

УДК 691.43/.49

## Керамическая плитка. Технология производства и новые предложения

Г. И. Горбунов, Д. Ф. Звездин

*ГЕРМАН ИВАНОВИЧ ГОРБУНОВ* — кандидат технических наук, профессор Московского государственного строительного университета (МГСУ). Область научных интересов: строительное материаловедение, строительная керамика.

*ДМИТРИЙ ФЕДОРОВИЧ ЗВЕЗДИН* — инженер, технический директор ООО «Фряновская керамика». Область научных интересов: керамическая плитка (технология, оборудование).

129337 Москва, Ярославское шоссе, д. 26 а, МГСУ, тел. (095)235-84-61, факс (095)235-58-10.

Керамика (этот термин объединяет изделия и материалы из обожженной глины, точнее, получающиеся спеканием глин с другими минеральными добавками) является одним из древнейших строительных материалов. Высокие эксплуатационные и художественно-декоративные качества обуславливают ее широкое применение в технике и быту.

### Классификация керамики и характеристики плиток разного назначения

Керамические изделия по структуре черепка подразделяются на грубую керамику (*строительная керамика*) с водопоглощением более 7% и тонкую керамику (фарфор, фаянс, полуфарфор, грес) с водопоглощением до 7%, а также специальную *техническую керамику* (огнеупорную и другие виды на основе чистых оксидов, карбидов и других соединений).

Керамическая плитка по технологии и свойствам черепка относится к тонкой керамике, а по назначению и по структуре черепка — к строительной.

Плитки керамические подразделяются по назначению на облицовочные, фасадные и напольные. Спо-

собы получения и свойства керамических плиток разного назначения приведены в табл. 1.

### Технология производства керамической плитки

#### Основные способы производства. Сырье

На заводах строительной керамики изделия производят в основном, тремя способами: полусухим прессованием из порошков влажностью 5—7% (основной способ), литьем из шликера (глинистая суспензия в воде) влажностью 30—33% и пластическим формованием из масс влажностью 14—20%.

Изделия строительной керамики в общем случае получают в процессе технологической обработки глинистого сырья с минеральными добавками, формования изделий, сушки и обжига (термообработки) их до спекания различной степени в зависимости от назначения изделия и качества глинистого сырья.

Поточно-конвейерные линии (ПКЛ) керамоплиточного производства включают комплекс оборудования, каждый агрегат которого является самостоятельным узлом в единой технологии: прессы полусухого

Таблица 1

Требования к керамическим плиткам

	Облицовочная	Фасадная	Напольная
Вид глины	Туго- и легкоплавкая	Туго- и легкоплавкая	Тугоплавкая
Способ формования	Полусухое прессование	Полусухое прессование и пластическое формование	Полусухое прессование
Толщина, мм	3,5—7	7—13	11—13
Структура черепка	Пористая	Пористая	Плотная
Водопоглощение, %	до 16	до 12	до 4
Отличительное качество	Эстетичность и гигиеничность	Морозостойкость, 35—50 циклов	Истираемость < 0,07г/см <sup>3</sup> Кислотостойкость 97—98%
Предел прочности при изгибе, МПа	15—20	—	> 20

прессования, распределительно-разгрузочные устройства прессованных полуфабрикатов перед сушкой и обжигом, щелевую сушилку, глазуровочные и декорирующие устройства, печи скоростного обжига, установки для сортировки и упаковки изделий.

Сырьем для керамических плиток служат основные компоненты (глины, каолины), отошающие компоненты для снижения усадки (кварцевые пески, природные и полученные при обогащении каолинов), плавни для понижения температуры спекания (природные — полевые шпаты, нефелины, перлиты и искусственные — стекло и шлаки) и добавки (разжижители, ПАВ, механоактивирующие и др.).

Керамические плитки для внутренней облицовки стен получают в основном из красных легкоплавких, реже светлых тугоплавких глин полусухим прессованием пресс-порошков влажностью 6—7%, используя чаще всего шликерную подготовку последних.

