

Н. Г. ЧУМАЧЕНКО
В. В. ТЮРНИКОВ
И. В. НЕДОСЕКО

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОЙ КЕРАМИКИ

TO THE QUESTION OF STRUCTURE OPTIMIZATION FOR PRODUCING HIGH-STRENGTH CERAMICS

В статье изложены принципы, обеспечивающие выпуск керамического кирпича повышенной прочностью. Проанализировано изменение фазового состава глинистого сырья в процессе обжига. Определена роль расчетной методики определения количества и состава образующегося при обжиге расплава. Определено значение стеклофазы в упрочнении керамического черепка. С учетом свойств новообразований проанализированы различные типы структур. Определены оптимальные структуры для повышения прочности обожженной керамики. Установлены основные факторы, повышающие прочность керамического кирпича и способы их реализации. Рекомендованы способы реализации.

Ключевые слова: керамический кирпич, фазовый состав, структура, новообразования

The article outlines the principles that ensure the production of high-strength ceramic bricks. The change in the phase composition of clay raw materials during firing is analyzed. The role of the calculation method for determining the amount and composition of the melt formed during firing is determined. The value of the glass phase in the strengthening of the ceramic shard has been determined. Taking into account the properties of neoplasms, various types of structures were analyzed. The optimal structures for increasing the strength of fired ceramics are determined. The main factors that increase the strength of ceramic bricks and methods for their implementation were established. The factors that increase the strength of ceramic bricks are determined. Implementation methods are recommended.

Keywords: ceramic brick, phase composition, structure, neoplasms

Керамический кирпич на ближайшую перспективу останется одним из основных конструктивных материалов [1]. Это – объективная реальность, обусловленная распространенностью и не дефицитностью сырья для его изготовления, простотой технологии, возможностью возведения архитектурно-выразительных построек. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что строительство только тогда будет эффективным, когда имеется широкий выбор стеновых керамических материалов по прочности и размерам.

Практически на всех предприятиях есть проблемы, связанные с качеством. Такое положение характерно не только для Самарской области, но и для других регионов. Изменение технологии строительного производства, а именно переход на многослойные конструкции, повышает требования к прочности кирпича и его стабильности. И если для возведения малоэтажных строений основным требованием будет стабильность, то для многоэтажных – марка по прочности.

Выпуск керамического кирпича повышенной прочности должен базироваться на следующих положениях:

- возможность прогнозирования качества сырья;
- обоснование оптимального фазового состава обожженного керамического кирпича;
- направленная корректировка состава исходного глинистого сырья;
- тщательная гомогенизация массы.

Полную оценку сырья можно получить по нестандартной расчетной методике определения количества и состава образующегося при обжиге расплава, зная его химический состав. Разработанная методика [2] имеет широкий уровень апробации на примере глин Самарской области, Татарии и Башкирии.

Качество обожженного керамического кирпича определяется главным образом его фазовым составом.

В обожженной керамике всегда присутствуют остатки исходных минералов. Прежде всего – это кварцевые зерна и модификации кварца. Роль модификаций кварца различна. Кварцевые зерна могут частично растворяться в расплаве. Не растворившиеся остатки выполняют роль инертных наполнителей. В резуль-

тате полиморфных превращений возможно образование кристобалита и тридимита. Эти разновидности кристаллического кремнезема разрыхляют керамический черепок.

Высокоактивные аморфизированные остатки кремнезема и глинозема при недостатке щелочных оксидов приводят к мулитообразованию, а при наличии щелочных оксидов – к образованию эвтектических алюмосиликатных расплавов.

Стеклофаза представляет собой не закристаллизовавшийся расплав, образованный двойными и тройными эвтектиками. Стеклофаза играет роль связующего, склеивая между собой не растворившиеся в расплаве остатки исходных веществ и отдельные кристаллы новообразований. Известно, что наибольшей прочностью обладают стекла эвтектического состава, еще большей прочности можно достигнуть при направленной кристаллизации расплава. Стеклофаза играет вторую по важности роль в упрочнении керамического черепка [3].

