

Л и т е р а т у р а

1. Тижовка Ж.С., Тижовка В.В., Городецкая О.Г. Изучение стеклообразования и кристаллизационной способности стекол системы $\text{SiO}_2\text{-ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-CaO-Na}_2\text{O}$. - В сб.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1977, вып. 6, с. 37-43.
2. Тижовка Ж.С., Тижовка В.В. Исследование роли циркония в структуре алюмоборосиликатного стекла. - В сб.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1978, вып. 7, с. 61-67.
3. Ермоленко Н.Н., Ламбин Л.Н. Методы построения диаграмм многокомпонентных систем и использование его при синтезе новых стекол. - Минск, 1959. - 35 с.
4. Аппен А.А. Химия стекла. - Л., 1976, с. 276.
5. Физико-химические свойства и структура щелочинковых силикатных систем / В.В.Варгин, С.Г.Жауткян, В.Э.Мишель, П.З.Певзнер. - ЖПХ, 45, № 6, 1972, с. 1187-1193.

УДК 666.189.3.01:539.3

К.Ф.Красько, инж., Н.П.Садченко, канд. техн.наук, зав. сектором, В.И.Пилецкий, канд.техн.наук, зав. лаб. (Минск, НИИСМ)

К ВОПРОСУ ОБ УПРУГО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ПЕНОСТЕКЛА

Упруго-механические характеристики пеностекла представляют интерес как с точки зрения его применения, так и в отношении влияния на термические свойства, учитываемые при разработке режимов термообработки пеностекла на различных этапах его производства. Сведения об упругих характеристиках пеностекла приводятся лишь в единичных работах и зачастую характеризуются противоречивостью. Ф.Шилл [1] считает, что между способом отжига пеностекла и массивного стекла не существует принципиального различия, т. е. изменение температурного градиента при отжиге и соответственно распределение напряжений должно быть у блока пеностекла качественно таким же, как и у аналогичного по размерам блока массивного стекла. Однако эти напряжения будут различаться количественно, причем соизмеримо с различиями между физическими свойствами пеностекла, прежде всего между их упругими (модуль Юнга, коэффициент Пуассона) и термическими (удельная теплоемкость, теплопроводность) характеристиками, а также плотностью.

Сложность процесса отжига пеностекла и недостаточность экспериментальных данных о свойствах пеностекла в интервале температур отжига не позволяют выполнить на должном уровне расчеты оптимальной кривой отжига. Решение этой проблемы ведется различными путями. Ранее [2] нами была исследована зависимость температуропроводности пеностекла от температуры. Выполненное в настоящей работе исследование упруго-механических свойств пеностекла позволит дополнить уже имеющиеся сведения по данной проблеме.

Для определения модуля Юнга пеностекла применили динамический метод, основанный на измерении частоты изгибных колебаний образцов. В ходе эксперимента использовали пеностекло Гомельского стеклозавода - строительное и техническое.

Результаты определения модуля упругости позволяют проследить его взаимосвязь со структурой пеностекла и плотностью: как у строительного, так и у технического пеностекла модуль упругости возрастает с увеличением плотности и составляет 1400-2250 МПа при плотности 160-280 кг/м³ в первом случае и 1300-1600 МПа при плотности 155-185 кг/м³ - во втором. Зависимость модуля упругости строительного пеностекла (E , МПа) от плотности (γ , кг/м³) можно представить с некоторым приближением в виде следующей линейной функции:

$$E = 8,47 \gamma - 130,4.$$

Для некоторых образцов наблюдалось отклонение модуля упругости от общей зависимости, что, вероятно, было обусловлено наличием в блоке после отжига остаточных напряжений и микротрещин, вызванных различным теплосъемом с участков пеностекла с однородной и неоднородной структурой и оказывающих влияние на модуль упругости.

С целью детального исследования влияния характера распределения остаточных напряжений и структуры образца на модуль упругости его определяли для каждого образца исходя из 8 измерений собственной частоты изгибных колебаний, при которых приемник механических колебаний подводили к одному из торцов образца, а возбудитель - поочередно к четырем сторонам. Затем приемник подводили ко второму торцу и измерения производили еще четыре раза. Обозначения граней у образцов условно приняты следующими: 1, 3 - грани, прилегающие к верхней и нижней поверхностям блока пеностекла; 2, 4 - вертикальные грани. Установлено, что модуль упругости образца в случае, когда возбудитель механических колебаний подводили к граням 2 или 4, в среднем на 160 МПа превышает модуль, при котором возбудитель подводили к граням 1 или 3. Значения модуля уп-

ругости для граней 1 и 3 различаются незначительно - 12-14 МПа. Эта величина близка к ошибке воспроизводимости; градиент модуля для граней 2 и 4 несколько выше - 25-35 МПа. В целом значения модуля, измеренные при подведении возбудителя механических колебаний к параллельным сторонам образца, идентичны.