#### **Приготовление и компоненты шихты**

При шликерной подготовке массы глинистые компоненты распускают в воде до коллоидного состояния, отошающие и плавни диспергируют до частиц менее 0,06 мм. Рафинирование компонентов, их смешение и гомогенизация шликерной массы происходят в водной суспензии, что создает необходимые условия для последующих технологических процессов — формования, сушки и обжига.

Измельчение и грубый помол глинистых проводят в дробильно-размольных машинах первичного дробления (вальцах различных конструкций, дезинтеграторах, стругачах, бегунах); тонкий помол и смешение компонентов — в шаровых мельницах. Продолжительность помола глинистых и отошающих различна, поэтому сначала загружают более твердые отошающие с небольшим количеством глинистых (до 7%), которые для предупреждения расслоения суспензии измельчают в течение 3—5 ч. Затем вводят остальное количество глинистых и продолжают измельчение еще 2—3 ч.

Для более эффективного измельчения компонентов шихты рекомендуют использовать сильнодействующие поверхностно-активные вещества (ПАВ), улучшающие ее реологические характеристики. Это могут быть эфиры моно-, ди- или триалкилфосфата. Их добавляют после подачи достаточного количества воды в ходе мокрого измельчения [4].

Совершенствование технологии керамической плитки с целью повышения ее качества проводится на всех стадиях процесса ее производства — выбора и расчета керамических масс, переработки сырья, подготовки шликера и его обезвоживания при получении порошка, прессовании, сушке, обжиге и декорировании изделий.

Для улучшения структуры черепка в состав для получения керамических плиток рекомендуют дополнительно вводить отходы фарфорового производства [1].

Предлагают [2] в качестве отошающих компонентов использовать шамотную пыль, поскольку свойства керамической плитки с добавлением шамотной пыли соответствуют регламентированным показателям [2]. Качественную облицовочную плитку предлагается получать и с использованием отходов гравитационного обогащения угля. Здесь особенностью технологии является предварительный обжиг породы для выжигания углерода и активации глинистой составляющей. Себе-

стоимость такой плитки на 40% ниже обычной. Облицовочная глазурованная плитка в этом случае имеет следующие характеристики: водопоглощение 12—17%, прочность на изгиб 12—14 МПа, средняя плотность 1,9 г/см<sup>3</sup>.

Для изготовления облицовочной плитки используют и твердые остатки шахтных вод; в этом случае плитки могут содержать оксид железа в количестве 7—20% [3].

Итальянская фирма «Велко» и американская фирма «Вортек» для производства напольной плитки «Экотайл» предлагают в состав шихты вводить до 70—90% стекольного компонента в виде остеклованной золы. Остекловывание заключается в быстром и сильном нагреве (примерно до 1600—1650 °С) зольных отходов в виде частиц размером около 1 мкм. Золу и другие подобные материалы подают в камеру сжигания инжестрированием, при этом органические материалы сгорают первыми; минеральные материалы нагревают в зависимости от их природы до температуры 1260—1550 °С и затем вводят в тигель для плавления.

Остеклованную золу рекомендуют использовать для изготовления напольных плиток. Полученные на остеклованной золе напольные плитки характеризуются высокой прочностью (до 70 МПа), водопоглощением 2—0,5% и эстетичностью. Модифицированный состав массы для напольных плиток можно использовать и для облицовочных плиток [5].

#### **Получение порошка для прессования**

Керамическую суспензию обезвоживают, как правило, в башенных распылительных сушилках (БРС), что дает возможность получить однородный порошок влажностью 6% ± 1% с гранулами размером 0,24—0,32 мм, сферическая форма которых снижает пылеобразование и зависание порошка в бункерах. Использование БРС для последующего прессования имеет неоспоримые преимущества по сравнению с другими способами подготовки порошка, а именно: однородность порошка по влажности, зерновому и химическому составу; повышенная реакционная способность порошка; высокий скоростной режим обезвоживания и технологичность.

