

И.А. Левицкий, проф., д-р техн. наук;  
И.М. Терещенко, доц., канд. техн. наук;  
С.Е. Баранцева, ст. научн. сотр., канд. техн. наук;  
А.П. Кравчук, ассист., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## ИЗНОСОСТОЙКИЕ СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬТА

В настоящее время наиболее распространенным конструкционным материалом для ответственных деталей оборудования, работающих в условиях комбинированного воздействия трения различной природы, агрессивных сред и повышенных температур, являются в основном легированные стали. Однако возросшая стоимость металлов, в совокупности с двумя их характерными недостатками – малой устойчивостью к абразивному износу и химической коррозии обуславливают актуальность разработки новых видов материалов, к которым относятся стеклокерамические. Комплекс высоких технических характеристик, в том числе химическая и абразивная устойчивость, позволяют считать стеклокерамику весьма перспективным материалом для изготовления износостойких конструктивных элементов.

Основной целью настоящего исследования являлась разработка состава сырьевой композиции для получения стеклокерамических изделий, подбор наиболее рационального технологического приема их изготовления на основе дешевого недефицитного минерального сырья. При этом решались следующие локальные задачи: выбор сырья, проектирование пресс-формы для изделий сложной конфигурации, в частности полый сферы с жестко регламентируемыми размерами; отработка технологических параметров, обеспечивающих высокие эксплуатационные характеристики изделий. Основным требованием к применяемому технологическому приему – термопластическому прессованию являлись необходимые реологические свойства литьевой массы. Температурно-временные параметры термической обработки должны обеспечивать впоследствии направленное структуро- и фазообразование.

В качестве сырьевой основы для получения стеклокерамического материала выбраны базальты Ровенского месторождения (Украина) как доступный и дешевый материал, отличающийся стабильностью химико-минералогического состава [1].

Его усредненный химический состав представлен оксидами, мас. %: 48,96  $\text{SiO}_2$ ; 15,13  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 2,83  $\text{TiO}_2$ ; 14,87  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; 4,38  $\text{MgO}$ ; 9,53  $\text{CaO}$ ; 3,53  $\text{R}_2\text{O}$  ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ). Минералогический состав исходного базальта, согласно данным рентгенофазового анализа, представлен

анортитом, пироксеновыми минералами – авгитом и диопсидом. Присутствует небольшое количество палагонитовой породы, представленной смесью минералов группы хлорита и хлорофейта [2].

Неотъемлемой частью термопластической технологии является приготовление жидкотекучего шликера, из которого в последующем осуществляется формование изделия. Нами исследованы два вида опытных литьевых композиций: «базальтовое стекло–парафин–олеиновая кислота» и «базальтовое стекло–базальт–парафин–олеиновая кислота». Исходные компоненты (базальт и стекло) измельчались до удельной поверхности  $5000\text{--}7000\text{ см}^2/\text{г}$ , затем смешивались с пластификатором (парафином) при температуре  $70\text{--}75\text{ }^\circ\text{C}$ , в качестве ПАВ использовалась олеиновая кислота.

Формование изделия предусматривало: подачу термопластического шликера под давлением  $0,5\text{--}0,6\text{ МПа}$  в пресс-форму, установленную на литейном станке, через систему литников; охлаждение заготовки для фиксации формы изделия; разборку формы, извлечение изделия.

Литейный шликер из обеих вышеприведенных композиций обладал необходимыми реологическими характеристиками. Предварительное изучение поведения опытных образцов при термообработке позволило выявить идентичность процессов структуро- и фазообразования, а также температурного интервала спекания.

Таким образом, для дальнейшего исследования была выбрана композиция литьевого шликера, включающая базальт, стеклосвязку, пластификатор и ПАВ. Такой подход позволяет снизить затраты на производство изделий за счет уменьшения количества стекла, необходимого при получении стеклокерамического материала из плавленного базальта. В конечном итоге содержание стеклосвязки в композициях удалось снизить до  $25\text{--}30\%$  при сохранении высокого уровня основных характеристик изделий.

Особое внимание при получении стеклокерамических изделий методом термопластического формования уделялось подбору температурных параметров выгорания связующего, кристаллизации и спекания материала.

