

УДК 666.3

Евгения Михайловна ДЯТЛОВА,
кандидат технических наук
доцент кафедры технологии
стекла и керамики
Белорусского государственного
технологического университета

**Елена Станиславовна
КАКОШКО,**
кандидат технических наук,
научный сотрудник кафедры
технологии стекла и керамики
Белорусского государственного
технологического университета

**Наталья Леонидовна
ПАРФИМОВИЧ,**
инженер кафедры технологии
вяжущих материалов
Белорусского государственного
технологического университета

**Сергей Васильевич
ПЛЬШЕВСКИЙ,**
кандидат технических наук,
доцент кафедры технологии
вяжущих материалов
Белорусского государственного
технологического университета

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГЛИН РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

CERAMIC MATERIALS BASED ON BELARUSIAN CLAYS AND THEIR BEHAVIOUR UNDER CONSTANT CYCLIC LOADING CONDITIONS

В статье приведены результаты исследований физико-химических и термических свойств керамических материалов для теплогенерирующих устройств на основе природного и техногенного алюмосиликатного сырья Республики Беларусь, а также их поведение в процессе резкого термоциклирования более жесткого, чем условия эксплуатации в печи (нагрев до 800 °С и резкое охлаждение в воде).

This article presents the analysis results of the physical-chemical and thermal properties of the ceramic materials used in thermal generating sets. They are based on natural and technogenic aluminosilicate raw materials of the Republic of Belarus. The behaviour of the ceramic materials has been described under sharp thermocycling conditions which were more severe than the operating conditions in the furnace (heating up to 800 °C and abrupt cooling in cold water).

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в республике несмотря на принимаемые меры по линии Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС) довольно остро стоит проблема по снижению пожароопасности при использовании в жилом секторе теплогенерирующих устройств, в частности, различного вида печей и каминов.

Ежегодно происходит более 2 тысяч пожаров по причине нарушения правил их устройства и эксплуатации. По ориентировочным данным в республике эксплуатируется более 2 млн печей, из них свыше 2/3 — возрастом 30 лет и более. По данным результатов обследований сотрудниками МЧС таких печей, большинство из них неисправны: требуют ремонта, выполнены с различными нарушениями правил пожарной безопасности.

Одной из причин создавшегося положения является отсутствие в республике строительных материалов целевого назначения — печного кирпича и мертеля для выполнения кладки печей.

Используемые для этих целей в бытовом секторе строительный кирпич и кладочные растворы на основе местных глин и кварцевого песка не обеспечивают комплекс свойств, требуемых для печной кладки, а именно, термостойкости, теплопроводности, теплоемкости, механической прочности и др. В результате, по данным практических исследований печи имеют непродолжительный срок службы и требуют частого ремонта.

Анализ термомеханических свойств керамического кирпича, выпускаемого в республике, показал, что изделия не отвечают требованиям к печному кирпичу по термостойкости, которая не превышает 5–7 теплосмен. Следует отметить более высокие показатели термостойкости керамического кирпича Минского завода строительных материалов и ОАО "Керамика" (г. Витебск). Основными причинами низкой термостойкости керамического кирпича являются: недостаточная механическая прочность материала; неоднородность структуры; наличие высокого содержания кристаллической фазы кварца, который обладает полиморфизмом, сопровождающимся изменением объема при термоциклировании; существенные отличия значений температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) глинистой матрицы и применяемых отощителей и другие факторы.

На рынке строительных материалов в качестве печного предлагается кирпич бельгийский, финский, латвийский, эстонский и др. Изготавливается печной кирпич как полусухим прессованием, так и ручной набивкой в формы. Однако при всей эстетичности и дороговизне, они не обладают высокими термомеханическими характеристиками. Как было отмечено на Гильдии печников России, настоящего печного кирпича, сочетающего доступную цену и высокое качество, нет.

В процессе эксплуатации в печах бытового и другого назначения керамический кирпич подвергается нагреву и охлаждению, которые сопровождаются неравномерным изменением объема, что вызывает возникновение

термических напряжений, приводящих в конечном итоге к разрушению кладки печи. В связи с этим, представляет большой интерес исследование поведения материалов в процессе термоциклирования более жесткого, чем условия эксплуатации в печи.