Широкие исследования проводятся с целью определения влияния природы водных алюмосиликатных шликеров на характеристики гранул, получаемых в распылительной сушилке. При содержании в шликере 30—40% (об.) твердой фазы и 0,35—1,00% (мас.) дефлокулянта (полиакрилата аммония) наблюдается корреляция между реологическими характеристиками шликера и получаемых гранул. Плотность упаковки частиц внутри гранул, полученных из шликеров с более высоким напряжением при пределе текучести, более низкая и зависит от содержания в шликере твердой фазы. Гранулы шликера с содержанием 0,35% (мас.) дефлокулянта (что соответствует высокому уровню напряжения при пределе текучести) имеют твердую структуру, в то время как при более высоком содержании дефлокулянта образуются полые гранулы с большими открытыми порами (кратерами). Существует критическое значение напряжения при пределе текучести шликера, выше которого образуются твердые гранулы. Более высокая степень дефлокуляции шликера приводит к образованию гранул с более высокой плотностью упаковки. Тип распылительной сушилки не влияет на пустотность образующихся гранул [6].

### Прессование

Чтобы получить качественный высокоплотный и прочный прессованный сырцовый полуфабрикат целесообразно использовать монофракционные порошки с однотипной влажностью, минимальным содержанием пылевидных частиц и хорошей текучестью. Положительное влияние оказывает на качество изделий двухстороннее прессование, которое обеспечивает равномерность распределения массы по объему и предупреждает образование продольных трещин по толщине прессованного сырца.

Прессование плитки производят на колено-рычажных и гидравлических прессах. Давление прессования колено-рычажных прессов — не более 20–24 МПа, гидравлических [ПУ-160, ПУ-250 и ПУ-500 (Германия) и РН-550 «Сакми» (Италия)] — 16–55 МПа и выше, поэтому их используют чаще.

Для стадии прессования важно установить зависимость: влажность порошка—давление прессования—плотность сырца. С уменьшением влажности порошка давление прессования растет и требуются мощные прессы для получения плотного сырца (напольные плитки). Принято считать, что для получения качественного сырца наиболее эффективны гидравлические прессы. Однако высокая скорость сжатия—уплотнения приводит к попаданию воздуха в толщу сырца с последующим упругим последствием и разрыхлением его. В связи с этим заметна тенденция к возвращению к механическим прессам.

### Сушка полуфабриката

Отпрессованный сырец (полуфабрикат) керамической плитки из-за наличия влаги имеет невысокую механическую прочность. Для обезвоживания и упрочнения полуфабрикат сушат до конечной влажности 0,1–0,3%. Сроки сушки зависят от плотности и толщины прессовок и колеблются в пределах 9–10 мин для облицовочных плиток, 35–65 мин для напольных, 12–35 мин для фасадных.

В основу конструкции современных сушилок для керамической плитки положен принцип скоростной однорядной сушки на роликовых или сетчатых конвейерах. Однорядные сушилки позволяют вести процесс обезвоживания в оптимальных условиях, поскольку теплоноситель воздействует непосредственно на каждое изделие. Однорядная сушка характеризуется малыми временем сушки и расходом топлива, полностью исключает ручной труд при обслуживании сушильного агрегата.

### Обжиг. Плавни

Обжиг — наиболее важная технологическая операция в производстве керамических изделий. В результате физико-химических процессов, протекающих в керамической массе при спекании, изделия приобретают прочность и водостойкость.

Температура обжига ниже при жидкофазном спекании с участием легкоплавких компонентов. Жидкофазное спекание — основной процесс при обжиге строительной керамики. Жидкая фаза возникает при воздействии высоких температур из легкоплавких примесей в глине, которые образуют эвтектический расплав при более низких температурах, чем температура плавления основных компонентов смеси. В рецептуры керамических масс специально добавляют

легкоплавкие компоненты — перлит (вулканическое стекло), легкоплавкие стекла, пегматит (силикатная горная порода), нефелин  $\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$ , пиррофиллит  $\text{Al}_2(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ , сподумен  $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$  и т.п.

