

Образцы с красочными покрытиями выдерживались в течение 1 ч в растворах 0,25 %  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ; затем растворы исследовались на содержание ионов  $\text{Pb}^{2+}$  фотоколориметрическим методом [7]. Результаты фотоколориметрии представлены в табл. 3.

Таким образом, концентрация выщелоченных ионов  $\text{Pb}^{2+}$  на каждые 100  $\text{см}^2$  покрытия из красок с флюсами 1/Р-3/Р в 6-11 раз ниже, чем из заводской краски. Кроме того, для всех синтезированных красок эта концентрация ниже ПДК в 30-60 раз [7].

Анализируя все экспериментальные и расчетные данные по исследованию флюсов 1/Р-3/Р и красок на их основе, можно заключить, что опробованные флюсы обладают требуемыми значениями ТКЛР ( $65-76 \cdot 10^{-7}$  град $^{-1}$ ), хорошей растекаемостью, высоким  $n_D$  (1,556-1,605), высокой химической устойчивостью и несколько повышенной  $t_{н.д}$  (560-630 °С).

Однако красочные покрытия, полученные на основе опробованных флюсов составов 1/Р-3/Р, отличаются несколько повышенной температурой обжига (850 °С), что требует их корректировки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов В.И. Глазури, эмали, керамические краски и массы. — М.—Л., 1937, с. 70-74.
2. Мороз И.И., Комская М.С., Олейникова Л.Л. Справочник по фарфоро-фаянсовой промышленности. — М., 1980, т. 2. — 350 с.
3. Shaw K. Ceramics farbers. — L., 1960. — 352 p.
4. Аппен А.А. Химия стекла. — Л., 1970. — 350 с.
5. Ермоленко Н.Н. О зависимости некоторых физических свойств стекол от их состава и структуры. — В кн.: Стекло, ситаллы и силикатные материалы. Минск, 1976, вып. 5, с. 3-9.
6. Безбородов М.А. Химическая устойчивость силикатных стекол. — Минск, 1972. — 303 с.
7. Карякина М.И. Лабораторный практикум по испытаниям лакокрасочных покрытий и материалов. — М., 1977. — 230 с.

УДК 666.112.3. (088.8)

Т.И. РОТМАН,  
Л.Г. ДАЩИНСКИЙ,  
Ю.М. КОСТЮНИН, канд-ты техн.наук (БТИ)

#### ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕГО СТЕКЛА МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

При синтезе стеклокристаллических материалов рядом авторов [1-4] установлено, что весьма малые добавки оксидов металлов к основному катализатору кристаллизации могут вызывать ускорение процесса минералообразования, изменять порядок выделения метастабильных фаз и степень их кристаллизации.

На основе никелевых шлаков в системе  $\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Na}_2\text{O}$  с небольшим содержанием  $\text{MnO}$ ,  $\text{TiO}_2$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  разработан пироксеновый состав стекла, который кристаллизуется объемно с образованием мелкокристаллической структуры. Катализатором кристаллизации являются оксиды железа различной валентности, суммарное содержание которых может достигать 15 мас. дол., % [5].

Для изучения влияния примесей на кристаллизационные свойства синтезированы модельные стекла, соответствующие оптимальному шлаковому составу и отличающиеся различным содержанием добавок. С целью выявления закономерностей процессов кристаллизации модельных стекол в зависимости от вида и содержания примесей исследования проводились с помощью математического планирования эксперимента [6]. В качестве независимых переменных были выбраны концентрации оксидов марганца ( $x_1$ ), титана ( $x_2$ ), хрома ( $x_3$ ). Выходным критерием ( $y$ ) являлась высота экзотермического пика на термограммах. Они были сняты на дериватографе с порошков стекол с одинаковой массой и удельной поверхности при скорости нагрева образца 20 °С/мин (эталон в виде прокаленного  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).

