

основе шлака комбината "Южуралникель" / Л.А.Жунина, Т.И.Ротман, Л.Г.Дащинский и др. - В сб.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1980, вып. 9, с. 12-15. 8. Яглов В.И., Жунина Л.А. О выборе оптимальных условий термообработки некоторых стекол состава  $\text{SiO}_2\text{-CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$ . - В сб.: Безборные, бесщелочные и малощелочные стеклообразные системы и новые стекла на их основе. М., 1967, с. 166-173.

УДК 666.1.038.8

Л.А.Жунина, докт.техн.наук, профессор,  
В.Н.Пашкевич, асп., Л.Г.Дащинский,  
канд. техн. наук, ст. науч. сотр. (БТИ)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА КРИСТАЛЛИЗУЮЩЕГОСЯ СТЕКЛА

Использование многоступенчатых режимов термообработки стекла обусловлено необходимостью получения заданных кристаллических фаз в оптимальном соотношении с остаточным стеклом, а также осуществлением этого процесса в минимальное время. Это обеспечивает экономическую эффективность технологического процесса получения ситаллов [1, 2].

В данной работе исследовалось влияние условий термообработки стекла на основе глины в системе  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO-R}_2\text{O}$  на свойства, структуру и фазовый состав с целью выбора оптимального режима ситаллизации.

Первая ступень термообработки предварительно выбиралась исходя из температурного интервала эндотермического эффекта на кривой ДТА (рис. 1) в области, где наблюдаются ликвации и другие структурные превращения, а также происходит размягчение стекла. Учитывалось, что первая ступень термообработки должна находиться на 10-30°C ниже температуры размягчения [1, 2]. В случае многокомпонентной системы увеличивается возможность возникновения ликвационной структуры и низкотемпературного выпадения примесных и других кристаллических фаз с большей скоростью образования зародышей кристаллов [3]. При дальнейшей термообработке это обеспечивает мелкокристалличность образцов.

Скорость подъема температуры до 1 ступени принята 300°C/ч [1], но в каждом конкретном случае она должна регламентироваться размерами обрабатываемых изделий и их конфигурацией.

Тепловая обработка стекла при  $725^{\circ}\text{C}$  приводит к изменению структуры (рис. 2). Размеры ликвационных капель достигают  $0,2\ \mu\text{м}$  и они равномерно распределяются по всему объему образца. Это при повышении температуры способствует процессу ситализации стекла. Продолжительность выдержки на I ступени принята 1 ч согласно [4].

Температура II ступени термообработки стекла выбрана в области нахождения максимума экзотермического эффекта на термограмме (см. рис. 1), а также на основе исследования изменения свойств, фазового состава и структуры образцов, обработанных по двухступенчатому режиму. Скорость подъема тем-

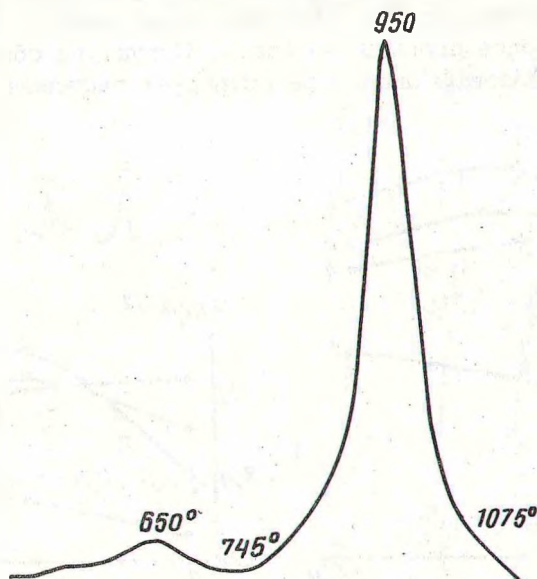


Рис. 1. Термограмма кристаллизующегося стекла.

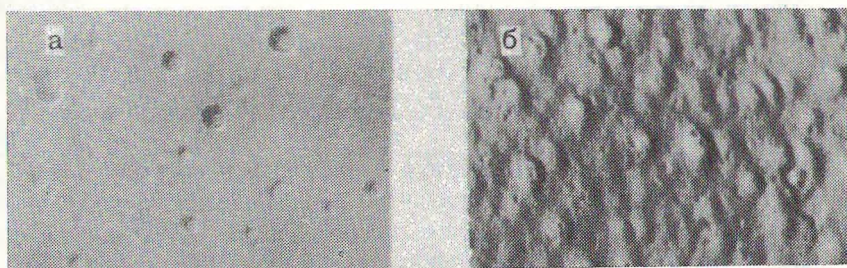


Рис. 2. Изменение структуры кристаллизующегося стекла при термообработке:

а - исходное; б -  $725^{\circ}\text{C}$ , 1 ч.