В производстве напольных плиток необходимо введение в шихту плавней для достижения полного спекания массы при 1190–1230 °С. В качестве основных плавней служат пегматиты, кальциевые и натриевые полевые шпаты. Для ускорения спекания совместно с основными плавнями часто используют вспомогательные, такие как магнезит, доломит, тальк или волластонит. Испытания показали, что введение талька в количестве 1,5–3% (мас.) вместо полевого шпата или пегматита способствует улучшению спекания, снижению температуры обжига на 13–26%, повышает кажущуюся плотность до 2,42 г/см<sup>3</sup> [7], а также прочность на изгиб и устойчивость к абразивному износу [8], уменьшает пористость.

Исследование возможности использования болгарита (калиево-щелочной магматической горной породы, большая часть которой представляет собой полевой шпат) в качестве глинистого компонента в составе керамических масс для производства плиток показало, что с увеличением содержания болгарита прочность керамического материала увеличивается, водопоглощение уменьшается и усадка возрастает. Плитка, содержащая 70% (мас.) болгарита и 30% (мас.) огнеупорной глины, имеет прочность при изгибе 42,08 МПа, водопоглощение 2,52% [9]. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) плитки составляет  $62,49 \cdot 10^{-7} \text{град}^{-1}$  (201–400 °С), микротвердость — 11,14 МПа (около 7 по шкале Мооса).

В качестве плавня, заменяющего полностью или частично полевой шпат, часто используют (в количестве менее 20% (мас.)) молотые отходы производства различных стекол (боросиликатного, барийсиликатного и др.) в виде порошка с размером частиц 12–13 мкм. В результате при 1150 °С получается плотнос-пекшийся малопористый продукт [10].

Исследована возможность достижения требуемой степени спекания с помощью микроволн, что позволяет сократить время спекания и улучшить тонкую структуру и свойства керамики [11].

### Декорирование плитки

Декорирование, помимо эстетических целей, предохраняет керамическую плитку от загрязнений, делает ее водонепроницаемой. Декорирование включает несколько операций: глазурирование, ангобирование, пигментацию и окрашивание.

Глазурирование — нанесение на поверхность обожженной плитки тонкого слоя водной суспензии высокодисперсного стеклянного порошка (фритты) с последующим закреплением обжигом (вторым). Бывает прозрачным и глухим.

Для обеспечения сцепления глазури с черепком, получения качественной лицевой поверхности и снижения толщины верхнего лицевого слоя накладывают подглазурное покрытие из качественной глины (ангобирование) с содержанием глинистой составляющей от 50% (мас.) с добавлением щелочесодержащих плавней в виде природных минералов или стеклобоя. Для верхнего лицевого слоя рекомендуют при этом применять боросиликатную глазурь на основе фритты 23-Ц. Подглазурный слой способствует снижению диаметра

газовых пузырей в глазури до 20 мкм и менее, что устраняет появление наколов и сборок на поверхности глазури. При использовании двухслойного покрытия расход глазури снижается на 30–40%. При этом толщина верхнего лицевого слоя уменьшается, способствуя тем самым повышению морозостойкости и долговечности плитки.

Для прозрачного глазурования целесообразно использовать стекла, содержащие 45–55%  $\text{SiO}_2$  и 20–30%  $\text{MgO}$ . За время образования расплава происходит полное выгорание органического компонента, что устраняет опасность образования наколов [14].

Пигментация — введение в шихту минеральных пигментов, создающих в результате спекания массы требуемую цветовую гамму.

Окрашивание — нанесение на/под глазурь в зависимости от прозрачности термостойкого красителя с последующей тепловой обработкой (для фиксации на глазури).

За рубежом в последние годы в связи с компьютерной оптимизацией процесса декорирования произошло глубокое изменение методов глазурования и составления глазури и однократный обжиг значительно потеснил двукратный (для этого требуется совместимость глазури с черепком по ТКЛР).

