

Средний коэффициент анизотропии для изученного интервала плотности пеностекла определяли из отношения средних значений свойств, измеренных в направлениях  $x$ ,  $y$  и  $z$ . Минимальные и максимальные коэффициенты анизотропии (см. табл. 1) приведены только для динамического модуля упругости и скорости ультразвука, поскольку данные свойства измеряли в направлениях  $x$ ,  $y$  и  $z$  на одних и тех же образцах. Определение же аналогичных коэффициентов для прочностных свойств не представляется возможным, поскольку параллельные образцы равнозначной плотности зачастую характеризуются неоднородным строением и, как следствие, различной прочностью.

Таким образом, установлена взаимосвязь между структурным строением пеностекла и его прочностными, упругими и акустическими свойствами. Строительное и техническое пеностекло Гомельского стеклозавода обладает анизотропией свойств. При этом направления, перпендикулярные к вспениванию, характеризуются более высокими их показателями, что обусловлено формированием структуры с эллипсоидными ячейками, вытянутыми в направлениях  $x$ ,  $y$  и, соответственно, увеличением площади активного (по стеклу) сечения пеностекла. Поскольку формирование пеностекла протекает в стекломассе с достаточно низкой вязкостью ( $10^{5,9} - 10^{4,5}$  Па·с) и сформировавшаяся структура пены может фиксироваться почти без изменений при последующем резком охлаждении и увеличении вязкости стекла, для получения высокопористой однородной структуры пеностекла необходимы эластичные, устойчивые к высокому давлению стенки ячеек в процессе структурообразования. Сравнительный анализ коэффициентов анизотропии подтверждает целесообразность оптимизации температурно-временного режима производства строительного пеностекла, в частности процессов вспенивания и стабилизации его структуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Красько К.Ф., Пилецкий В.И., Садченко Н.П. К вопросу об упруго-механических свойствах пеностекла. — В сб.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1982, вып. 11, с. 70—73.

· УДК 666.295

О.С. БАБУШКИН, Е.М. КУРПАН, канд-ты техн.наук,  
В.В. БЕРЕЖНАЯ (БТИ)

#### ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ТИТАНАТА АЛЮМИНИЯ НА ТКЛР КРИСТАЛЛИЗУЮЩИХСЯ СТЕКОЛ\*

Как известно [1], термостойкость керамики характеризует прочность при резких сменах температур. Термостойкость в основном определяется тремя показателями: прочностью образца, температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) и модулем упругости [1,2]. Для большинства видов керамики и стеклокристаллических материалов доминирующим показателем является температурный коэффициент линейного расширения [1,3].

\* Работа выполнена под руководством докт.техн.наук, профессора Н.М. Бобковой.

Согласно [4,5], использование титаната алюминия предполагает возможность получения на его основе термостойких материалов. Кристаллическая фаза титаната алюминия выгодно отличается от других сочетанием уникальных тепловых свойств: ТКЛР характеризуется отрицательными и слабоположительными значениями [5], а температура его плавления  $\approx 1890^\circ\text{C}$  [6]. Однако реализация этих предпосылок возможна лишь при условии стабилизации свойств титаната алюминия и получения на его основе механически прочных композиций [7,8] Такими связующими материалами, способными повысить механическую и термическую прочность изделий, являются кристаллизующиеся стекла [9].

В данной работе было выполнено исследование по изучению стабилизации свойств титаната алюминия кристаллизующимся стеклом системы  $\text{SiO}_2\text{—TiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—MgO—BaO}$  [9]. Содержание стекла в смеси составляло 70,60 и 50 мас. %.

Режим спекания подобной смеси слагается из сложных физико-химических и кристаллохимических процессов, которые происходят как на макро-, так и микроуровнях [1].

Матрица подобной композиции слагается из кристаллизующегося стекла, при термической обработке которого будет происходить формирование жаропрочных кристаллических фаз. В этом случае стеклофаза, армированная небольшими ( $< 0,5\text{—}1,5$  мкм) кристаллами, будет обладать повышенной жаропрочностью. С другой стороны, режим спекания должен протекать в таком температурном интервале, при котором кристаллическая фаза титалит стабильна [5, 10] и не происходит ее распад. Учитывая эти комплексные требования к режиму спекания, его проводили в интервале температур  $1300\text{—}1500^\circ\text{C}$  с шагом варьирования  $50^\circ\text{C}$ . Выдержка на каждой ступени — 1 ч.