Наиболее важную роль на прочность керамического кирпича оказывают кристаллические новообразования. В качестве основных соединений можно назвать муллит, шпинели (особенно магнезиальную), β -воластонит и твердые растворы. Вид новообразований определяется свойствами сырья: в кислом сырье с избытком кремнезема преобладают кварц, тридимит, кристобалит; в алюмосиликатном глинистом сырье – муллит; при избытке CaO – воластонит. Каждая фаза имеет свою форму и размер, а также влияет на общую структуру обожженного материала. У кварца,

тридимита и кристобалита зерна кубической формы; муллит в основном кристаллизуется в виде длинных тонких игл; кристаллы воластонита – призматические удлинённые [4].

Учитывая вышесказанное, были разработаны существующие и прогнозируемые типы структур с целью выбора оптимальной для повышения прочности керамического кирпича [5–8].

Традиционное кирпично-черепичное сырье кислое по содержанию кремнезема, с преобладанием зерен кварца, которые при обжиге переходят в более стабильные модификации, но форма зерен не меняется. Частично кварц растворяется с поверхности в образующемся расплаве, но основная доля остается в виде включений.

Как следует из рис. 1, а, при получении кирпича по традиционной технологии (грубая переработка) структура, включающая кварц, тридимит и кристобалит, не каркасная. Единичные кристаллы муллита не способствуют упрочнению керамического кирпича. Повышенные степени гомогенизации кремнеземсодержащего сырья (рис. 1, б, в) улучшает структуру за счет перевода ее на более совершенный уровень. Достаточная гомогенизация шихты и максимально плотная упаковка способствуют улучшению структуры за счет увеличения числа и укрупнения размера кристаллов муллита и большего вовлечения зерен кварца и его модификаций в расплав.

За счет описанного эффекта достигается некоторое упрочнение изделий на современных заводах при работе на традиционных составах за счет улучшения структуры при более тонкой переработке.

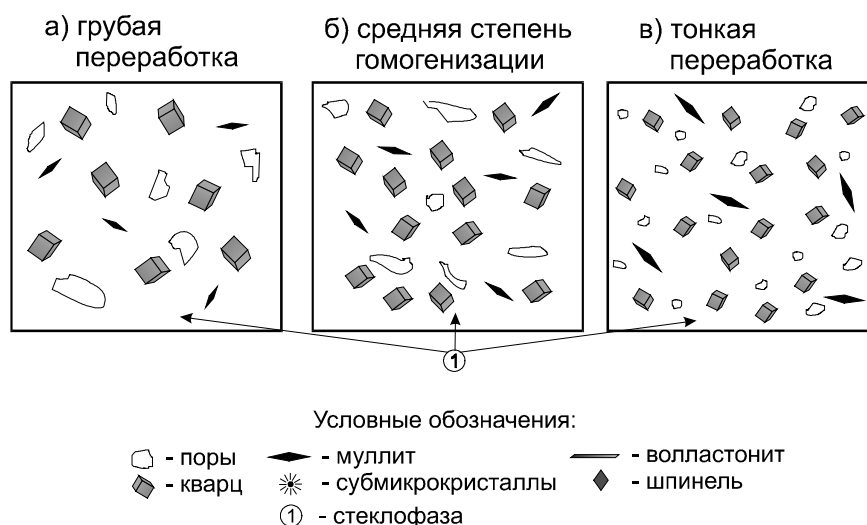


Рис. 1. Влияние степени гомогенизации кирпично-черепичного глинистого сырья на структуру и текстуру керамического кирпича

Проектные типы структур при преобладании определенных минералов новообразований показаны на рис. 2. Каркасный, упрочняющий тип структур характерен при направленном образовании муллита, шпинели, волластонита.