В России в качестве декорирующих средств стеновой глазурованной керамики, обработанной низкотемпературной плазмой, на основе глин Терновского месторождения «Поляна» Белгородской области исследовано использование отходов обогащения железной руды. После обжига поверхность образцов обрабатывали плазменной горелкой, в результате чего образовывался глазурный слой толщиной  $1000 \pm 200$  мкм. Введение в состав керамической массы до 15% отходов обогащения железистых кварцитов КМА улучшает физико-механические свойства как керамического черепка, так и глазурного слоя. Такие отходы можно эффективно использовать для получения глазурованной керамики насыщенного черного цвета [13].

Предложены два способа улучшения эстетики фарфоровых плиток. Способы являются альтернативными и хорошо вписываются в существующие технологические линии. Первый — послойное многократное введение в шихту порошков разного цвета с последующим их прессованием или прессование смеси окрашенных в разный цвет гранул. Таким образом полученные плитки по своему внешнему виду напоминают гранит или мрамор и создают хороший эстетический эффект. Второй способ улучшения внешнего вида — введение в смесь растворимых солей и пигментов для получения плиток с цветовой гаммой натуральных камней [15–17].

Предложен [18] способ декорирования керамических плиток, предусматривающий распределение по форме керамического материала (формирование подложки), нанесение на поверхность подложки декорирующего материала и совместное прессование основного и декорирующего слоев с получением спрессованной керамической плитки с заданным поверхностным рисунком из декорирующего материала. Аппаратура для декорирования включает устройство для распределения материала основного слоя, устройство для нанесения декорирующего материала на основной слой и пресс.

Новая система декорирования керамической плитки «Ротоколор» имеет специальную автоматическую самоочищающуюся систему — краситель заполняет углубления на силиконовой поверхности цилиндра, а избыток его удаляется лезвием. Эластичность силикона позволяет наносить краситель на любую поверхность — от гладкой до шероховатой [19].

## Основы технологии гранитокерамики

### Отличительные качества, схема производства

В последнее время широкое применение получил эффективный керамический материал, напоминающий природный камень, — керамический гранит, используемый главным образом в качестве фасадного, реже напольного. Он имеет прекрасные декоративные и прочностные показатели, а также высокие износ- и кислотоустойчивость в различных климатических условиях, что подразумевает низкое водопоглощение и высокую морозостойкость. Водопоглощение гранитокерамики значительно ниже, чем у керамической плитки. Большая часть поставляемых на рынок изделий из гранитокерамики имеет показатель водопоглощения 0,5%, а во многих случаях и ниже 0,1%. Керамические предприятия Италии, Испании, Чехии, Турции и других стран освоили технологию получения этого материала. В России его производство находится в стадии разработки.

Гранитокерамику получают прессованием из белой специальной глины с добавлением полевых шпатов, кварца и минеральных пигментов. В самом общем виде технология изготовления керамогранита выглядит так: вначале готовят тщательно перемешанную керамическую массу с красителем, составляющим потом «каменный» рисунок; затем массу прессуют на гидравлических прессах под высоким (до 400 Н/см<sup>2</sup>) давлением. Чем выше давление прессования, тем плотнее получается материал, тем меньше в глине остается пор и пустот. Плитки-полуфабрикаты сушат и затем обжигают при высокой температуре (до 1300 °С). В результате высокотемпературного обжига, необходимого для спекания мельчайших крупинок минералов, плитки керамического гранита становятся однородными, предельно прочными и стойкими к различным внешним воздействиям. Важнейшее свойство керамогранита — его уникальная морозостойкость (выдерживает без ущерба для внешнего вида более 50 циклов замораживания и оттаивания).

По многим техническим характеристикам керамический гранит не уступает природному камню, а по цветовой гамме, разнообразию форм и размеров, а также по удобству монтажа превосходит и повсеместно вытесняет гранит.

Прочностные показатели гранитокерамики обусловлены высокой плотностью материала и строением кристаллической решетки составляющих ее минералов. Пористость и водопоглощение таких композиции меньше 0,5%, т.е. практически не отличаются от плотности магматических горных пород.

