

перия и титана. — "Стекло и керамика", 1958, № 5. 3 Стекло. Справочник под ред. Н.М. Павлушкина. М., 1973, с. 20–22, 89.
4. Справочник по производству стекла, т. 1. М., 1963, с. 189–213.
5. Бокин П.Я. Механические свойства силикатных стекол. М., 1970.
6. Пух В.П. Прочность и разрушение стекла. М., 1973.
7. Аппен А.А. Химия стекла. М., 1973. 8. Солинов Ф.Г. и др. Влияние добавок фтора и замены Na_2O на K_2O на кристаллизационные свойства листового стекла. — "Стекло и керамика", 1965, № 6. 9. Шмелева Н.А. Агрессивность стекол по отношению к шамоту. — "Стекло и керамика", 1965, № 1.

Б.К. Демидович, Н.П. Садченко,
Л.А. Киселева, С.С. Акулич

О СТАБИЛЬНОСТИ СВОЙСТВ ПЕНОСТЕКЛА

Применение пеностекла как одного из эффективных теплоизоляционных материалов в условиях влажной среды, а также в радиотехнике при высоких уровнях мощности обуславливает повышенные требования к стабильности его структуры и физических свойств.

Наиболее распространенным способом оценки влагозащитных свойств пеностекла является определение степени его водонасыщения. Однако, как показали исследования, следует учитывать химическую устойчивость исходного стекла и структурообразующий фактор пеностекла. Так, у пеностекла, полученного с углеродсодержащим газообразователем в виде различных саж и обладающего низкими объемной массой ($130 \div 150 \text{ кг/м}^3$) и водонасыщением ($\leq 2\%$ объема), величина диффузии водяного пара зависит от структуры. Полная паронепроницаемость ($\mu = 0$) достигается у образцов толщиной от 10 мм и выше с однородными по величине и форме ячейками (рис. 1, кривые 1, 2). Пеностекло, у которого наряду с основной массой ячеек определенного размера встречаются включения более крупных ячеек, а также участки структуры с ячейками нечеткой формы с разнотолщинными разделительными стенками (рис. 1, кривые 3, 4), характеризуется коэффициентом паропроницаемости $\mu = 110 \div 115 \cdot 10^{-5} \text{ г/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт.ст.)}$. При длительном воздействии водяного пара разрушаются наиболее тонкие стенки

ячеек (1–1,5 мкм), которые поризованы мельчайшими газовыми включениями. И хотя процесс прохождения пара через пеностекло при постоянной температуре малоактивен, паропроницаемость образцов стабилизируется только через 120–135 суток. Это свойство пеностекла следует учитывать в условиях эксплуатации, где паропроницаемость материала будет активизироваться за счет изменения параметров окружающей среды. Однако наличие микродефектов в структуре пеностекла является недостаточным условием для водонасыщения внутренних его слоев вследствие гидрофобности поверхности ячеек и высокой вязкости воды. Таким образом, оценка влагозащитных свойств пеностекла только по величине водонасыщения является недостаточной. Для полной их характеристики необходимо учитывать величину паропроницаемости, косвенно определяющую характер микроструктуры пеностекла.

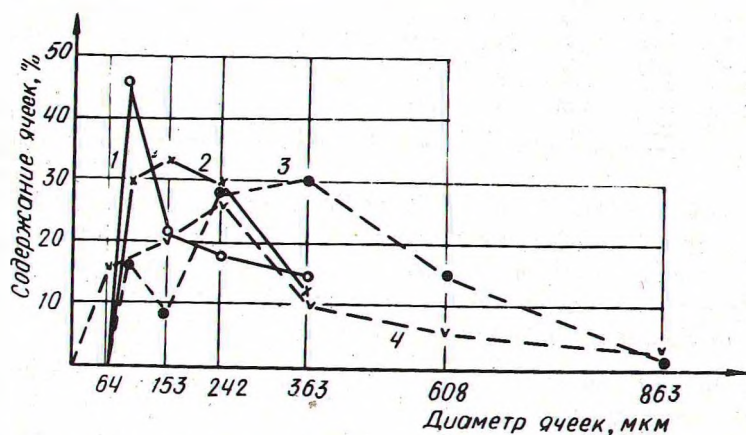


Рис. 1. График дифференциальной пористости пеностекла : 1,2 — образцы с однородной структурой; 3,4 — с участками неоднородной структуры.