В статье далее излагаются результаты разработки составов шихтовых композиций для получения термостойкого керамического кирпича, который пригоден при сооружении теплогенерирующих устройств бытового и коммунального назначения.

ПРОВЕДЕНИЕ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве глинистых компонентов для исследования выбраны тугоплавкая глина месторождения "Городное" (Брестская обл.), легкоплавкие глины месторождений "Осетки" и "Лукомль" (Витебская обл.), "Гайдуковка" (Минская обл.), а также огнеупорное сырье — каолин месторождения "Ситница" (Брестская обл.). Выбор глин из разных областей сделан преднамеренно, так как доступные кладочные материалы для печей должны производиться практически в каждой области.

В качестве отощающих материалов исследованы отсева добычи и обработки гранитного камня Микашевичского месторождения (Брестская обл.), дегидратированные легкоплавкие и тугоплавкие глины, а также алюмосиликатный огнеупорный шамот.

Алюмосиликатный шамот использовался в виде лома огнеупорных изделий, образующегося при замене и ремонте футеровки тепловых установок на металлургических и машиностроительных предприятиях Беларуси. Зерновой состав порошка шамота принят непрерывным с максимальным размером зерна до 3 мм. Шамот, в отличие от других отощителей, не снижает огнеупорности и других физико-технических свойств изделий, повышая при этом их механическую прочность и улучшая эксплуатационные характеристики. Указанные свойства шамот приобретает за счет присутствия кристаллических фаз муллита и α -кварца.

Дегидратированные легкоплавкие и тугоплавкие глины получали термообработкой при температуре (700–750) °С с последующим измельчением и просевом через сито № 2.

На основе анализа термических свойств и структурных особенностей природного и техногенного алюмосиликатного сырья определены предельные содержания компонентов шихтовых композиций. Для синтеза первой серии опытных образцов материалов были использованы тугоплавкая глина месторождения "Городное" (70 %–90 %) и легкоплавкая глина месторождения "Лукомль" (30 %–35 %), а также их смесь 1:1 (по массе). В качестве отощителей применялись дегидратированные глины месторождений "Городное" и "Лукомль", шамот алюмосиликатный и гранитные отсева. Все отощители вводились в количестве от 10 % до 30 %.

Опытные образцы керамических материалов были изготовлены по традиционной пластической технологии, влажность массы — 20 %. Отощитель имел непрерывный зерновой состав, максимальный размер зер-

на составлял не более 3 мм. Сушка образцов проводилась в сушильном шкафу при температуре 100 °С, обжиг — в электрической печи при температуре 1050 °С–1250 °С с выдержкой 1–2 ч, скорость подъема температуры — 250 °С/ч.

Физико-химические свойства образцов испытывались по стандартным методикам. Установлено, что водопоглощение образцов изменяется в пределах 5,9 %–14,9 %, кажущаяся плотность — 1882–2207 кг/м³, открытая пористость — 12,5 %–28,0 %. Гранитные отсева снижают водопоглощение, шамот алюмосиликатный, наоборот, способствует его увеличению, а дегидратированная глина не оказывает значительного влияния на водопоглощение образцов.

Образцы на основе смеси глин месторождений "Городное" и "Лукомль", обожженные при температуре 1100 °С, имеют меньшие значения водопоглощения и открытой пористости и более высокие значения плотности, чем обожженные при температуре 1050 °С. Высокие значения открытой пористости обусловлены, по мнению авторов, наличием микротрещин, которые наряду с крупнозернистой структурой могут способствовать повышению термостойкости изделий.

Механическая прочность является одним из важнейших свойств кирпича, так как в процессе эксплуатации он испытывает большие механические нагрузки. Значения предела прочности при сжатии образцов, обожженных при температуре 1150 °С, для первой серии шихтовых композиций составляли от 20,12 до 44,82 МПа.

Значения ТКЛР исследуемых материалов в интервале температур 20 °С–400 °С составили (6,59–7,85)·10⁻⁶ К⁻¹. Установлено, что введение в шихту шамота позволяет снизить термическое расширение, тем самым способствуя возрастанию термостойкости изделия.

