

Таким образом, проведенные исследования показали, что добавка обожженного и необожженного шлама сользавода существенно влияет на физико-механические свойства газобетона.

#### Литература

1. Легостаева Н.В., Баяндина Е.В., Нестерова Т.Ю. Вяжущее из шлама сользавода // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Новые материалы и технологии их получения». – Новочеркасск, 2012. – С. 11–13.
2. Нестерова Т.Ю., Легостаева Н.В., Иванская Е.А. Керамика с добавками отходов завода по производству поваренной соли // Материалы III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации)». – Иркутск, 2013. – С. 360–363.

### СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПЕКАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Д.А. Пашков

Научный руководитель профессор В.М. Погребенков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Керамические материалы на основе природного и искусственного минерального сырья нашли широкое применение в различных областях науки и техники. В зависимости от областей использования к керамике предъявляются различные требования. В мировом производстве высокочастотных электронных приборов и электронных микросхем нашла широкое применение технология низкотемпературной совместно спекаемой керамики (LTCC – low temperature co-fired ceramic), которая по ряду параметров превосходит имеющиеся альтернативы в данной отрасли – печатные платы из стеклотекстолита и высокотемпературную керамику. Главными преимуществами LTCC-керамики являются превосходные значения диэлектрических характеристик, механических свойств, низкие значения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), хорошая теплопроводность и возможность 3D интеграции [1, 2]. Температура спекания таких изделий лежит в диапазоне ниже 1000<sup>0</sup>С, что делает доступным использование токопроводящих паст из легкоплавких металлов и внешних элементов металлизации [3, 4].

В современной отечественной промышленности отсутствуют производства низкотемпературной керамики полного цикла, существующие электронные предприятия работают на сырьевом полуфабрикате зарубежных производителей. В связи с этим, целью данной работы является синтез стеклокерамического композита и исследование его пригодности для дальнейшего использования в LTCC-технологии.

Для исследования были выбраны два различных вида свинцовоборосиликатных стекол, состав которых указан в таблице 1. Выбор составов стекол был проведен на основании предварительных расчетов их свойств с использованием компьютерной программы «SciGlass». Исходными параметрами для расчета были выбраны температура растекания, ТКЛР, диэлектрическая проницаемость. Стекло СТ1 имеет меньшую температуру растекания (700<sup>0</sup>С) в сравнении со стеклом СТ2 (920<sup>0</sup>С), более близкий ТКЛР с корундом ( $7,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ). В то же время стекло СТ2 имеет меньшую диэлектрическую проницаемость (5,5) по сравнению со стеклом СТ1 (12). В качестве сырьевых компонентов использовали борную кислоту, безводную кремниевую кислоту и свинцовый сурик. Варку стекол проводили в электрической печи в корундовых тиглях при температуре 1250<sup>0</sup>С. Стекла были подвергнуты дроблению и последующему помолу в планетарной мельнице.

Таблица 1

Массовое содержание компонентов в составе стекол СТ1 и СТ2

Обозначение состава	Компоненты шихты	мас.%
СТ1	SiO <sub>2</sub>	2,84
	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	27,23
	PbO	69,93
	Итого	100,00
СТ2	SiO <sub>2</sub>	31,21
	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30,14
	PbO	38,65
	Итого	100,00

Стекла после сухого измельчения в барабане из диоксида циркония шарами из того же материала до состояния размера частиц меньше 10 мкм были смешаны с керамической составляющей – глиноземом  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с аналогичной дисперсностью. В результате были получены стеклокерамические композиции с содержанием компонентов от 40 до 60%, состав которых отображен в таблице 2.

Таблица 2

Содержание компонентов в стеклокерамических композициях

Обозначение состава	СТ1 мас. %	СТ2 мас. %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> мас. %
СТКК1.1	40	-	60
СТКК1.2	50	-	60
СТКК1.3	60	-	40
СТКК2.1	-	40	60
СТКК2.2	-	50	50
СТКК2.3	-	60	40

Образцы в виде цилиндров готовились методом одноосного прессования. Полученные образцы обжигались при температурах 900, 950, 1000°C с выдержкой при конечной температуре в течение 1 часа. После обжига было определено водопоглощение образцов (методом гидростатического взвешивания с вакуумированием) и кажущаяся плотность (через взвешивание). Полученные результаты зависимости водопоглощения и плотности составов отражены на рисунках 1 и 2, которые показывают особенности спекания стеклокерамических композитов с различным содержанием компонентов, представленных в виде свинцовоборосиликатных стекол СТ1 и СТ2 и глинозема α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