Интервал варьирования независимых переменных выбирался исходя из результатов исследований модельных стекол с отдельными добавками [7], а также из данных литературы. При составлении матрицы планирования по схеме полного факторного эксперимента учитывались основные факторы и эффекты их взаимодействия. Расчет уравнения регрессии проводился по многофакторной регрессионной модели с автоматическим выбором существенных факторов по стандартной программе СП-162. Данная модель позволяет постепенно определить регрессионное уравнение через 1, 2... n таких входных параметров, которые больше других влияют на соответствующий выход.

Множественная регрессия применяется для определения параметров функции  $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$ , если значение аргумента в зависимой переменной задано в виде рядов измерений. Матрица планирования и результаты ДТА приведены в табл. 1. Во множественном регрессионном анализе коэффициенты регрессии вычисляются с помощью метода наименьших квадратов, который позволяет получить минимальную среднеквадратичную ошибку, т.е.

$$\text{выражение } \sum_{a=1}^m [(y_{ij} - \bar{y}) - \sum_{i=1}^{n=1} b_i (x_{ij} - \bar{x}_i)]^2 \text{ минимально.}$$

Здесь  $x_{ij}$  — наблюдения  $j$ -ой переменной;  $y_{ij}$  — наблюдения зависимой переменной;  $b_i$  — регрессионный коэффициент при  $i$ -ой переменной;  $\bar{y}$  — среднее значение зависимой переменной;  $\bar{x}_i$  — среднее значение  $i$ -ой переменной.

Табл. 1. Матрица планирования и результаты экспериментов

| Но-<br>мер<br>опы-<br>та | Кодированное значение<br>факторов |                |                | Интервал варьирования<br>содержания оксидов,<br>мас. дол., % |                  |                                | Среднее значение<br>высоты экзотер-<br>мического эффек-<br>та по данным ДТА,<br>мм |
|--------------------------|-----------------------------------|----------------|----------------|--|------------------|--------------------------------|--|
|                          | $x_1$                             | $x_2$          | $x_3$          | MnO  | TiO <sub>2</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |  |
| 1                        | a <sub>1</sub>                    | b <sub>1</sub> | c <sub>1</sub> | 0,00   | 0,00             | 0,00                           | 4,5  |
| 2                        | a <sub>2</sub>                    | b <sub>1</sub> | c <sub>1</sub> | 0,25   | 0,00             | 0,00                           | 7,6  |
| 3                        | a <sub>3</sub>                    | b <sub>1</sub> | c <sub>1</sub> | 0,50   | 0,00             | 0,00                           | 4,6  |
| 4                        | a <sub>1</sub>                    | b <sub>2</sub> | c <sub>1</sub> | 0,00   | 0,07             | 0,00                           | 5,1  |
| 5                        | a <sub>2</sub>                    | b <sub>2</sub> | c <sub>1</sub> | 0,25   | 0,07             | 0,00                           | 5,4  |
| 6                        | a <sub>3</sub>                    | b <sub>2</sub> | c <sub>1</sub> | 0,50   | 0,14             | 0,00                           | 9,5  |
| 7                        | a <sub>1</sub>                    | b <sub>3</sub> | c <sub>1</sub> | 0,00   | 0,14             | 0,00                           | 4,1  |
| 8                        | a <sub>2</sub>                    | b <sub>3</sub> | c <sub>1</sub> | 0,25   | 0,14             | 0,00                           | 4,3  |
| 11                       | a <sub>3</sub>                    | b <sub>1</sub> | c <sub>2</sub> | 0,50   | 0,00             | 0,15                           | 7,5  |
| 12                       | a <sub>2</sub>                    | b <sub>2</sub> | c <sub>2</sub> | 0,25   | 0,07             | 0,15                           | 12,6   |
| 13                       | a <sub>3</sub>                    | b <sub>2</sub> | c <sub>2</sub> | 0,50   | 0,07             | 0,15                           | 5,4  |
| 14                       | a <sub>1</sub>                    | b <sub>3</sub> | c <sub>2</sub> | 0,00   | 0,14             | 0,15                           | 5,8  |
| 15                       | a <sub>2</sub>                    | b <sub>3</sub> | c <sub>2</sub> | 0,25   | 0,14             | 0,15                           | 6,8  |
| 16                       | a <sub>3</sub>                    | b <sub>3</sub> | c <sub>2</sub> | 0,50   | 0,14             | 0,15                           | 8,0  |
| 17                       | a <sub>1</sub>                    | b <sub>1</sub> | c <sub>3</sub> | 0,00   | 0,00             | 0,30                           | 6,1  |
| 18                       | a <sub>2</sub>                    | b <sub>1</sub> | c <sub>3</sub> | 0,25   | 0,00             | 0,30                           | 6,5  |
| 19                       | a <sub>3</sub>                    | b <sub>1</sub> | c <sub>3</sub> | 0,50   | 0,00             | 0,30                           | 8,3  |
| 20                       | a <sub>2</sub>                    | b <sub>2</sub> | c <sub>3</sub> | 0,25   | 0,07             | 0,30                           | 7,2  |
| 21                       | a <sub>1</sub>                    | b <sub>3</sub> | c <sub>3</sub> | 0,50   | 0,07             | 0,03                           | 12,5   |
| 22                       | a <sub>1</sub>                    | b <sub>3</sub> | c <sub>3</sub> | 0,00   | 0,14             | 0,30                           | 10,3   |
| 23                       | a <sub>2</sub>                    | b <sub>3</sub> | c <sub>3</sub> | 0,25   | 0,14             | 0,30                           | 9,0  |
| 24                       | a <sub>3</sub>                    | b <sub>3</sub> | c <sub>3</sub> | 0,50   | 0,14             | 0,30                           | 10,0   |