Как показали проведенные ранее исследования термостойкости кирпича, выпускаемого предприятиями Республики Беларусь, наименьшее количество циклов нагрева и резкого охлаждения выдержали изделия, в составе которых в качестве отощителя использован кварцевый песок и гранитные отсева. Это обусловлено тем, что кварц подвержен полиморфным превращениям с изменением объема, что создает термические напряжения в материале. Гранитные отсева способствуют образованию стеклофазы, ТКЛР которой значительно отличается от ТКЛР аморфизированной и кристаллической матрицы кирпича, что также снижает термостойкость. В связи с этим, вторая серия опытных образцов была синтезирована на основе различных сочетаний огнеупорной глины месторождения "Городное", каолина месторождения "Ситница" и ряда легкоплавких глин месторождений "Лукомль", "Осетки" и "Гайдуковка", которые используются на отечественных предприятиях в настоящее время. Вид отощителей ограничивался алюмосиликатным шамотом и дегидратированной глиной.

Так, серия опытных образцов ЛГ была синтезирована из шихтовых композиций на основе сочетания легкоплавкой глины месторождения "Лукомль" и тугоплавкой глины месторождения "Городное" и отощителей при следующем содержании компонентов (мас.%) *: 20–50 глины "Лукомль", 50–20 глины "Городное",

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

Таблица 1. Физико-химические свойства опытных образцов

| Номер образца серии | Характеристики образца | | | | |
|---------------------------------------|------------------------|--------------------------|--|-----------------------------|-----------|
| | Водопоглощение В, % | Открытая пористость П, % | Кажущаяся плотность, кг/м ³ | Механическая прочность, МПа | |
| | | | | при изгибе | на сжатие |
| Серия ЛГ (Лукомль–Городное) | | | | | |
| 1ЛГ | 8,03 | 17,79 | 2215 | 17,99 | 53,97 |
| 3ЛГ | 11,61 | 24,52 | 2112 | 9,35 | 28,05 |
| 4ЛГ | 9,59 | 26,55 | 2769 | 10,24 | 30,72 |
| 5ЛГ | 6,18 | 13,58 | 2198 | 8,52 | 25,56 |
| 7ЛГ | 9,59 | 21,35 | 2226 | 20,14 | 60,42 |
| Серия ОГ (Осетки–Городное) | | | | | |
| 1ОГ | 6,08 | 13,42 | 2208 | 16,30 | 48,9 |
| 2ОГ | 8,43 | 18,43 | 2186 | 19,19 | 57,57 |
| 3ОГ | 10,35 | 18,66 | 1803 | 17,57 | 52,71 |
| 4ОГ | 6,95 | 15,82 | 2276 | 17,42 | 52,26 |
| 5ОГ | 6,98 | 15,50 | 2220 | 6,77 | 20,31 |
| 6ОГ | 7,35 | 16,16 | 2199 | 10,65 | 32,74 |
| 7ОГ | 8,44 | 18,17 | 2153 | 14,24 | 42,72 |
| Серия КГ (Каолин–Городное) | | | | | |
| 1КГ | 11,55 | 24,28 | 2102 | 3,65 | 10,95 |
| 2КГ | 10,71 | 23,82 | 2224 | 8,42 | 25,26 |
| 3КГ | 11,66 | 25,37 | 2176 | 8,72 | 26,16 |
| 4КГ | 10,35 | 22,81 | 2204 | 9,81 | 29,43 |
| 5КГ | 13,16 | 28,72 | 2182 | 3,34 | 10,02 |
| 6КГ | 12,02 | 25,06 | 2085 | 3,50 | 10,5 |
| 7КГ | 10,38 | 22,38 | 2156 | 8,35 | 25,05 |
| Серия ГГ (Гайдуковка–Городное) | | | | | |
| 1ГГ | 11,46 | 25,20 | 2199 | 13,48 | 40,44 |
| 2ГГ | 12,18 | 26,38 | 2166 | 12,97 | 38,91 |
| 3ГГ | 12,59 | 27,11 | 2153 | 10,28 | 30,84 |
| 4ГГ | 11,59 | 23,59 | 2168 | 9,45 | 28,35 |