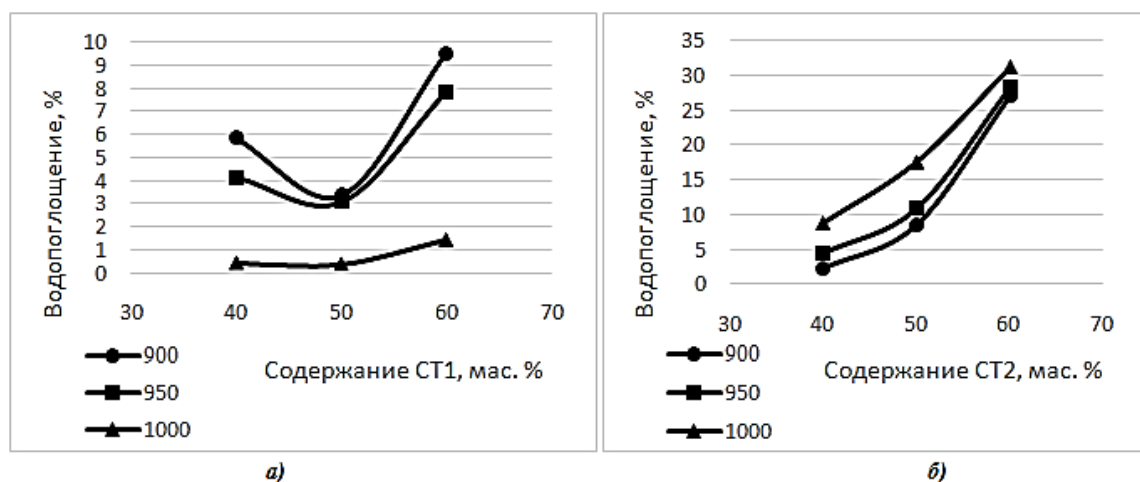


Рис. 1. Зависимость водопоглощения образцов от количества стеклофазы при температурах обжига 900, 950, 1000°C а) для стекла СТ1 б) для стекла СТ2

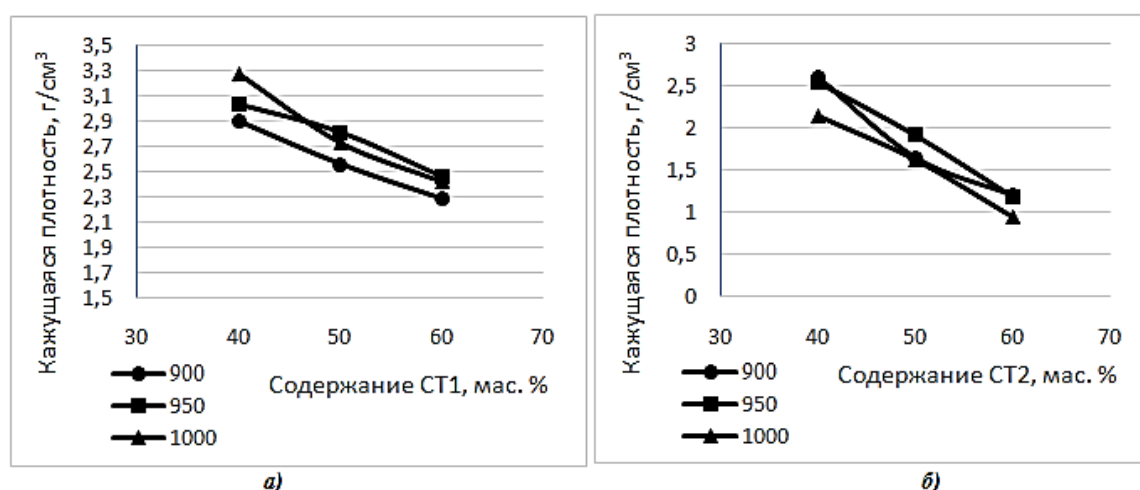


Рис. 2. Зависимость кажущейся плотности образцов от количества стеклофазы при температурах обжига 900, 950, 1000°C а) для стекла СТ1 б) для стекла СТ2

Водопоглощение образцов, содержащих стекло СТ1, уменьшается с ростом содержания стекла до 50% при данных температурах обжига, что свидетельствует о более полном смачивании частиц корунда расплавом стекла и спекании. При увеличении содержания стекла до 60% происходит рост водопоглощения для данных температур, что говорит о вероятной кристаллизации частиц стекла и разрыхлении структуры стеклокерамики.

Для всех композиций с компонентом СТ2 характерен рост водопоглощения при исследованных температурах, что свидетельствует о пережоге стеклокомпозиции и кристаллизации стекол.

Кажущаяся плотность для всех исследованных композиций уменьшается с ростом содержания стеклофазы, что свойственно для данного типа керамических изделий. В результате образцы, содержащие компонент СТ1, имеют плотность выше (от 2,3 до 3,3 г/см<sup>3</sup>), чем образцы с СТ2 (от 0,95 до 2,6 г/см<sup>3</sup>), что говорит об увеличении механических свойств.