Очевидно, еще больший упрочняющий эффект даст получение материала с оптимальными соотношениями этих фаз (муллит + шпинель – рис. 2, б, муллит + волластонит – рис. 2, в, г). Оптимальная теоретическая структура керамического кирпича показана на рис. 3.

Так как при обжиге керамических изделий образуется 35–50 % стеклофазы, то она играет существенную роль в упрочнении материала. Наибольший эффект упрочнения может быть достигнут при направленной каталитической кристаллизации стеклофазы (см. рис. 3).

В ходе проведенного анализа были установлены основные факторы, повышающие прочность керамического кирпича, и способы их реализации, которые отражены в таблице и рекомендуются для использования при раз-

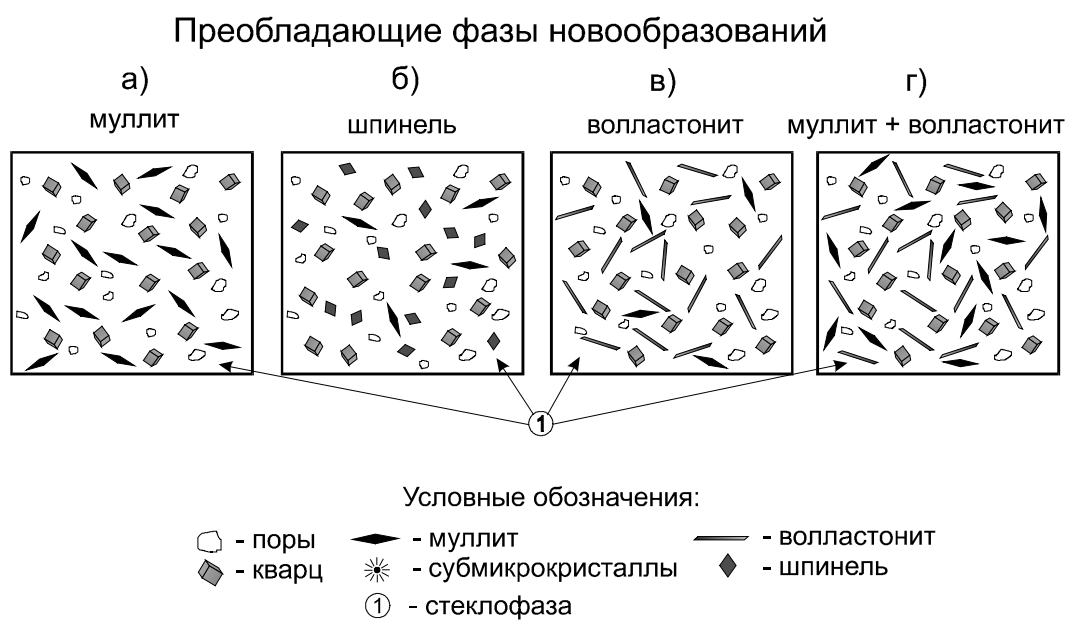


Рис. 2. Влияние направленной корректировки фазового состава новообразований на структуру и текстуру керамического кирпича