Вычисления ведутся по следующей схеме:  $x_i = \sum_{j=1}^m \frac{x_{ij}}{m} + \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ij}$

$(x_{ij} - m_i)$ , где  $m_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ij}$ .

Стандартные отклонения:

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - m_i)^2 \frac{1}{m} \left[ \sum_{j=1}^m (x_{ij} - m_i) \right]^2}$$

В данных исследованиях множественная регрессия имела вид

$$h = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_1 x_2 + a_5 x_1 x_3 + a_6 x_2 x_3 + a_7 x_1^2 + a_8 x_2^2 + a_9 x_3^2 + a_{10} x_1 x_2 x_3$$

Изучение характера изменения экзотермических эффектов на термограммах позволило заключить, что введение в модельное

шлаковое стекло добавок  $a_1, a_3, a_6$  в небольших количествах неоднозначно влияет на положение экзотермического эффекта и температурный интервал кристаллизации.

В результате проведенных на ЭВМ "Минск-22" расчетов установлено, что значимыми параметрами в уравнении регрессии являются  $a_1, a_3, a_6$ . В результате уравнение регрессии принимает вид

$$y = 4,78 + 3,46 x_1 + 6 x_3 + 56,28 x_2 x_3. \quad (1)$$

Как видно из уравнения (1), решающее влияние на интенсификацию кристаллизации железосодержащего стекла пироксенового состава оказывает совместное введение оксидов хрома и титана, что согласуется с данными, полученными Л.А. Жуниной [8]. Это обусловлено усилением ликвационных процессов в стекле и формированием микрогетерогенных областей, представляющих собой обособленные группы, приближающиеся по составу к феррошпинелям, инициирующим при последующей термообработке формирование диопсидоподобной кристаллической фазы.

Анализ уравнения регрессии показывает, что зависимость интенсивности кристаллизации железосодержащего состава стекла от введения примесных концентраций отдельных добавок оксидов марганца, титана и хрома носит прямолинейный характер. Максимальное увеличение интенсивности кристаллизации при введении отдельных добавок вызывает наличие оксидов хрома.

Учитывая, что при переходе от модельных к шлаковым составам кристаллизационная способность увеличивается, полученные зависимости переносятся на шлаковые стекла.

В результате комплексных исследований фазового состава, структуры было установлено, что имеющихся в шлаковом стекле оптимального состава оксидов железа и примесей (оксидов хрома, титана и марганца) достаточно для стимулирования кристаллизации мономинерального пироксенового шлакоситалла и получения материала с высокими значениями физико-химических свойств.