20–30 шамота алюмосиликатного, 20–30 дегидратированной глины "Городное". Серия образцов **ОГ** была получена на основе сочетания 20–50 легкоплавкой глины месторождения "Осетки" и 50–20 тугоплавкой глины месторождения "Городное", 20–30 дегидратированной глины "Осетки" и 20–30 шамота алюмосиликатного. Серия образцов **КГ** была получена на основе сочетания 20–80 каолина месторождения "Ситница" и 60–20 тугоплавкой глины месторождения "Городное", 20 шамота алюмосиликатного и 20 дегидратированной глины "Городное". Серия образцов **ГГ** была получена на основе сочетания 30–50 легкоплавкой глины месторождения "Гайдуковка" и 50–20 тугоплавкой глины месторождения "Городное", 20–30 шамота алюмосиликатного.

Опытные образцы керамических изделий изготавливались по традиционной пластической технологии. Сушка образцов проводилась в сушильном шкафу при температуре 100 °С, обжиг — в электрической печи при температуре 1100 °С (составы серий ЛГ, ОГ, ГГ), а образцы серии КГ — при температуре 1200 °С с выдержкой 1 ч. Обожженные опытные образцы имели цвет от светло-бежевого до коричневого. Физико-химические свой-

ства образцов испытывались по стандартным методикам, принятым в керамической технологии.

Результаты определения физико-химических свойств исследуемых образцов в зависимости от состава и температуры обжига приведены в таблице 1.

Следует отметить, что при использовании легкоплавких глин месторождений "Осетки" и "Лукомль" количество расплава при спекании увеличивается. Это обусловлено их минеральным и химическим составом; в таких глинах содержание щелочных и щелочноземельных оксидов гораздо выше, чем в глине месторождения "Городное". Благодаря этим свойствам происходит заполнение порового пространства и, как следствие, уменьшение водопоглощения и открытой пористости, увеличение кажущейся плотности.

Наименьшими значениями водопоглощения и, соответственно, открытой пористости обладают опытные образцы серии ОГ, что свидетельствует о более полном протекании процесса спекания по сравнению с другими составами композиций. Так, с повышением содержания глины месторождения "Осетки" взамен глины месторождения "Городное" водопоглощение снижается от 10,35 % до 6,08 %.

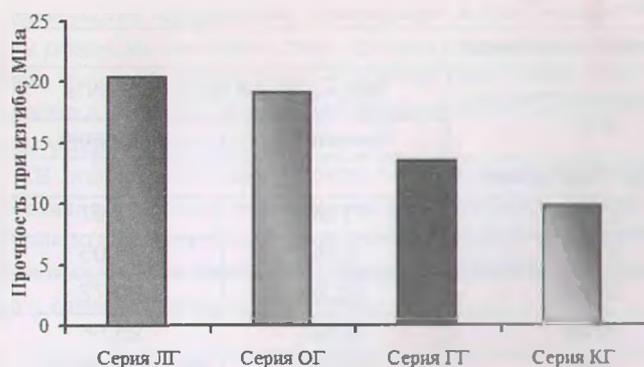


Рис. 1. Механическая прочность опытных образцов

Механическая прочность керамики зависит от степени дефектности кристаллической решетки, от соотношения структурных составляющих, причем не только от их количественного соотношения, но и пространственного расположения. Чем меньше пористость, тем выше показатели механической прочности, так как пористость является разновидностью объемных дефектов на макроуровне, являющихся концентраторами механических напряжений, резко снижающих механическую прочность. На рис. 1 показана прочность при изгибе образцов различных серий.

Предел прочности при изгибе опытных образцов составил 3,5–20,34 МПа, а на сжатие — от 10,5 до 53,4 МПа. Наибольшее значение механической прочности показали образцы серии ЛГ (максимальное значение — 20,34 МПа), а наименьшее — серии КГ (максимальное значение — 9,81 МПа).

Термическое расширение является важнейшей характеристикой для материалов, работающих в условиях постоянного термоциклирования. ТКЛР образцов в зависимости от температуры измерения для различных серий составов приведены в таблице 2.

