой себестоимостью [4].

**Цель исследования.** Данная работа посвящена производству высокопрочного керамического кирпича из глины Суворотского месторождения Владимирской области для выполнения несущих слоев в многослойных стенах. В связи с этим целью работы было получение материала с высокой прочностью при сжатии и высокой плотностью.

Авторами также была поставлена задача рассмотреть зависимость получаемых керамическим материалом свойств от состава шихты и минерального состава входящих в нее компонентов.

### Материалы и методы исследования

Применяемая для проведения исследований глина имеет следующий состав (в масс.%) [6]:  $\text{SiO}_2 = 67,5$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 10,75$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5,85$ ;  $\text{CaO} = 2,8$ ;  $\text{MgO} = 1,7$ ;  $\text{K}_2\text{O} = 2,4$ ;  $\text{Na}_2\text{O} = 0,7$ . Как следует из состава, рассматриваемая глина отличается низким содержанием оксида алюминия (< 13%), а значит, обладает низкой пластичностью. Следовательно, получаемый на ее основе керамический кирпич будет низкого качества, и необходимо введение в состав шихты модифицирующих добавок.

В качестве добавок применялись олеат натрия и бой тарного зеленого стекла. В состав применяемого стеклобой входили следующие оксиды (в масс.%) [6]:  $\text{SiO}_2 = 67,7$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 5$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,4$ ;  $\text{CaO} = 6$ ;  $\text{MgO} = 4$ ;  $\text{Na}_2\text{O} = 14,5$ ;  $\text{Mn}_3\text{O}_4 = 1,5$ .

Для оценки физико-механических свойств материала на основе исследуемых составов по стандартным для керамики методикам определялись плотность ( $\rho$ ,  $\text{кг/м}^3$ ), прочность на сжатие ( $\sigma_{\text{сж}}$ , МПа), пористость (П, %) и водопоглощение (В, %).

Для исследования влияния минерального состава компонентов шихты применялся метод рентгенофазового анализа на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3. Фотографии макроструктуры исследуемой керамики были получены при помощи растрового электронного микроскопа (РЭМ) Quanta 200 3D.

### Результаты исследования и их обсуждение

На основании проведенного эксперимента [6] было установлено, что получение керамического кирпича с высокой прочностью из применяемой глины возможно при влажности формовочной массы 8%, что соответствует технологии полусухого прессования. При меньшей влажности сырец не обладает достаточно высокими прочностными характеристиками из-за недостаточной связи между частицами материала, а повышение влажности приводит к растрескиванию образцов при обжиге.

Для уменьшения усадки и повышения однородности формовочной массы при смешивании в состав шихты вводился олеат натрия в количестве 0,5 масс.%. Для дополнительного повышения прочности в состав шихты вводился бой зеленого тарного стекла в количестве 10 масс.%. Образующаяся в процессе обжига модифицированного кирпича стеклофаза заполняла крупные поры и становилась связующим между частицами керамики.

Также были экспериментально определены технологические параметры получения высокопрочного полнотелого

керамического кирпича на основе исследуемого состава [6]. Технология заключалась в следующем. Глина и стеклобой предварительно измельчались, и в состав шихты отбиралась фракция с размером частиц от 0,3 до 0,63 мм. Олеат натрия предварительно смешивался с водой, а затем смешивался с глиной и стеклобоем до однородной массы. Затем происходило одноступенчатое прессование образцов в виде кубиков со стороной 50 мм при удельном давлении прессования 15 МПа. Полученные образцы высушивались при температуре 100°C, а затем обжигались при температуре 1050°C.

Результаты определения исследуемых свойств образцов приведены в табл. 1. За базовый принят состав, состоящий только из глины и воды, а за модифицированный – с добавлением олеата натрия и стеклобоя.

Как известно, свойства материала зависят от его структуры и минерального состава, которые в свою очередь зависят от состава сырьевых материалов и параметров технологического процесса получаемого материала.

