

Al. Подобное действие последнего на кристаллизационную способность стекол наблюдалось и в других боросиликатных системах [4].

Результаты исследования температурных границ начала кристаллизации показывают, что в сечениях с содержанием 2,5; 5 мол. % ZnO и в сечении, не содержащем ZnO, стекла начинают образовывать пленку на поверхности при 700 °С. Образование пленки в сечениях с 7,5 и 10 мол. % ZnO начинается уже при 650 °С, а для некоторых стекол и при более низкой температуре. Кроме того, для ряда составов системы наблюдается низкотемпературная опалесценция в интервале температур 1020–700 °С. С ростом температуры усиливается склонность к кристаллизации. Образование корки и полное глушение приходится на верхний интервал температур (1200–950 °С).

Исследование стеклообразования и кристаллизационной способности позволило определить связь между стеклообразующими свойствами и химическим составом, выявить влияние отдельных компонентов на характер кристаллизации стекол системы. Определено, что в системе имеется область составов, которые обладают хорошими варочными и выработочными свойствами, а также не дают глушения при термообработке. Такие стекла могут служить основой для разработки на базе их практических составов прозрачных глазурей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Штейнберг Ю.Г. Стекловидные покрытия для керамики. — Л., 1978. — 200 с.
2. Штейнберг Ю.Г. Стронциевые глазури. — М.—Л., 1976. — 176 с.
3. Городецкая О.Г., Гайлевич С.А. Стеклообразование и кристаллизационная способность стекол системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{ZnO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{ZrO}_2-\text{SiO}_2$ . — В сб.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1978, вып. 7, с. 73–78.
4. Городецкая О.Г., Янковская С.А. Исследование стеклообразования и кристаллизационной способности стекол системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{ZrO}_2-\text{SiO}_2$ . — В сб.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1979, вып. 8, с. 31–34.

УДК 658.513.3

Э.П. КРЮКОВА, канд.техн.наук (ИТК АН БССР),  
И.В. СТЕФАНЮК, Л.Г. ХОДСКИЙ, канд-ты техн.наук (ИОНХ АН БССР)

### СИНТЕЗ ЭМАЛЕВЫХ СТЕКОЛ ДЛЯ БЕЗГРУНТОВЫХ ПОКРЫТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Задача оптимизации свойств эмалевых стекол предполагает проведение исследований зависимости основных физико-химических свойств стекол от их состава с последующей обработкой результатов испытаний на ЭВМ по определенным программам и с экспериментальной проверкой расчетов. Нами выбраны наиболее важные для разработки безгрунтовых покрытий свойства: химическая устойчивость  $\gamma_1$ , коэффициент термического расширения  $\gamma_2$ , растекаемость  $\gamma_3$  и качество покрытия.

Варку стекол производили в фарфоровых тиглях емкостью 200 мл в электрической силитовой печи в течение 20 мин при температуре 1350 °С. Химическую устойчивость к 20 % HCl определяли порошковым методом (при 98 °С в течение 1 ч, размер зерен 0,25–0,50 мм). Коэффициент термического расширения в интервале температур 20–400 °С измеряли на вертикальном dilatометре ДКВ–2; растекаемость – по ОСТ 26-01-198-79. Нанесение эмалей на сталь 08 КП осуществляли пудровым способом через сито № 008 (по ГОСТ 3584-53). Качество покрытия оценивали визуально.

Объектами исследования служили составы, содержащие оксиды кремния, кобальта, бора, натрия и другие ингредиенты (в мас. %). Большое количество факторов (8 компонентов смеси) обусловило применение симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента для систем, являющихся смесями k компонентов [1], переменные которых  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) есть процентные содержания i-ых компонентов смеси, имеющие двусторонние ограничения.

$$a_i \leq x_i \leq h_i \quad (1)$$

Для уменьшения размерности факторного пространства на единицу доля восьмого компонента стабилизируется  $x_8 = 4,8$ , а оставшиеся компоненты суммируются до

$$\sum_{i=1}^{k=1} x_i = 100 - q_8 = 95,2 \quad (2)$$

Задача планирования сводится, таким образом, к построению плана для 7 компонентов.