Для изучения свойств композиций были изготовлены методом полусухого прессования при давлении прессования  $500\div 600$  кг/см<sup>2</sup> образцы размером  $60\times 5$  мм. В качестве пластификатора использовали парафин (5 % сверх 100 % смеси).

При изучении параметров спекания установлена их прямая зависимость от температуры спекания. Водопоглощение для опытных образцов с 50 %-ным содержанием кристаллизующегося стекла при температурах спекания 1300, 1350, 1400  $^\circ\text{C}$  составляет соответственно 3; 2 и 1,4 %, т.е. уменьшается с ростом температуры спекания (рис. 1).

Усадка для этих же образцов, спеченных при тех же температурах, составляет 6; 7,5 и 8,5 % (рис. 1,б), т.е. увеличивается с ростом температуры спекания. Кажущаяся пористость  $\rho$  с увеличением температуры спекания также возрастает. Для образцов с 70 % стекла, спеченных при температурах 1300, 1350 и 1400  $^\circ\text{C}$ , она составляет соответственно (2,95; 3,06 и 3,08)  $\cdot 10^3$  кг/см<sup>3</sup> (рис. 1,в).

Изучение микроструктуры продуктов спекания также свидетельствует об интенсификации процессов спекания с участием жидкой фазы при увеличении температуры. С повышением температуры количество и линейные размеры пор уменьшаются, они становятся обособленными, замкнутыми.

Изучение ТКЛР продуктов спекания ( $20\text{—}400^\circ\text{C}$ ) показало линейную зависимость теплового расширения от температуры (рис. 1, г). Обращает на себя внимание факт однозначной зависимости величины ТКЛР образцов от

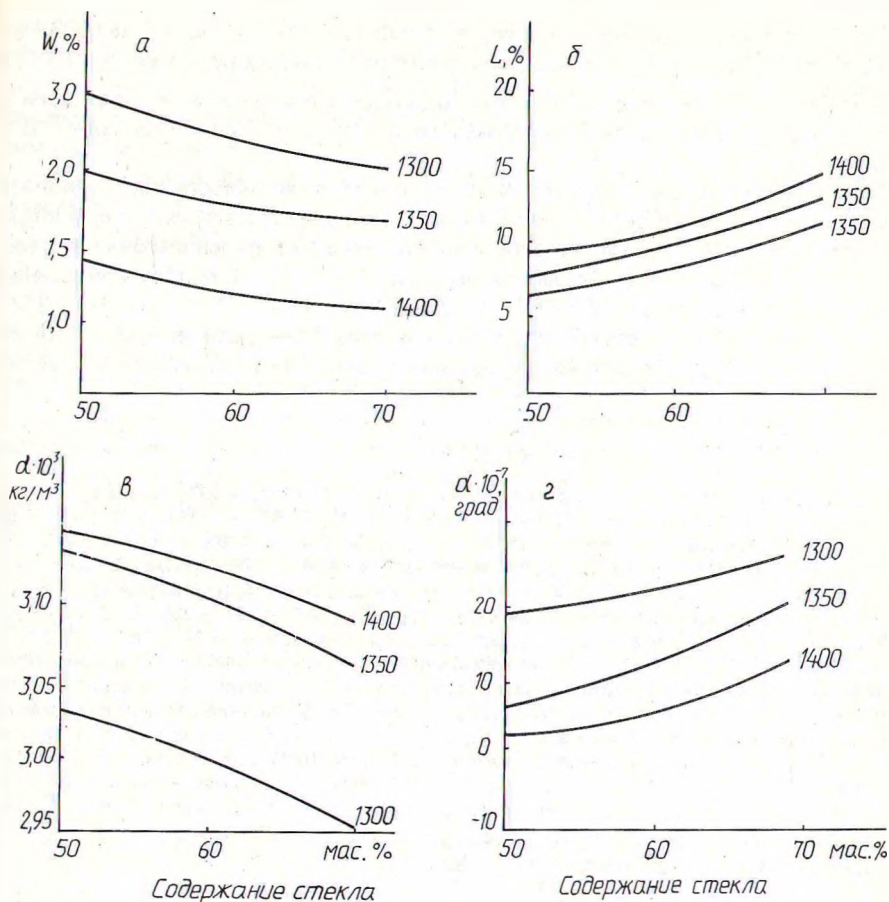


Рис. 1. Влияние добавок кристаллизующегося стекла на:  
 а — водопоглощение W; б — усадку образцов L; в — плотность d; г — ТКЛР образцов  $\alpha$ .