Количественное и качественное соотношение минеральных фаз, составляющих исследуемый керамический материал, было определено при рентгено-фазовом анализе и приведено на рис. 1 и в табл. 2.

На основании проведенных исследований и справочных данных о процессах, протекающих в керамических материалах [1, 5], можно оценить характер влияния модифицирующих добавок на минеральный состав и свойства получаемого материала.

Как следует из данных, представленных в табл. 2, введение модифицирующих добавок не приводит к образованию фаз, а оказывает влияние лишь на их количественное соотношение.

При этом олеат натрия в основном оказывает влияние на начальных стадиях технологического процесса. В первую очередь эта добавка снижает поверхностное натяжение воды, которая при этом лучше смачивает поверхность частиц и адсорбируется на их поверхности. Это облегчает перемещение частиц шихты друг относительно друга, что позволяет достичь высокой степени однородности при перемешивании и увлажнении. Кроме того, снижение поверхностного натяжения влаги способствует удалению влаги при сушке сырца, так как облегчается процесс диффузии влаги из внутренних слоев материала к поверхности.

Таблица 1

Физико-механические свойства керамического кирпича на основе исследуемых образцов

Состав	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	Общая пористость, %
Базовый	1776,9	18,8	12,67	16,3
Модифицированный	1921,7	27,4	9,2	11,44

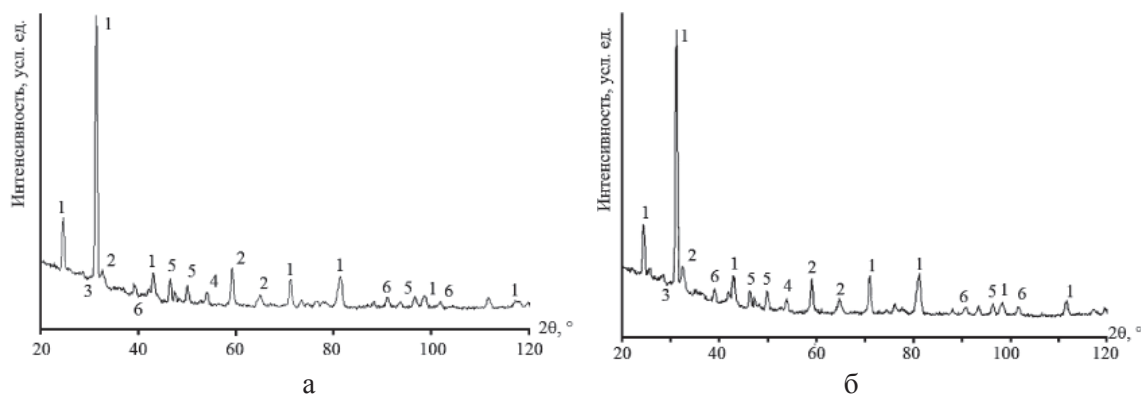


Рис. 1. Рентгенограммы минерального состава материала, полученного на основе базового (а) и модифицированного (б) составов шихты:

1 –  $\text{SiO}_2$  – кварц; 2 –  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  – анортит; 3 –  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  – силлиманит;  
4 –  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  – шпинель; 5 –  $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$  – диопсид; 6 –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – гематит

Таблица 2

Минеральный состав керамического кирпича на основе исследуемых образцов, масс. %

Состав	Кварц	Анортит	Силлиманит	Шпинель	Диопсид	Гематит
Базовый	84,8 ± 0,5	2,7 ± 0,1	1,0 ± 0,2	3,1 ± 0,2	3,3 ± 0,3	5,2 ± 0,3
Модифицированный	78,7 ± 0,5	5,1 ± 0,1	1,2 ± 0,2	4,3 ± 0,2	4,2 ± 0,3	6,5 ± 0,3

При проведении обжига органическая часть олеата натрия выгорает при температурах 200–400 °С с образованием катионов  $\text{Na}^+$ . Начиная с 700 °С щелочные оксиды ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), находящиеся в глине и в стекольном бое, вступают во взаимодействие с другими компонентами, образуя расплав, количество которого возрастает с повышением температуры. Образование расплава также является следствием присутствия в составе шихты плавней – ортоклаза и гематита.