пературы между I и II ступенью принята  $120^{\circ}\text{C}/\text{ч}$  [1, 3], что обеспечивает в результате выпадения кристаллической фазы необходимую прочность образцов. Это предотвращает их деформацию во время процесса термообработки стекла.

Обработка стекла по двухступенчатому режиму (табл. 1) приводит к уплотнению структуры и повышению показателей физико-механических свойств (рис. 3).

Повышение температуры обработки на II ступени до  $925-950^{\circ}\text{C}$  вызывает дальнейший рост значений плотности до  $3,04 \text{ г}/\text{см}^3$  и микротвердости до  $945 \text{ кг}/\text{мм}^2$ . Это связано с увеличением количества кристаллической фазы (рис. 4). Размер кристаллов составляет  $0,1-0,2 \text{ мкм}$ , отдельные кристаллы приобретают более правильную форму. Структура образцов плотная. Рентгенофазовый анализ регистрирует выделение твердого

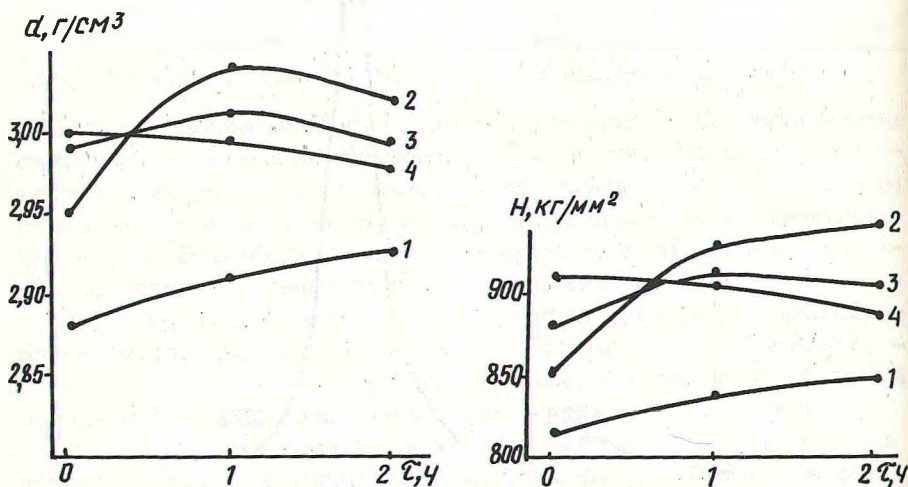


Рис. 3. Зависимость свойств кристаллизующегося стекла от режима на II ступени термообработки:  
1 -  $925^{\circ}\text{C}$ ; 2 -  $950^{\circ}\text{C}$ ; 3 -  $975^{\circ}\text{C}$ ; 4 -  $1000^{\circ}\text{C}$ .

раствора пироксена диоксид-геденбергитового ряда ( $2,99 \text{ \AA}$ ;  $2,51$ ;  $1,63 \text{ \AA}$ ), обеспечивающего повышенные значения физико-механических свойств.

Дальнейший подъем температуры кристаллизации до  $975-1000^{\circ}\text{C}$  и увеличение выдержки до 2 ч приводит к падению плотности и микротвердости, что подтверждает характер изгиба на кривых зависимости свойство — время выдержки — температура термообработки (см. рис. 3). Возрастание плотности, как известно, связано с внутрискруктурными процессами, приводящими к созданию более плотной структуры в образце.

Табл. 1. Режимы двухступенчатой термообработки стекла

Номер режима	I ступень		II ступень	
	температура, °C	выдержка, ч	температура, °C	выдержка, ч
1	725	1	925	0 1 2
2	725	1	950	0 1 2
3	725	1	975	0 1 2
4	725	1	1000	0 1 2

В стекле, закристаллизованном по режиму 2, наблюдаются максимальные значения плотности  $3,04 \text{ г/см}^3$  и микротвердости  $945 \text{ кг/мм}^2$  вследствие более мелкодисперсного характера кристаллизации и, вероятно, меньшей дефектности структуры образцов.