Наибольшие значения ТКЛР имеют образцы серии КГ, а наименьшие — серий ОГ и ГГ, что обусловлено химическим и фазовым составом образцов.

Таким образом, результаты экспериментальных данных показали, что опытные образцы, в составе которых содержалась в качестве отощителя дегидратированная глина, имеют большие значения водопоглощения и открытой пористости и меньшие значения механической прочности, чем при использовании шамота алюмосиликатного. В связи с этим, можно сделать вывод, что в качестве отощителя целесообразно применять шамот алюмосиликатный.

Если сравнивать результаты исследований по сериям изученных шихтовых композиций, то лучшими свойствами обладают образцы серии ОГ: у них наименьшие значения водопоглощения, открытой пористости

и ТКЛР, наибольшие — механической прочности, так как они выдержали большее число теплосмен попеременного нагревания и охлаждения. Образцы серии ГГ имеют наибольшие значения водопоглощения, открытой пористости, ниже показатели механической прочности и в наименьшей степени пригодны для использования в условиях длительного термоциклирования. Образцы серии КГ характеризуются наибольшими значениями ТКЛР и наименьшими — механической прочности.

Термоциклирование проводилось по режиму: нагрев образцов до температуры 800 °С — выдержка при такой температуре 30 мин — резкое охлаждение в воде. Затем осуществлялись визуальный осмотр образцов (отмечалось изменение цвета, появление трещин и потеря массы), сушка в сушильном шкафу и взвешивание. После каждых пяти циклов испытаний измеряли свойства образцов (водопоглощение, пористость, плотность), а после 20 циклов определяли предел прочности при изгибе, а также исследовали фазовый состав и структуру образцов.

Полученные результаты испытаний свидетельствуют о том, что образцы разных серий ведут себя при термоциклировании по-разному: у образцов серий ГГ и КГ водопоглощение после первых циклов испытания практически не изменяется, а затем, после 10 циклов, повышается. Для образцов серий ЛГ и ОГ сначала наблюдается некоторое снижение водопоглощения и открытой пористости за счет продолжающихся процессов спекания при нагреве, так как глины месторождений "Лукомль" и "Осетки" содержат меньше кварцевых включений и более склонны к спеканию. После 15 циклов наблюдается небольшой рост показателей указанных свойств, поскольку в образцах появляются термические трещины.

Результаты измерения физико-химических свойств исследуемых образцов приведены в таблице 3.

Дальнейшее термоциклирование до 65 теплосмен было проведено для опытных образцов оптимальных составов от каждой серии, результаты которого приведены на рис. 2 в виде зависимости водопоглощения опытных образцов от количества циклов теплосмен.

Установлено, что все образцы выдержали 50 циклов без видимых повреждений с небольшими структурными изменениями, о чем свидетельствуют практически постоянные показатели плотности и водопоглощения образцов. В то время как образцы обычного керамического кирпича выдерживают не более 5–7 циклов. Лучшими показателями термостойкости обладают керамические материалы на основе сочетания тугоплавкой глины месторождения "Городное" с легкоплавкими глинами месторождений "Гайдуковка" и "Осетки" с использованием в качестве отощителя алюмосиликатного шамота.

Таблица 2. Температурный коэффициент линейного расширения опытных образцов в зависимости от температуры измерения

| Серия | ТКЛР $10^{-6}, K^{-1}$ при температуре, °С | | | | | | | | Среднее |
|-------|--|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | |
| 4ЛГ | 3,57 | 4,18 | 4,53 | 5,68 | 5,85 | 5,83 | 5,82 | 5,80 | 5,16 |
| 7ОГ | 4,94 | 4,91 | 4,83 | 4,76 | 4,71 | 4,66 | 4,61 | 4,62 | 4,73 |
| 1КГ | 4,29 | 4,03 | 7,09 | 8,35 | 9,78 | 8,98 | 8,71 | 8,63 | 7,11 |
| 3ГГ | 2,75 | 2,82 | 3,04 | 4,6 | 5,2 | 5,51 | 5,74 | 5,99 | 4,46 |