В результате анализа полученных экспериментальных и расчетных данных выявлено, что при подобранных условиях наиболее пригодными для ЛТСС-керамики являются стеклокерамические композиты с содержанием 50% компонента СТ1, обожженные при температуре 900°C (степень спекания и механические свойства оптимальны, а повышение температуры до 950°C незначительно улучшает характеристики изделий). Образцы, содержащие компонент СТ1 в количестве от 50 до 60%, и композиции с компонентом СТ2 следует обжигать при более низких температурах, так как результаты эксперимента свидетельствуют о пережоге и кристаллизации стекол в исследованных составах.

#### Литература

1. Кондратюк Р. Низкотемпературная совместно обжигаемая керамика (ЛТСС). Преимущества. Технология. Материалы//Передовые технологии. – Москва, 2011. – №5. – с.14.
2. Чигиринский С. Особенности и преимущества производства многослойных структур на основе керамики (ЛТСС, НТСС, МЛСС)//Степень интеграции. – Москва, 2009. – №2. – с.26.
3. Чигиринский С. Материалы, применяемые в технологии ЛТСС//Степень интеграции. – Москва, 2010. – №3. – с.10.
4. Imanaka Yoshihiko. Multilayered Low Temperature Cofired Ceramics (LTCC) Technology. – Springer Science+Business Media, Inc., 2005. – p.230

### ОСОБЕННОСТИ СЫРЬЯ ДЛЯ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

**Н.А. Сазонова, Е.А. Черненко**

Научный руководитель профессор Н.К. Скрипникова

*Ангарская государственная техническая академия, г. Ангарск, Россия*

Согласно прогнозным показателям развития экономики Российской Федерации установлено расчетное потребление ряда важнейших видов строительных материалов, первым из которых является цемент. Его потребность к 2020 г. только в транспортном строительстве составит 97,8 млн. т [1], что является незначительной частью из всего потребляемого объема вяжущего в промышленном и гражданском строительстве. Масштабное производство новых строительных материалов на основе цемента невозможно без обеспечения широкого видового разнообразия минерально-сырьевой базы. В результате проведенных геологоразведочных работ [2] установлено, что прирост запасов и прогнозируемых ресурсов цементного сырья составляет: 3250,5 млн. т – карбонатного сырья и 377,8 млн. т – алюмосиликатного. Однако, несмотря на внушительные объемы сырьевых материалов для цементной промышленности, исчерпаемость ресурсов становится с каждым годом все более актуальной. Одним из вариантов решения проблемы является расширение сырьевой базы цементной промышленности, использование минерального сырья с повышенным содержанием MgO и техногенных отходов [3, 4]. Данная возможность появляется при использовании нетрадиционной технологии синтеза цементного клинкера – плазмохимической, при которой процессы клинкерообразования протекают при 3000 °C, что превышает в среднем температуру в зоне спекания вращающей печи на 1600 °C [5].

Целью работы являлось исследование возможности расширения сырьевой базы цементной промышленности за счет использования техногенных отходов с повышенным содержанием MgO в качестве сырьевых материалов при производстве цемента по плазмохимической технологии и исследование свойств полученных образцов.

В работе использовались отходы дробления доломитизированного известняка (ОДДИ) Беловского месторождения и флотационные отходы (ФО) Кузбасса, которые не применяются в цементной промышленности. ОДДИ являются отходами производства извести, образуются при дроблении и сортировке известняка на этапе подготовки к обжигу. В результате рентгенофазового и дифференциально-термического анализов установлено, что ОДДИ содержат преимущественно CaCO<sub>3</sub> и примесные минералы MgCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>·MgCO<sub>3</sub>. Наряду с этим, присутствуют алюмосиликатные минералы и SiO<sub>2</sub>, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Флотационные отходы представлены иллитом, кварцитом, монтмориллонитом, каолинитом. В составе ФО содержатся карбонаты: анкерит, сидерит, и сульфиды: пирит, марказит и геленит. Химический состав представленного сырья и оптимальное содержание основных оксидов в сырьевых компонентах для синтеза основных клинкерных минералов представлены в таблице.

Из таблицы следует, что отходы дробления доломитизированного известняка представлены преимущественным содержанием CaO (38,63 %), необходимым для осуществления процессов клинкерообразования. Особенностью используемого карбонатного сырья является повышенное содержание оксида магния (12,43 %), который при традиционных технологиях в представленном количестве не вступает в реакции силикатообразования и остается в свободном состоянии, способствуя разрушению образцов при гидратации. Однако, в связи с тем, что повышенное количество периклазы в плавящихся клинкерах в