Путем спекания удается получить плотную кристаллическую структуру, свойственную природным каменным материалам, таким как гранит, габбро, базальт и др. Известно, что подобную структуру с водопоглощением менее 0,5% имеет и фарфор. Однако технология фарфора сложна и дорога. Плиточная технология менее затратна, так как здесь температура

обжига ниже, но по качественным показателям плитка значительно уступает фарфору (водопоглощение черепка напольной плитки 1,5—4%).

**Использование отходов натурального камня и стекла**

Развитие исследований, а также технологий и экономические аспекты производства гранитокерамики свидетельствуют, что наиболее рационально в настоящее время производство керамогранита из отходов натуральных камней, стеклянной массы и тугоплавких глин с образованием стеклокристаллической структуры, как в ситаллах.

Технология ситаллов отличается от технологии каменного литья и плавных огнеупоров прежде всего особым режимом охлаждения расплава, в результате которого сначала образуется стекло, а затем путем направленной кристаллизации достигается однородная стеклокристаллическая структура.

Главное отличие ситалловой структуры от других стеклокристаллических структур (например фарфоровой) заключается в отсутствие ярко выраженной границы раздела фаз, кристаллической и стекловидной, так как кристаллы зарождаются и растут из стекловидной матрицы. Этим объясняются высокие упругодеформационные и термомеханические, а также прочностные показатели при относительно низкой плотности структуры.

Технология керамического гранита включает элементы прессовой технологии керамической плитки, омоноличивание при обжиге до спекания тугоплавких и оплавления легкоплавких компонентов с последующим отжигом и направленной кристаллизацией стекловидной фазы.

Главным требованием к сырьевым материалам для получения керамического гранита является низкотемпературный обжиг (до 1200 °С), что важно с позиций эксплуатации оборудования промышленности строительной керамики.

Наиболее пригодным видом отходов природного камня является *шлам* (водная дисперсия инертных каменных материалов) с размерами частиц менее 0,5 мм и удельной поверхностью 2000—10000 см<sup>2</sup>/г, образующийся в процессах резания и шлифования при обработке камня.

Доля шламов в суммарном объеме потерь сырья камнедобычи и камнеобработки не так уж велика, но шламы — наиболее активные и экологически вредные отходы камнеобрабатывающих предприятий, а уровень их утилизации крайне низок. Это прежде всего тонкодисперсный, не требующий измельчения силикатный шлам — отход обработки горных пород группы гранитов (гранита, сиенита, диабазы, габбро, лабрадорита). Эти породы содержат в своем составе минералы (кварц, полевые шпаты и др.), применяющиеся в технологии отделочной керамики в качестве отощителей, плавней и др. А поскольку шлам представляет собой суспензию силикатных отходов в воде, это позволяет облегчить процесс его гомогенизации при смешивании с другими сырьевыми компонентами.

Необходимо отметить роль, которую играют перечисленные отходы в производстве гранитокерамики. На стадии формования и сушки — это отощители для глиняной составляющей композиции, а на стадии обжига, являясь основным структурообразующим компонентом, они регулируют огневую усадку и долю жидкой фазы.

Мы в качестве тонкодисперсных отходов камнеобработки применяли специально подготовленный гранитный порошок [20]. Исходя из необходимости получения плотной структуры, использовали трехфракционный состав порошка: крупная фракция (0,5—0,1 мм) — 60—65%; средняя фракция (0,1—0,05 мм) — 25—30% и мелкая фракция (0,05—0,01 мм) — 10%. Минералогический состав порошка: кварц — 25—30%, полевые шпаты — 65—70%, слюда — менее 3%.

Использование *стеклобоя* позволяет решить несколько технологических задач, а именно, обеспечить необходимые условия формования, сократить усадку при сушке, снизить температуру спекания и сформировать стеклокристаллическую структуру при обжиге. Для этого использовали бой тарного, оконного и кинескопного стекла.