Выбор химического состава стекла для получения пеностекла обусловлен как технологическими параметрами его производства, так и условиями применения изделий и изоляционных конструкций. Для получения пеностекла с высокой степенью пористости ($\gamma = 130-150 \text{ кг/м}^3$) необходимы высокощелочные составы стекол, содержащих достаточное количество окислительных компонентов, в частности 0,3–0,5% сульфатной серы. С другой стороны, стабильность структуры и физических свойств пеностекла при эксплуатации достигается при сохранении полной замкнутости ячеек и зависит от его гидrolитичес-

Табл. 1. Химический состав исходных стекол

Номер состава	Хим. устойчивость в воде, % по массе	Химический состав стекол по анализу, % по массе								
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	B ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
1	0,16	74,30	0,53	0,07	-	7,20	1,70	13,60	2,5	0,55
2	0,06	73,40	3,0	0,04	2,0	4,90	2,50	11,90	1,90	0,36
3	0,05	70,46	7,40	0,04	1,8	3,30	4,0	11,0	1,70	0,30

Табл. 2. Гидролитическая устойчивость пеностекла в зависимости от состава

Сутки	Концентрация ионов, мг/л						Водонасыщение, % объема R _{сж} ¹		
	состав 1		состав 2		состав 3		состав		
	Na	K	Na	K	Na	K	1	2	3
60	0,12	0,20	0,03	0,16	0,04	0,19	1,0/15,0	0,7/20,1	0,6/21,0
120	0,18	0,24	0,07	0,21	0,05	0,21			
180	0,32	0,27	0,11	0,25	0,07	0,31			
240	0,62	0,35	0,13	0,35	0,09	0,49			
340	0,74	0,39	0,18	0,46	0,10	0,53	10,0/9,6	1,8/19,2	1,8/20,0
480	87,6	6,5	2,24	1,48	1,21	1,23			
660	187,6	15,3	3,56	1,56	1,62	1,35			
1100	238,0	21,5	3,68	1,48	1,72	1,40			
1230	242,0	25,0	3,70	1,50	2,1	1,27			
1430	225,0	25,2	4,10	1,60	2,0	1,25			
1520	214,0	26,2	4,0	1,50	1,9	1,20	29,6/1,8	3,7/17,9	2,0/17,5

кой устойчивости. В этой связи исследовали влияние химического состава стекол, приведенных в табл. 1, на гидролитическую устойчивость пеностекла. Для этого образцы размером 70x70x70 мм, обладающие мелкоячеистой замкнутой структурой, помещали в дистиллированную воду ($v_{const} = 7$) и периодически определяли концентрацию ионов Na^+ и K^+ , а также водонасыщение пеностекла.

Данные исследования (см. табл. 1,2) показывают, что интенсивность и кинетика процессов, протекающих при гидролитическом разрушении структуры пеностекла, взаимосвязаны с его химическим составом. Процессы выщелачивания и последующего разрушения структуры протекают в соответствии с гидролитической устойчивостью исходного стекла. Однако в пеностекле влияние химического состава усиливается малой толщиной разделительных стенок ячеек. Так, наибольшая концентрация щелочных ионов в растворе установлена для пеностекла Na^+ -Ca-силикатного состава № 1 (табл. 1,2). При этом концентрация ионов K^+ в течение 120 суток превышает концентрацию Na^+ . Очевидно, в данном случае начальная стадия процесса выщелачивания в большей степени зависит от скорости первичного процесса обмена щелочных ионов на ионы водорода.



которая протекает интенсивнее для K^+ вследствие меньшей силы его химической связи. Далее, через 480 суток, когда водонасыщение пеностекла состава №1 увеличивается (с 1 до 10%), а механическая прочность снижается (с 15 до 9,6 кгс/см² см. табл. 2), в процессе деструкции участвуют внутренние слои пеностекла и содержание ионов Na^+ и K^+ резко возрастает, что приводит к увеличению толщины кремнеземистой пленки и торможению диффузионных процессов. В результате концентрация Na , как иона с меньшим радиусом значительно превышает концентрацию K^+ . Данное соотношение щелочных ионов сохраняется вплоть до полного разрушения структуры пеностекла (1520 суток, табл. 2).

У пеностекла состава 2,3 начальная концентрация щелочных ионов невелика и в ходе испытания возрастает незначительно, стабилизируясь через 600–1000 суток. В соответствии с этим образцы сохраняют замкнутую ячеистую структуру и высокие физико-механические свойства (водонасыщение 2,0–3,7%, механическая прочность сжатия 17–18 кгс/см², коэффициент теплопроводности 0,07–0,08 ккал/м·ч·°С). Из кинетики процесса разрушения структуры пеностекла следует, что при уменьшении скорости процесса выщелачивания и соответственно толщины кремнеземистой пленки ход процесса длительное время определяется скоростью обменной реакции. Конечная же стадия процесса, как и в предыдущем случае, обусловлена скоростью диффузии щелочных ионов.

Таким образом, в сложных условиях эксплуатации, при повышенной влажности и знакопеременных температурах, стабильность структуры и свойств пеностекла обеспечивается при применении стекла алюмосиликатного состава с химической устойчивостью к воде $\leq 0,05\%$. Статика и кинетика увлажнения пеностекла определяется также характером его структуры. Основным условием паро- и водонепроницаемости является наличие замкнутой однородной ячеистой структуры, стабильной при воздействии воды и водяного пара.