Предполагается, что изучаемые свойства в выбранном диапазоне факторов (табл. 1) являются непрерывными функциями аргументов и могут быть с достаточной степенью точности представлены полиномами первой степени. Это предположение подтверждается результатами обработки данных ранее проведенных пассивных экспериментов.

Наличие ограничений при отсутствии вырожденных ситуаций позволяет представить факторное пространство в виде некоторого многогранника внутри симплексного пространства. Расчет координат вершин этого многогранника (плана эксперимента) ведется по алгоритму Мак Лина и Андерсона с учетом условий (1) и (2).

Исходная матрица планирования для этого алгоритма представляет собой дробную реплику  $2^{7-4}$ . План эксперимента после его расчета состоит из 20 позиций – вариантов смеси.

Расчет параметров линейной модели произведен на ЭВМ ЕС-1035 по 15 смесям (эмалевым стеклам), так как 5 смесей характеризовались частичным или полным непроваром.

В результате получены уравнения, адекватно описывающие три вышеуказанных свойства эмалевых стекол:

а) химическую устойчивость к 10 % HCl:

$$y_1 = 3,12 x_5 + 4,89 x_4 - 52,75;$$

Табл. 1. Уровни варьирования факторов

Компоненты	SiO <sub>2</sub>	Перлит	RO	R <sub>2</sub> O <sup>I</sup>	R <sub>2</sub> O <sup>II</sup>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Криолит
Обозначения	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>	x <sub>8</sub>
Уровни								
верхний (h <sub>1</sub> )	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	h <sub>5</sub>	h <sub>6</sub>	h <sub>7</sub>	h <sub>8</sub>
средний (x <sub>0</sub> )	x <sub>01</sub>	x <sub>02</sub>	x <sub>03</sub>	x <sub>04</sub>	x <sub>05</sub>	x <sub>06</sub>	x <sub>07</sub>	x <sub>08</sub>
нижний (a <sub>1</sub> )	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	a <sub>4</sub>	a <sub>5</sub>	a <sub>6</sub>	a <sub>7</sub>	a <sub>8</sub>

б) коэффициент термического расширения:

$$y_2 = 2,55 x_5 - 0,49 x_1 + 2,44 x_4 + 73,87;$$

в) растекаемость:

$$y_3 = 7,21 x_4 + 3,82 x_5 + 1,79 x_6 - 0,45 x_1 + 3,56 x_3 - 31,11.$$

Таким образом, можно сделать вывод, подтверждающий правильность гипотезы о выборе порядка моделей откликов (свойств) и соответствующего им плана эксперимента. Уравнения дают возможность рассчитать свойства смесей при варьировании содержания компонентов в выбранных пределах.

Задача поиска состава стекла, с точки зрения достижения наилучших значений химстойкости, коэффициента термического расширения и растекаемости, решалась путем оптимизации функции D — обобщенной функции желательности Харрингтона [2], параметры которой рассчитаны на ЭВМ. Получено следующее адекватное уравнение для данной функции

$$D = -0,20 x_4 - 1,58 x_1 + 2,11.$$

Факторы, не вошедшие в уравнение, статистически незначимы. Оптимизация этого уравнения позволила рекомендовать состав смеси, обладающей оптимальными свойствами, по принятым показателям качества стекла:

Химическая устойчивость к 10 % HCl

(потери веса, мас. %)

0,34

Прочность сцепления, %

93,5

Растекаемость при 860 °C, мм

41,2

Температура обжига, °C

830—840

Проведена укрупненная плавка полученного состава, подтвердившая его хорошую технологичность и высокие физико-химические показатели.

Таким образом, в результате исследования получены уравнения, описывающие зависимость состав—свойство в перлитборосиликатной системе, которые при заданных ограничениях позволяют оптимизировать свойства эмалевых стекол.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. — М., 1976. — 390 с.
- Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. — М., 1978. — 320 с.