температуры спекания. Это означает, что повышение температуры спекания способствует снижению ТКЛР образцов. Как установлено, ТКЛР образцов с содержанием кристаллизующегося стекла 50 % при температурах спекания 1300–1400 °C снижается от  $18 \cdot 10^{-7}$  град<sup>-1</sup> до  $2,5 \cdot 10^{-7}$  град<sup>-1</sup> (см. рис. 1, г).

Таким образом, снижение ТКЛР композиций с повышением температуры спекания связано, по-видимому, как со стабилизирующим влиянием жидкой силикатной фазы на структуру тиалита, так и с завершением перестройки его кристаллических решеток в направлении более выраженной анизотропии.

Для изучения термостойкости композиций были изготовлены образцы, представляющие собой диски  $d = 25$  мм и  $h = 5$  мм. Диски были отформированы методом полусухого прессования ( $500\text{--}600$  кг/см<sup>2</sup>) с добавлением 5 % пластификатора.



Полученные образцы испытывали на термоциклирование по следующему режиму. Образцы помещали в электрическую печь, нагретую до  $1000^{\circ}\text{C}$ , и выдерживали в течение 5 мин, затем охлаждали в воде и снова помещали в печь. Изделия проходили без видимых разрушений 100 теплосмен  $1000^{\circ}\text{C}$  — вода.

Таким образом, использование принципа комбинирования позволяет стабилизировать структуру титалита и обеспечивает материалу термостойкость свыше 100 циклов. Установлено, что в результате использования кристаллизующегося стекла в качестве связки в сочетании с титанатом алюминия были получены материалы с ТКЛР  $9 \div 0,5 \cdot 10^{-7}$  град $^{-1}$ .

Разработанные составы могут быть использованы для получения на их основе изделий, работающих в условиях скоростного нагрева с резким охлаждением.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кингери У.Д. Введение в керамику. — М., 1967. — 500 с. 2. Эванс А.Г., Лэнгдон Т.Г. Конструкционная керамика. — М., 1980. — 256 с. 3. Павлушкин Н.М. Основы технологии ситаллов. — М., 1979. — 360 с. 4. Брэгг У., Кларингбулл Г. Кристаллическая структура минералов. — М., 1967. — 310 с. 5. Бережной А.С., Гультко Н.В. Титанат алюминия как огнеупорный материал. — В сб.: научн. работ по химии и технологии силикатов. М., 1956, с. 217–234. 6. Дир У.А., Хауи А.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. — М., 1965. — 406 с. 7. Бобкова Н.М. Пути получения жаростойких стеклокристаллических материалов с низким коэффициентом термического расширения. — В сб.: Физико-химические проблемы жаростойкости. Днепропетровск, 1980, с. 124–125. 8. Влияние добавок на спекание и свойства титалита/Бобкова Н.М., Силич Л.М., Борушко Н.А., Курпан Е.М. — В сб.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1979, вып. 8, с. 96–102. 9. Бобкова Н.М., Русак В.И., Дащинский Л.Г. Исследование механизмов кристаллизации стекол в системе  $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—MgO—BaO—TiO}_2$ . — В сб.: Стекло, ситаллы и силикатные материалы. Минск, 1970, с. 149–155. 10. Брон В.А., Подногин А.К. О свойствах  $\text{Al}_2\text{TiO}_5$ . — Докл. СССР, т. I, 1953, с. 91.

УДК 666.1.541.6

И.М. ТЕРЕЩЕНКО, Г.Е. РАЧКОВСКАЯ, канд-ты техн.наук (БТИ)

#### КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СТЕКОЛ МАЛОЛИТИЕВОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ $\text{Li}_2\text{O—ZnO—Al}_2\text{O}_3\text{—TiO}_2\text{—SiO}_2$

Система  $\text{Li}_2\text{O—ZnO—Al}_2\text{O}_3\text{—TiO}_2\text{—SiO}_2$  привлекает возможностью получения стеклокристаллических материалов, обладающих высокой термостойкостью, достаточной механической прочностью, хорошими диэлектрическими свойствами [1].

Ранее проведенными исследованиями закономерностей изменения свойств стекол этой системы при длительной термообработке в области  $650\text{—}750^{\circ}\text{C}$  [2] было установлено, что в предкристаллизационном периоде в них развиваются процессы метастабильной ликвации с образованием двух

\* Работа выполнена под руководством докт.техн.наук, профессора Н.М. Бобковой.