Наличие стекольного боя увеличивает количество образующегося расплава, который заполняет пустоты в материале, повышая его плотность, и способствует припеканию частиц керамики друг к другу при температурах 700–900 °С. При этих температурах в составе обжигаемой массы начинают появляться свободные  $\text{MgO}$  и  $\text{CaO}$  в результате разложения карбонатных включений и выделения свободной  $\text{CO}_2$ . Одновременно происходит припекание частиц керамики друг к другу через образовавшийся расплав.

В интервале температур 800–1050 °С наблюдается распад продуктов дегидратации на отдельные оксиды ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и др.) с образованием жидкой фазы, в состав которой также переходит стеклообразная фаза, содержащая оксиды  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{CaO}$ . Получившиеся легкоплавкие соединения растворяют частицы минералов, выделяя из растворов новые, более устойчивые минералы: шпинель (950–1000 °С), силлиманит (1050 °С), диопсид и анортит (1050–1100 °С) и гематит –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (900 °С). При этом происходит распределение фаз в объеме, в значительной степени определяющее свойства керамики.

После выдержки при максимальной температуре обжига и охлаждения структура керамического материала будет в основном представлена кремнекислородными тетраэдрами, а также алюминокислородными тетраэдрами, непосредственно связанными между собой за счет ковалентных связей.

Итоговая структура керамического материала состоит из минеральных фаз, количественное соотношение которых, полученное

при рентгено-фазовом анализе, зависит от содержания модифицирующих добавок и основывается на распределении катионов  $Me^+$  между кристаллической и аморфной частями структуры материала. Поскольку аморфные фазы не обнаруживаются при используемом методе анализа, изменение количества кристаллических фаз объясняется переходом части структуры в аморфную составляющую. Отсутствие минеральных фаз, содержащих катионы  $Na^+$  и  $K^+$ , подразумевает, что  $Na^+$  и  $K^+$ , образуясь на более ранних стадиях обжига, быстрее других катионов занимают вакансии в стекловидной фазе.

и  $FeO \cdot Al_2O_3$ ). При этом стеклобой, содержащий  $Fe_2O_3$ , увеличивает долю  $Fe^{3+}$  в материале.

На основании этих данных можно предположить, что в структуре упорядоченные области, представленные твердой фазой, будут чередоваться с неупорядоченными областями, представленными стекловидной фазой. Это подтверждается фотографиями, полученными при помощи растрового электронного микроскопа (рис. 2).

Свойства керамики также будут определяться прочностными свойствами минералов, входящих в ее состав. Как