Таким образом, применение схемы полного факторного эксперимента позволило выявить основные закономерности влияния примесей на интенсификацию процессов кристаллизации пироксеновых железосодержащих шлаковых составов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хо да ко в с к а я Р.Я., Па в лу ш к и н Н.М., Ге р ст н е р Н.Н. Влияние малых добавок Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiO и MgO на процесс кристаллизации натриево-алюмосиликатных стекол. — В кн.: Физика и химия стекла, т. 2, вып. 5, 1976, с. 1110—1115.
2. Па в лу ш к и н Н.М., Хо да ко в с к а я Р. Я., Ти м о ф е е в а Л.К. Влияние модифицирующих добавок на процесс кристаллизации стекол. — Стекло и керамика, 1967, № 3, с. 11—16.
3. Синтез ситаллов на основе зол и шлаков ТЭС/В.А. Корякин, Л.Ф. Тапека, Г.Ю. Турушева, Ю.Д. Кручин. — Стекло и керамика, 1980, № 6, с. 6—7.
4. Исследование некоторых стимуляторов на кристаллизацию высокоглиноземистого хромосодержащего шлакового стекла/Бабушкин О.С., Жунина Л.А., Баранцева С.Е., Томчи

на Т.И. — В кн.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1978, вып. 7, с. 102—108.  
5. Стеклообразование и кристаллизационная способность стекол, полученных на основе шлаков комбината "Южуралникель"/Л.А. Жунина, Т.И. Ротман, Л.Г. Дашинский и др. — В кн.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1980, вып. 9, с. 12—15.  
6. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. — М., 1968. — 288 с.  
7. Ротман Т.И., Дашинский Л.Г., Жунина Л.А. Исследование влияния примесей на кристаллизационную способность стекол, полученных на основе шлаков комбината "Южуралникель". — В кн.: Стекло, ситаллы и силикаты. Минск, 1981, вып. 10, с. 63—68.  
8. Жунина Л.А. Исследование и синтез пироксеновых ситаллов. — В кн.: Стекло, ситаллы и силикатные материалы. Минск, 1970, вып. 1, с. 83—84.

УДК 666.189.3.004

Н.П. САДЧЕНКО,  
С.С. АКУЛИЧ, канд-ты техн.наук,  
Б.К. ДЕМИДОВИЧ, д-р техн.наук,  
К.Ф. КРАСЬКО, Л.А. КИСЕЛЕВА (Минск. НИИСМ)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПЕНОСТЕКЛА

Пеностекло, производимое на основе углеродсодержащих газообразователей, характеризуется замкнуто-ячеистой структурой. При этом содержание сообщающихся ячеек определяет величину предельного водонасыщения материала. Выпускаемое Гомельским стеклозаводом строительное и техническое пеностекло при средней плотности 180 и 150 кг/м<sup>3</sup>, механической прочности не менее 0,7 и 1,0 МПа имеет предельное водонасыщение 2—7 и 10—14 % объема.

Выполненное в настоящей работе исследование эксплуатационных свойств пеностекла дополняет ранее полученные результаты [1, 2], позволяет расширить методы его испытания и область применения. Значительное влияние на свойства пеностекла оказывает его макроструктура, определяемая размером и формой ячеек, их распределением, а также количественным соотношением газовой и стекловидной фаз.

Поскольку существующие методики определения макроструктурных характеристик пеностекла трудоемки, для интегральной оценки структуры и прочности пеностекла может быть использован рассчитанный по скорости ультразвука динамический модуль упругости [3].

В ходе эксперимента нами была установлена достаточно тесная взаимосвязь между пределом прочности при сжатии ( $R_{сж}$ ) и динамическим модулем упругости ( $E_{дин}$ ), определенным по экспериментальной скорости УЗК в стержне. Эксперимент проводили на образцах технического пеностекла. При этом для измерения скорости ультразвуковых колебаний  $C$  и  $R_{сж}$  использовали образцы размером