Таблица 3. Физико-химические свойства синтезированных образцов

| Номер образца серии | Свойства образцов, % | | Свойства образцов, %, при количестве циклов | | | | | | | |
|---------------------|----------------------|-------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | до испытаний | | 5 | | 10 | | 15 | | 20 | |
| | В | P_0 | В | P_0 | В | P_0 | В | P_0 | В | P_0 |
| Серия КГ | | | | | | | | | | |
| 1КГ | 11,55 | 24,28 | 11,79 | 24,80 | 11,66 | 24,53 | 11,68 | 24,53 | 11,94 | 24,82 |
| 2КГ | 10,71 | 23,82 | 10,97 | 24,30 | 10,69 | 23,76 | 10,47 | 23,23 | 10,88 | 23,88 |
| 3КГ | 11,66 | 25,37 | 12,16 | 26,53 | 11,75 | 25,58 | 11,93 | 25,17 | 12,05 | 25,97 |
| 4КГ | 10,35 | 22,81 | 10,46 | 23,05 | 10,41 | 21,39 | 10,33 | 22,77 | 10,85 | 23,65 |
| 5КГ | 13,16 | 28,72 | 13,32 | 29,06 | 12,46 | 27,03 | 12,93 | 28,16 | 13,47 | 29,08 |
| 6КГ | 12,02 | 25,06 | 12,35 | 25,65 | 11,60 | 24,09 | — | — | — | — |
| 7КГ | 10,38 | 22,38 | 10,82 | 29,39 | 10,67 | 23,07 | 10,67 | 23,07 | 10,94 | 23,39 |
| Серия ОГ | | | | | | | | | | |
| 1ОГ | 6,08 | 13,42 | 5,85 | 12,89 | 5,86 | 19,72 | 5,88 | 12,89 | 5,97 | 12,89 |
| 2ОГ | 8,43 | 18,43 | 8,29 | 18,01 | 8,02 | 17,47 | 8,22 | 17,47 | 8,41 | 18,01 |
| 3ОГ | 10,35 | 18,66 | 10,20 | 18,35 | 10,10 | 18,21 | 10,12 | 18,21 | 10,07 | 17,86 |
| 4ОГ | 6,95 | 15,82 | 7,22 | 16,48 | 7,24 | 16,48 | 6,68 | 15,16 | 7,09 | 15,82 |
| 5ОГ | 6,98 | 15,50 | 7,24 | 16,07 | 7,22 | 16,06 | 7,28 | 16,06 | 7,36 | 16,07 |
| 6ОГ | 7,35 | 16,16 | 7,09 | 15,56 | 7,06 | 15,49 | 7,09 | 15,49 | 7,21 | 15,56 |
| 7ОГ | 8,44 | 18,17 | 8,82 | 19,01 | 9,09 | 19,69 | 8,55 | 18,43 | 8,91 | 18,99 |
| Серия ЛГ | | | | | | | | | | |
| 1ЛГ | 8,03 | 17,79 | 7,52 | 16,57 | 7,69 | 16,98 | 7,73 | 16,98 | 7,89 | 17,16 |
| 3ЛГ | 11,61 | 24,52 | 11,27 | 23,62 | 11,00 | 23,11 | 10,76 | 22,55 | 11,39 | 23,62 |
| 4ЛГ | 9,59 | 26,55 | 9,30 | 25,70 | 9,62 | 26,65 | 9,36 | 19,94 | 9,71 | 20,43 |
| 5ЛГ | 6,18 | 13,58 | 6,33 | 13,88 | 5,97 | 13,09 | 5,99 | 13,09 | 6,20 | 13,30 |
| 7ЛГ | 9,59 | 21,35 | 9,31 | 20,64 | 9,16 | 20,31 | 8,90 | 19,69 | 9,72 | 21,28 |
| Серия ГГ | | | | | | | | | | |
| 1ГГ | 11,46 | 25,20 | 12,47 | 27,45 | 11,53 | 25,38 | 11,55 | 25,38 | 11,60 | 25,16 |
| 2ГГ | 12,18 | 26,38 | 12,06 | 26,05 | 11,87 | 25,63 | 11,89 | 25,64 | 11,94 | 25,47 |
| 3ГГ | 12,59 | 27,11 | 12,53 | 26,95 | 12,45 | 26,78 | 12,48 | 16,78 | 12,68 | 26,95 |
| 4ГГ | 11,59 | 23,59 | 11,79 | 26,17 | 12,29 | 27,41 | 11,85 | 26,17 | 11,67 | 12,88 |