Поскольку интенсивное газовыделение при удалении термопластического связующего приводило к растрескиванию и деформации образцов, изучено поведение композиций при нагревании на основе которого приняты следующие температурно-временные параметры термообработки отформованных заготовок изделий при скорости подъема температуры на стадии выгорания связки (парафина) не более  $2\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ : выдержка при  $200\text{ }^\circ\text{C}$  в течение  $0,5\text{ ч}$  → выдержка при  $470\text{ }^\circ\text{C}$  в течение  $0,5\text{ ч}$  → нагрев до  $550\text{ }^\circ\text{C}$  и инерционное охлаждение.

Для изучения процессов формирования структуры и фазового состава синтезируемого материала выбран интервал температур (920–1120)°С, как интервал активного спекания. Был принят следующий режим тепловой обработки: нагрев композиции «базальт–стекло» со скоростью 300°С/ч до конечной температуры → выдержка 1 ч → инерционное охлаждение. Для полученных термообработанных образцов были изучены физико-химические свойства (кажущаяся плотность, открытая пористость, водопоглощение, усадка, химическая стойкость).

Рассмотрение зависимости физико-химических свойств образцов от температуры термообработки показало, что в интервале температур (920–1070)°С наблюдается некоторое снижение значений пористости, водопоглощения и увеличение кажущейся плотности, что связано, в первую очередь, с процессами начала спекания за счет введенной высоковязкой стеклофазы. При последующем увеличении температуры (1070–1120)°С происходит интенсификация и завершение процесса спекания, сопровождающееся резким снижением водопоглощения, пористости и увеличением кажущейся плотности, усадки. Материал приобретает плотную структуру, количество пор резко уменьшается, растет механическая прочность.

Исследование изменения фазового состава образцов показало, что основными кристаллическими фазами при температуре 920°С являются анортит и авгит, присутствующие как в исходном базальте, так и дополнительно выделяющиеся в результате кристаллизации стеклошпидной связки.

Увеличение температуры обработки до 1120°С приводит к появлению новой кристаллической фазы – гематита, который не идентифицируется в исходном базальте, а формируется при кристаллизации базальтового стекла. Кроме того, интенсивность дифракционных максимумов анортита и авгита заметно снижается в сравнении с исходной смесью, что связано с частичным плавлением базальта. Очевидно, наиболее мелкие зерна при температуре 1120°С переходят в стеклофазу, растущее количество которой обеспечивает интенсивный процесс спекания.

Определена оптимальная температура термообработки, при которой достигается максимальный уровень основных технико-эксплуатационных характеристик материала, составляющая 1120°С с выдержкой 2 ч. При указанной температуре изделия имеют плотную однородную ситалловую структуру без признаков деформации. Свойства стеклокерамики, полученной по оптимальному режиму термообработки, приведены в таблице.

Таблица – Свойства разработанных стеклокерамических изделий

Свойства	Стеклокерамика на основе композиции «базальт–стекло»
Температура термической обработки, °С	1120
Время выдержки, ч	2
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^7 \text{ К}^{-1}$ (20–300) °С	75,9
Кислотостойкость в 1 н НСl, %	96,7
Плотность кажущаяся, кг/м <sup>3</sup>	2690
Пористость открытая, %	0,12
Водопоглощение, %	0,06
Усадка, %	9,3
Потери при истирании, г/см <sup>2</sup>	0,032
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	3,10

Полученные результаты позволяют рекомендовать синтезированный стеклокерамический материал для получения изделий сложной конфигурации, работающих в условиях воздействия агрессивных сред и трения различной природы.

Использование композиции «базальт–стекло» с преимущественным содержанием первого позволило получить изделия из стеклокерамики с заданным комплексом физико-химических свойств по энергосберегающей технологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Бернадская, Л.Г. Вулкани́ты Ровеньской области. – Киев: АН УССР, 1958. – 40 с.

2 Горные породы Украинской ССР – сырье для производства волокон / М.Ф. Махова [и др.] // Базальт-волокнистые композиционные материалы и конструкции: сб. науч. тр. – Киев: Наукова думка, 1980. – С. 3–36.

УДК 666.972.5

О.Е. Хотянович, канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

#### ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ БЕТОНА ПУТЕМ ОБЪЕМНОГО ФЛЮАТИРОВАНИЯ

Сооружения из бетона и железобетона, как из всякого другого материала, со временем подвергаются разрушению. В этой связи актуальной проблемой является обеспечение проектной долговечности железобетонных конструкций.

В настоящее время разработан ряд мероприятий обеспечивающих снижение агрессивного воздействия на бетон, основными из которых являются: применение специальных цементов с относительно малым содержанием алита, трехкальциевого алюмината и четырех-