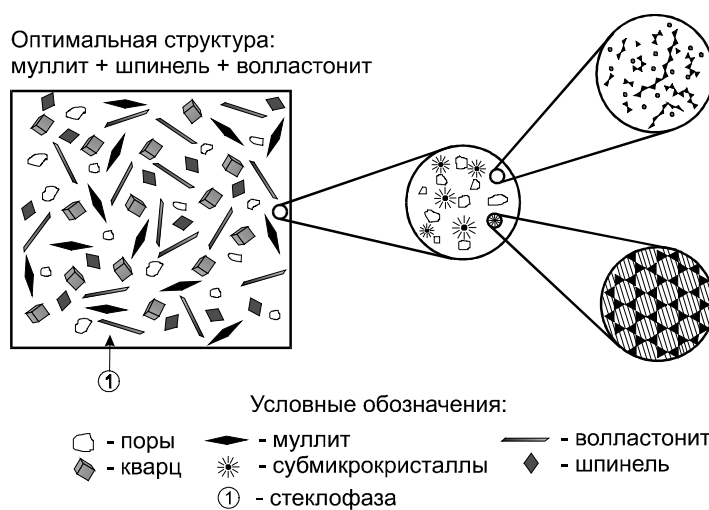


Рис. 3. Оптимальная структура керамического кирпича

Влияние фазового состава на прочность керамического кирпича

Фазовый состав кирпича	Факторы, повышающие прочность кирпича	Способы реализации
Остатки исходных минералов	Снижение количества $\text{SiO}_{2\text{кр.}}$	За счет более тонкого помола и большего вовлечения $\text{SiO}_{2\text{кр.}}$ в расплав
Кристаллические новообразования	Уменьшение $\text{SiO}_{2\text{кр.}}$ Увеличение содержания муллита, шпинели, волластонита и твердых растворов	Введение добавок, обеспечивающих образование этих соединений
Стеклофаза	1. Снижение температуры образования расплава	Введение добавок, обеспечивающих образование расплава при $t \approx 500^\circ\text{C}$
	2. Получение состава наибольшей прочности	Получение расплава эвтектического состава
	3. Получение субмикроструктурной структуры	За счет введения добавок TiO_2 , MeF , P_2O_5 , ZrO_2 , Cr_2O_3 , MeS , ZnO , NiO , CuO , Fe_2O_3 и др.

работке составов керамических шихт по выпуску высокопрочного кирпича.

Повышение прочности может быть достигнуто на гомогенных шихтах за счет оптимизации структуры и фазового состава путем направленного синтеза кристаллических новообразований (муллита, шпинели, волластонита, а также твердых растворов) и каталитической кристаллизации эвтектического алюмосиликатного расплава [5].

Таким образом, в составе керамического кирпича можно выделить три группы фаз: остатки исходных минералов, кристаллические фазы новообразований и стеклофаза. Каждая из этих трех основных групп, образующихся при обжиге кирпича, может быть откорректирована так, чтобы либо максимально снизить её вредное воздействие, либо максимально использовать ее положительное воздействие на прочность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семёнов А.А. Тенденции развития кирпичной промышленности и кирпичного домостроения в России // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 49–51. DOI: <https://10.31659/0585-430X-2018-762-8-49-51>
2. Chumachenko N.G. The use of phase rule diagrams of aluminosilicate systems for calculating melt amount and constituents appearing in ceramic mixture under firing. *Procedia Engineering*. 2014, vol. 91, pp. 381–385.
3. Павлов В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. М.: Стройиздат, 1977. 240 с.
4. Павлов В.Ф., Митрохин В.С. Исследование фазовых превращений в глинах различного минералогического состава в процессе непрерывного на-

грева // Тр. НИИСтройкерамики. 1975. Вып. 40–41. С. 204–221.

5. Столбоушкин А.Ю., Бердов Г.И., Верецагин В.И., Фомина О.А. Керамические стеновые материалы матричной структуры на основе неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья // Строительные материалы. 2016. № 8. С. 20–23. DOI: 10.31659/0585-430X-2016-740-8-19-24.

6. Салахов А.М., Кабиров Р.Р., Морозов В.П., Арискина Р.А., Валимухаметова А.Р., Арискина К.А. Исследование структуры и фазового состава глин в процессе их термической обработки // Строительные материалы. 2017. № 9. С. 18–22.

7. Иванов А.И., Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И. Принципы создания оптимальной структуры керамического кирпича полусухого прессования // Строительные материалы. 2015. № 4. С. 65–71. DOI: 10.31659/0585-430X-2015-724-4-65-71.