Из приведенных выше результатов исследований видно, что значения водопоглощения и пористости практически не изменяются за 50–55 теплосмен. По мнению авторов, это связано с тем, что сразу происходит дальнейшее уплотнение материала за счет завершающихся процессов спекания и залечиваются образующиеся микротрещины. Свыше указанного количества теплосмен процесс образования термических микротрещин начинает превалировать, что способствует повышению значений водопоглощения и пористости.

Для изучения фазового состава, во многом определяющего высокие показатели термостойкости, был проведен рентгенофазовый анализ опытных образцов серии ЛГ до и после термоциклирования. Установлено, что качественный фазовый состав образцов не изменяется — основными кристаллическими фазами являются кварц, муллит. Следует отметить лишь незначительное снижение интенсивности дифракционных максимумов указанных фаз, что, по мнению авторов, обусловлено их частичной поверхностной аморфизацией под действием термоциклических нагрузок.

Микроструктура опытных образцов исследовалась с помощью оптического микроскопа "Leika" в отраженном свете при увеличении в 1000 раз (рис. 3).

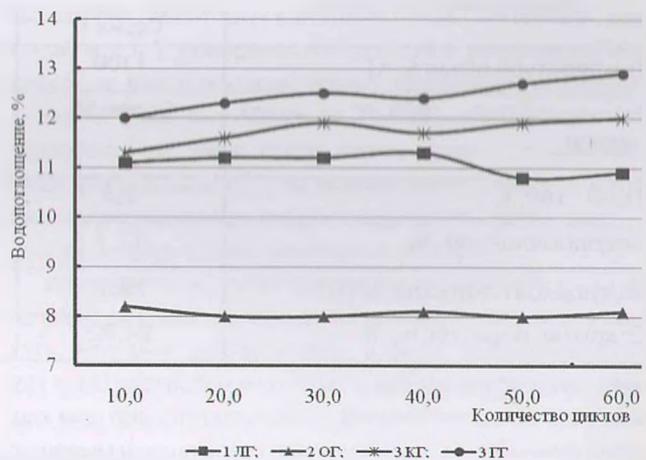


Рис. 2. Зависимость водопоглощения опытных образцов от количества циклов

Как видно из рис. 3, структура опытных образцов до и после термоциклирования отличается размерами конгломератов. В обоих случаях она неоднородна, микрогетерогенна, представлена зернами отощителя, кварца, муллита, аморфизированного дегидратированного глинистого вещества.