Пригодность *стеклового компонента* оценивали по химическому составу, температуре начала размягчения, интервалу размягчения, по вязкости, растворимости, кристаллизационной способности, а также плотности, твердости и температуре омоноличивания стекловой композиции. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные физико-химические свойства стекловых композиций

Условный код и состав стекловой композиции	T <sub>разм</sub> , °С	Вязкость, Па · с, при		Растворимость, усл. ед.	Кристаллизационная способность	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Твердость по Моосу	Истираемость, см <sup>3</sup> /мин
		800 °С	1100 °С					
Ст-1 2,5SiO <sub>2</sub> · 0,5Na <sub>2</sub> O · 0,5CaO	830	10 <sup>5</sup>	17	4	Низкая	2,5	5,25	0,8
Ст-2 2,5SiO <sub>2</sub> · 0,47Na <sub>2</sub> O · 0,53CaO	845	10 <sup>5</sup>	17	3	Низкая	2,58	5,5	0,9
Ст-3-э SiO <sub>2</sub> · 0,5Na <sub>2</sub> O · 0,3BaO	1010	—	180	5	Отсутствует	2,8	6,0	0,95
Ст-3-к 3SiO <sub>2</sub> · 0,5Na <sub>2</sub> O · PbO	760	10 <sup>4</sup>	80	1,5	То же	2,9	6,5	1,0
Ст-3-т 3SiO <sub>2</sub> · 0,5Na <sub>2</sub> O · PbO	720	10 <sup>4</sup>	80	1	—	3,1	6,5	1,5

Примечание. Ст-1 — тарное стекло; Ст-2 — оконное стекло; Ст-3-э — кинескопное стекло (экран); Ст-3-к — кинескопное стекло (конус); Ст-3-т (тубус)

Химический состав глин, %(мас.) [21]

Глина	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Потери при прокаливании
Латненская-I	61,01	25,52	1,00	0,39	0,29	0,37	0,36	1,71	9,35
Гжельская	57,42	18,11	6,98	1,73	1,99	5,87	0,19	0,79	6,75
Алексеевская	54,93	10,96	4,97	8,75	4,32	2,25	1,04	0,92	11,81

Анализ свойств стекольных композиций позволяет сделать вывод, что наиболее пригодным для получения требуемой стеклокристаллической структуры является бой кинескопного стекла типа Ст-3-г и Ст-3-к [21].

Роль глины — основополагающая, поскольку, обладая двумя необходимыми свойствами (пластичностью и спекаемостью), она исполняет роль связки на стадии формования и омоноличивания.

Выбор глины, помимо пластичности и спекаемости, определялся также химическим составом, в основном наличием в достаточном количестве Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (глинозема) (табл. 3).

Пластичность и связующая способность глин позволяют обеспечить формование при минимальном ее количестве в шихте и необходимую структурную прочность до и после сушки. Однако при обжиге пластичные глины способствуют образованию жидкой фазы и уменьшению содержания кристаллической составляющей.

Спекаемость, т.е. способность глин омоноличиваться при обжиге, как правило, симбатно зависит от пластичности глины.

Мы опробовали латненскую-I, гжельскую, алексеевскую, а также кондровскую и тропаревскую глины. В результате испытаний установлено, что для стадии формования (прессования) предпочтительны, за счет достаточной пластичности и связующей способности, гжельская и алексеевская глины, а для стадии выдержки перед сушкой и перед обжигом — гжельская, так как она наилучшим образом обеспечивает структурную прочность полуфабриката (коржа). При обжиге более прочный черепок за счет высокой спекаемости дает латненская глина [22].

Выявлен оптимальный состав смеси гранитный порошок—стеклобой—глина при температуре омоноличивания 1050 °С: гранитный порошок — 40, стеклобой — 40, глина — 20%(мас.).