8. Салахов А.М., Тагиров Л.Р. Структурообразование керамики из глин, формирующих при обжиге различные минеральные фазы // Строительные материалы. 2015. № 8. С. 68–75. DOI: 10.31659/0585-430X-2015-728-8-68-75.

REFERENCES

1. Semenov A.A. Trends in the development of the brick industry and brick house-building in Russia. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2018, no. 8, pp. 49–51. (in Russian) DOI: 10.31659/0585-430X-2018-762-8-49-51
2. Chumachenko N.G. The use of phase rule diagrams of aluminosilicate systems for calculating melt amount and constituents appearing in ceramic mixture under firing. *Procedia Engineering*. 2014, vol. 91, pp. 381–385.
3. Pavlov V.F. *Fiziko-himicheskie osnovy obzhiga izdelij stroitel'noj keramiki* [Physicochemical bases of roasting of

construction ceramics products]. Moscow, Stroyizdat, 1977. 240 p.

4. Pavlov V.F., Mitrohin V.S. Study of phase transformations in clays of various mineralogical composition during continuous heating. *Trudy NIIsroykeramiki* [Proceedings of NIIsroykeramiki], 1975, no. 40–41, pp. 204–221. (in Russian)

5. Stolboushkin A.Ju., Berdov G.I., Vereshhagin V.I., Fomina O.A. Ceramic wall materials of a matrix structure based on non-sintering low-melting-steel technogenic and natural raw materials. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2016. no. 8, pp. 20–23. (in Russian) DOI: 10.31659/0585-430X-2016-740-8-19-24

6. Salahov A.M., Kabirov R.R., Morozov V.P., Ariskina R.A., Valimuhametova A.R., Ariskina K.A. Study of the structure and phase composition of clays during their thermal drilling. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2017, no. 9, pp. 18–22. (in Russian)

7. Ivanov A.I., Stolboushkin A.Ju., Storozhenko G.I. Principles of creation of optimal structure of ceramic

brick of semi-dry pressing. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2015, no. 4, pp. 65–71. (in Russian) DOI: 10.31659/0585-430X-2015-724-4-65-71

8. Salahov A.M., Tagirov L.R. Structure formation of ceramics from clays forming various Mi-non-oral phases during firing. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials], 2015, no. 8, pp. 68–75. (in Russian) DOI: 10.31659/0585-430X-2015-728-8-68-75

Об авторах:

ЧУМАЧЕНКО Наталья Генриховна

доктор технических наук, профессор,
заведующая кафедрой производства строительных
материалов, изделий и конструкций
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: uvarovang@mail.ru

ТЮРНИКОВ Владимир Викторович

кандидат технических наук,
доцент кафедры производства строительных
материалов, изделий и конструкций
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: sm-115@mail.ru

НЕДОСЕКО Игорь Вадимович

доктор технических наук, профессор кафедры
строительных конструкций
Уфимский государственный нефтяной технический
университет
450064, Россия, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
E-mail: nedoseko1964@mail.ru

CHUMACHENKO Natalia G.

Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the
Production of Building Materials, Products
and Structures Chair
Samara State Technical University
Academy of Civil Engineering and Architecture
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: uvarovang@mail.ru

TYURNIKOV Vladimir V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the
Production of Building Materials, Products
and Structures Chair
Samara State Technical University
Academy of Civil Engineering and Architecture
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: sm-115@mail.ru

NEDOSEKO Igor V.

Doctor of Engineering Science, Professor
of the Building Structures Chair
Ufa State Oil Technical University
450064, Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa,
Kosmonavtov str., 1
E-mail: nedoseko1964@mail.ru

Для цитирования: Чумаченко Н.Г., Тюрников В.В., Недосеко И.В. К вопросу оптимизации структуры для получения высокопрочной керамики // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 1. С. 92–96. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.12.

For citation: Chumachenko N.G., Tyurnikov V.V., Nedoseko I.V. To the Question of Structure Optimization for Producing High-Strength Ceramics. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 1, pp. 92–96. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.01.12.