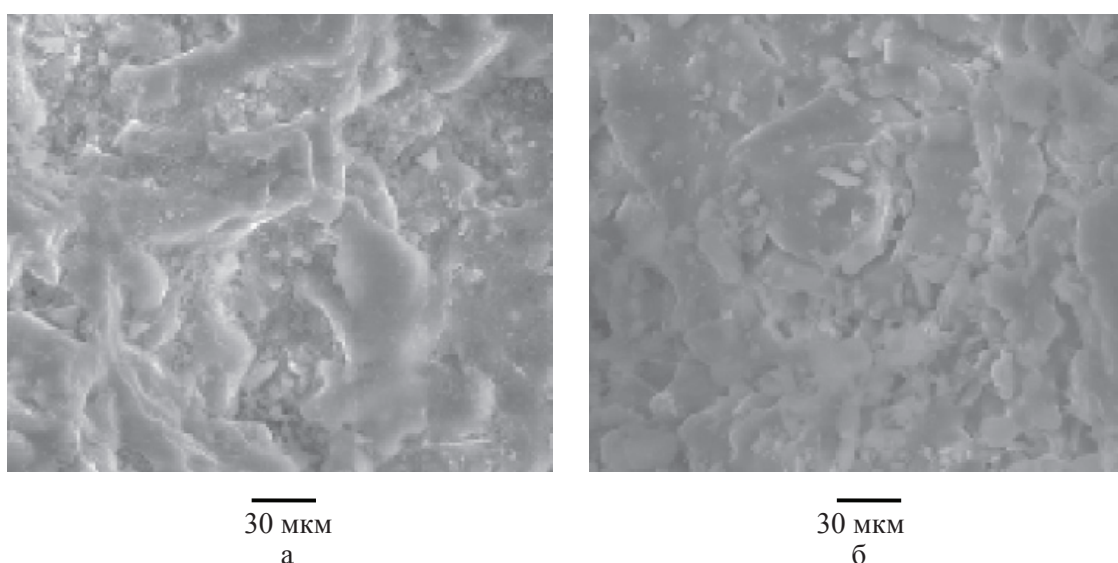


Рис. 2. Фотографии поверхности исследуемого материала, полученные при увеличении в 2000 раз: а – базовый состав; б – модифицированный состав

Таблица 3

Плотность минералов, входящих в состав исследуемого материала

Минерал	Кварц	Анортит	Силлиманит	Шпинель	Диопсид	Гематит
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2600–2650	2740–2760	3240	3600–4100	3220–3380	5260
Твердость по шкале Мооса	7	6–6,5	6,5–7,5	7,5–8	5,5–6,5	5–6

Поэтому их содержание незначительно и их обнаружение при рентгено-структурном анализе затруднительно.

Изменение количества гематита ( $Fe_2O_3$ ) предопределяется сходным механизмом. Большое количество катионов других металлов быстрее заполняет вакансии в структуре кремнекислородных тетраэдров, препятствуя образованию ферритов ( $2FeO \cdot SiO_2$

следует из данных рентгено-фазового анализа (табл. 1), в материале, полученном на основе модифицированного состава, становится меньше содержание кварца и повышается содержание более плотных материалов (табл. 3) [3].

Как следует из данных табл. 3, при этом твердость материала остается практически неизменной, как и его хрупкость [3].

### Выводы

Полученные экспериментальные данные позволяют рассмотреть процессы структурообразования керамического кирпича на всех стадиях технологического процесса и выявить влияние компонентов шихты на эти процессы. Это позволяет обосновать добавление олеата натрия и стекольного боя в состав шихты, а также объяснить физико-механические свойства полученного материала.

Эти знания необходимы при разработке составов шихт и позволяют определить оптимальное соотношение компонентов шихты для получения керамического кирпича высокого качества с заданными свойствами.

### Список литературы

1. Августинник А.И. Керамика – М.: Промстройиздат, 1957. – 484 с.
2. Кияев А. Современные многослойные наружные стены [Электронный ресурс] // Строй Недвижка: сайт. – URL: <http://stroynedvizhka.ru/stroitelstvo-nedvighimosty/mnogosloynnye-narujnyie-stenyi/> (дата обращения 27.12.2015).
3. Все о геологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geo.web.ru/> (дата обращения: 27.12.2015).
4. Отраслевой обзор «Российский рынок стройматериалов». — М.: Департамент консалтинга группы ИНЭК, 2004. — URL: <http://inec.ru/documents/stroymaterial-rus.pdf> (дата обращения: 27.12.2015).
5. Стрелов К.К., Кашеев И.Д. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1996. – 608 с.
6. Христофоров А.И., Христофорова И.А., Пикалов Е.С., Кутровская С.В. Влияние структуры керамики на прочностные характеристики керамического кирпича // Строительство и реконструкция. – 2011. – № 4. – С. 62–67.