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

— отходы обработки природного камня в значительном количестве (более 50%(мас.)) являются структурообразующим элементом черепка, определяющим его термические и физико-механические свойства;

— отходы стекольных производств и стеклобоя в значительных количествах (до 40%) изменяют фазовый состав, уменьшая кристаллическую и газовую составляющую, а также химическую и термодинамическую устойчивость системы;

— омоноличивание системы происходит за счет спекания глины и размягчения стекла, а также диф-

фузии стекла на границе кристалл—стекло, обеспечивающей получение стеклокристаллической структуры, удовлетворяющей требованиям фасадных керамических материалов [23].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Логинов В.М., Будашикина Л.М., Гуралова Р.С. и др. А. с. МПК С 04 В 33/24 № 97109572/03 (Россия). Оpubл. 10.5.99. Б.И. № 13.
2. Кравченко Н.В., Беломеря Н.И., Мнускина и др. *Металлург. и горнорудн. пром-сть*, 1998, № 4, с. 49—51.
3. Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Ратькова В.П. и др. *Изв. Вузов Северо-Кавказского региона. Техн. науки*, 1998, № 4, с. 85—87, 120.
4. Shapira J., Cheminaud J.C., Gasse J.J. А. с. МПК С 04 В 33/13, В 28 С 1/00, № 9605914 (Россия). Оpubл. 14.11.97.
5. *Ind. ceram. et verr.*, 1997, № 926, p. 336—337.
6. Walker W.J., Reed J.S., Verma S.K. J. *Am. Ceram. Soc.*, 1999, v. 82, № 7, p. 1711—1719.
7. Grojean P. *Int. Ceram. J.*, 2001, v. 19, № 2, p. 63.
8. Grojean P. *Tile and Brick Int.*, 1996, v. 12, № 2, p. 126—128.
9. Bozadjier L.S. *Amer. Ceram. Soc. Bull.*, 1996, v.75, № 3, p. 94—96.
10. Заявка № 10012343 (Россия), заявл. 14.03.2000, опубл. 29.03.2001 МПК С 04 В 33/13.
11. *Glass Sci. and Technol.*, 1999, v. 72, № 2, p. 24.
12. Коротяев С.А. Тез. докл. 2-й конф. молодых ученых Мордовского ГУ, Саранск, апрель, 1997. Саранск, Изд-во Мордовского ГУ, 1997, с. 221.
13. Крохин В.П., Бессмертный В.С., Панасенко В.А. и др. *Стекло и керамика*, 1998, № 7, с. 23—24.
14. Косенко В.Г. Тез. докл. науч.-практич. конф. «Стекло и керамика. Производство и применение». Москва, 24—25 января 1997, М., 1997, с. 27—28.
15. Basanetti F., Busotti F., Cestari M. *Ind. ceram. et verr.*, 1996, № 11, p. 730—734.
16. Casobari G., Casobari C. *Int. Ceram. J.*, august, p. 19—24.
17. Bender W. *Ziegelind. Int.*, 1998, Bd. 51, № 9, S. 553—569.
18. Scalino S.R.L., Pastorelli G., Pastorelli L.S. Пат. № 1097911 ЕПВ МПК С 04 В 41/85, В 44 С 5/04. Заявл. 06.11.2000, опубл. 09.05.2001.
19. *Int. Ceram. J.*, 1999, v. 17, № 3, p. 41—44.
20. Горбунов Г.И., Катков А.Л. *Строительство — формирование среды и жизнедеятельности*. Сб. тр. М.: Изд. МГСУ, 1999 с. 47—49.
21. Румянцев Б.М., Зайцева Е.И. *Академические чтения по строительному материаловедению*. Сб. тр. Белгород, БелГТАСМ, 2001, с. 23—29.
22. Горбунов Г.И. *Развитие теорий и технологий в области силикатных и гипсовых материалов*. Сб. тр. М.: Изд. МГСУ, 2000, с. 28—30.
23. Горбунов Г.И., Катков А.Л. *Строительство — формирование среды и жизнедеятельности*. Сб. тр. М.: Изд. МГСУ, 2001, с. 36—38.