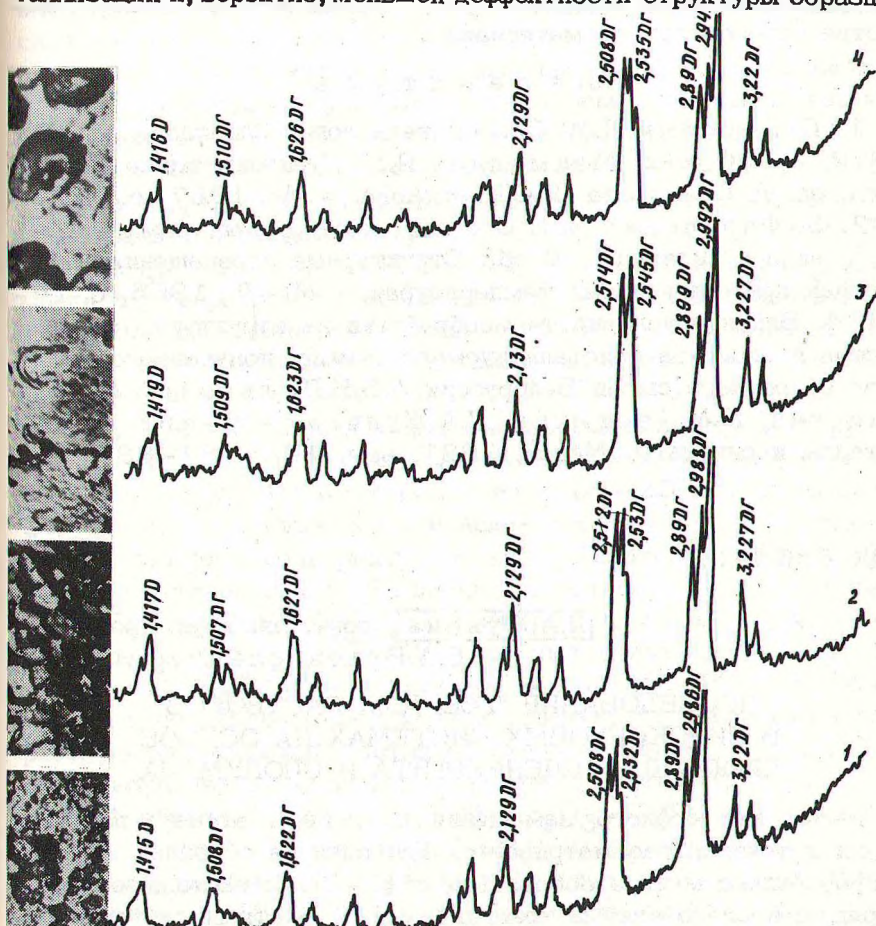


Рис. 4. Фазовый состав и структура продуктов двухступенчатой термообработки кристаллизующегося стекла:

Д - диопсид; Г - геденберит; 1 -  $925^\circ\text{C}$ , 1 ч; 2 -  $950^\circ\text{C}$ , 1 ч; 3 -  $975^\circ\text{C}$ , 1 ч; 4 -  $1000^\circ\text{C}$ , 1 ч.

Укрупнение кристаллов при 1000°C способствует появлению дефектов как в самих кристаллах, так и на границах со стеклообразной фазой, в связи с этим прочность образцов при более высоких температурах обработки резко падает (см. рис. 3).

Таким образом, проведенное экспериментальное исследование показало, что наиболее плотная и однородная структура наблюдается у образцов, термообработанных по режиму 2 (см. табл. 1). При термообработке по данному режиму свойства петроситалла достигают своего максимального значения.

Образцы имеют более мелкодисперсный характер кристаллизации и меньшую дефектность структуры, что повышает механическую прочность и позволяет рекомендовать петроситалл в качестве износостойкого материала.

#### Л и т е р а т у р а

1. Павлушкин Н.М. Основы технологии ситаллов. - М., 1979. - 360 с.
2. Макмиллан П.У. Стеклокерамика. Пер. с англ. яз. А.Т.Аладьева, Н.С.Костюкова. - М., 1967, с. 111-122.
3. Филипович В.Н. О связи между структурами расплава, стекла и ситалла. - В сб.: Структурные превращения в стеклах при повышенных температурах. - М.-Л., 1965, с. 15-29.
4. Влияние условий термообработки на структуру, фазовый состав и свойства кристаллизующего стекла, полученного на основе природного сырья Белоруссии / В.Н.Пашкевич, Л.Г.Дашинский, Ю.М.Костюнин, Л.А.Жунина. - В сб.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1981, вып. 10, с. 84-88.

УДК 666.112.9

Л.А.Жунина, докт.техн.наук, профессор,  
Е.А.Букенгольц, асп. (БТИ)

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ В ПИРОКСЕНОВЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ДИОПСИДА, ГЕДЕНБЕРГИТА И СПОДУМЕНА

Метод изоморфного замещения на данном этапе развития науки и техники рассматривается как один из основных методов направленного минералообразования [1-3]. В настоящее время наряду с исследованиями традиционных силикатных систем большое внимание уделяется изучению многокомпонентных систем, содержащих редкие и редкоземельные элементы, а также изоморфных взаимозамещений в силикатно-германатных системах