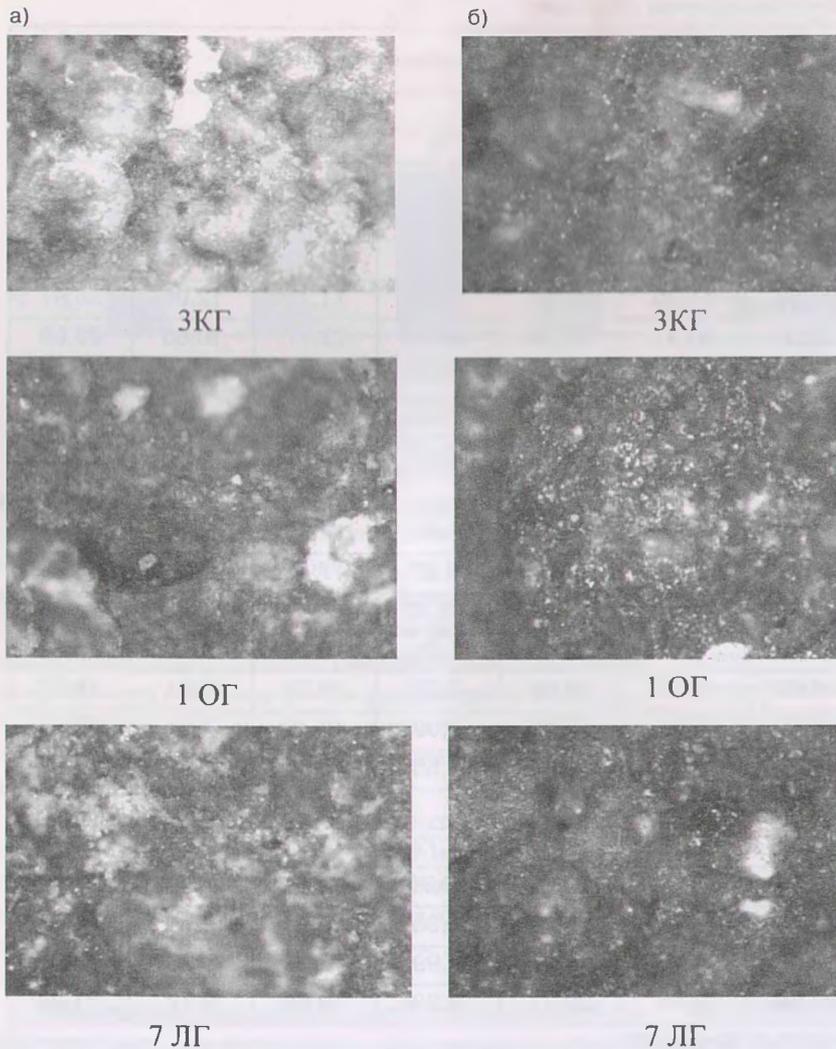


Рис. 3. Микроструктура опытных образцов:
а — до термоциклирования;
б — после 20 циклов термоциклирования

Таблица 4. Свойства образцов из шихт оптимальных составов

| Наименование показателя | Величина показателя | |
|---|---------------------|----------|
| | Серия 1 | Серия 2 |
| Температура обжига, °С | 1100 | 1100 |
| Термостойкость (800 °С – вода), циклов | Более 50 | Более 50 |
| ТКЛР · 10 ⁻⁶ , К ⁻¹ | 6,3 | 4,73 |
| Водопоглощение, % | 12,7 | 6,95 |
| Кажущаяся плотность, кг/м ³ | 1956 | 2276 |
| Открытая пористость, % | 24,82 | 15,82 |

Можно предположить, что в течение первых 20 циклов происходило, как было уже отмечено, уплотнение материала, завершение процессов спекания, размягчение стеклофазы и залечивание трещин. Дальнейшее термоциклирование вызвало более существенные изменения структуры за счет ослабления внутрикристаллических связей.

На основании результатов проведенных исследований выбраны оптимальные составы шихтовых композиций двух серий (серия 1 — глина "Лукомль", глина "Городное", шамот алюмосиликатный; серия 2 — глина "Осетки", глина "Городное", шамот алюмосиликатный). Свойства образцов, синтезированных на основе оптимальных составов, приведены в таблице 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 В результате выполненных исследований разработаны составы шихтовых композиций керамического материала с повышенной (более 50 теплосмен) термостойкостью. Высокая термостойкость и необходимый комплекс свойств (низкий ТКЛР и высокая механическая прочность) полученных материалов обусловлены как рациональным составом шихтовых композиций, включающих тугоплавкую глину месторождения "Городное", легкоплавкие глины месторождений "Осетки" и "Лукомль" и шамот алюмосиликатный, так и оптимальными технологическими параметрами (фазовый состав сырья, температура и продолжительность обжига).

2 Разработанные керамические материалы, обладающие комплексом термомеханических свойств, могут быть рекомендованы для организации производства термостойкого кирпича с повышенными эксплуатационными характеристиками для кладки и ремонта низкотемпературных печей различного назначения.

Статья поступила
в редакцию 27.10.2009.

Редакция журнала поздравляет
Елену Станиславовну Какошко,
публиковавшую результаты
своих диссертационных исследований в нашем издании,
с успешной защитой диссертации
и присвоением ученой степени кандидата технических наук.