Наряду с определением модуля упругости изучали предел прочности при изгибе образцов, выпиленных из блоков строительного пеностекла. При этом образцы испытывали при обычном их положении в блоке (нагрузку прилагали к верхней грани) и далее в перпендикулярном положении (нагрузку прилагали к любой из боковых граней). Полученные результаты позволяют проследить соответствие величин модуля упругости и прочности: модуль, вычисленный для случая, когда возбудитель механических колебаний подводили к граням 2 или 4, превышает на 14-16% модуль, когда возбудитель подводили к граням 1 или 3, прочность - соответственно на 10-30%.

Скорость ультразвука определяли исходя из продолжительности ультразвукового импульса на образцах пеностекла размером 350 x 200 x 80 мм. Регистрацию производили по прибору УКБ-1М с помощью пьезодатчика на частоте 60 кГц. Установлено, что скорость ультразвука при расположении датчиков на боковых гранях плиты (3300 м/с) превышает таковую, когда датчики зафиксированы на ее верхней и нижней гранях (2400 м/с); то же наблюдалось и в техническом пеностекле - соответственно 3050 и 2700 м/с. Данный градиент скорости ультразвука следует считать значимым, поскольку он превышает градиент в отдельных точках измерения.

Аналогичную анизотропию свойств установили авторы работы [3] при исследовании диэлектрической проницаемости и некоторых физико-механических свойств пенокерамики. По мнению авторов, анизотропия свойств обусловлена анизотропией формы пор и их направленностью в процессе структурообразования, а также усадкой изделий при обжиге. Поскольку явного различия макроструктуры пеностекла в двух взаимно перпендикулярных направлениях не обнаружено; можно полагать, что анизотропия в нашем случае обусловлена не геометрией пор, а наличием остаточных напряжений в блоке. Это предположение находит подтверждение в исследованиях модуля упругости керамических материалов при нагреве, выполненных Г.Зальмангом [4]. Поскольку в пеностекле после отжига длительное время сохраняются остаточные напряжения [5], данные о том, что анизотропия упруго-механических свойств пеностекла обусловлена характером

распределения остаточных напряжений в блоке пеностекла, находят дополнительное подтверждение.

Обобщая результаты эксперимента, следует заключить, что величина таких характеристик пеностекла, как динамический модуль упругости, механическая прочность изгиба и скорость ультразвука, изученные на одних и тех же блоках пеностекла, различаются при измерении в двух взаимно перпендикулярных направлениях на 10–20%. Кроме того, определенное влияние оказывает и направленное формирование структуры во время вспенивания, при котором упруго-прочностные свойства в вертикальном направлении могут быть ослаблены. Установленный градиент свойств должен учитываться при проведении научно-исследовательских и практических работ по применению пеностекла.

Л и т е р а т у р а

1. Шилл Ф. Пеностекло. Пер. с чешск. яз. Г.М.Матвеева. – М., 1965, с. 76–79.
2. Некоторые особенности температуропроводности пеностекла / В.И.Пилецкий, Г.С.Гарнашевич, Г.М.Волохов и др. – В сб.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1981, вып. 10, с. 56–58.
3. Черепанов Б.С., Давидович Д.И., Любина Т.М. Анизотропия физико-механических свойств пенокерамических материалов. – Тр. НИИ строит. керам. М., 1977, вып. 42, с. 163–170.
4. Зальманг Г. Физико-химические основы керамики. – М., 1959. – 395 с.
5. Демидович Б.К., Пилецкий В.И. Влияние фазовой неоднородности и напряжений в пеностекле на стабильность его структуры. – В сб.: Стекло, ситаллы и силикатные материалы. Минск, 1974, вып. 3, с. 119–120.

УДК 666.189.3:666.1.038

Н.П.Садченко, канд.техн.наук, зав. сект., А.И.Любарский, канд.техн.наук, ст.науч.сотр., Б.К.Демидович, докт. техн.наук, профессор, К.Ф.Красько, инж., Д.Я.Вайнштейн, инж. (Минск. НИИСМ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ОТЖИГА ПЕНОСТЕКЛА

Специфика процесса отжига пеностекла заключается в том, что отжиг стенок ячеек, представляющих собой тончайшие стеклянные пленки, может быть завершен в весьма короткие сроки.