

Э. П. Крюкова, Л. А. Куракевич, И. В. Стефанюк,
Л. Г. Ходский

ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ ЭМАЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННОГО БОРСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Синтез порошковых стеклоэмалевых покрытий для защиты стальных изделий представляет значительный интерес в связи с применением более совершенных методов нанесения покрытий (электростатическое напыление и др.).

Объектом исследования явились стекла, содержащие оксиды кремния, натрия, щелочноземельных металлов (RO), активаторы сцепления (A_c), перлит, ильменитовый концентрат и высококонцентрированное борсодержащее сырье — октаборат натрия. Использование октабората натрия при синтезе стекол взамен дефицитных борсодержащих соединений (борная кислота, техническая бура, технический борат кальция и др.) значительно уменьшает улетучивание оксида бора, снижает затраты на их перевозку и хранение, что позволяет снизить себестоимость производства и улучшить условия труда при варке стеклоэмалей.

Разработка стеклоэмалевых антикоррозионных покрытий на основе недефицитных материалов (ильменитовый концентрат, октаборат натрия и др.) решалась с использованием методов планирования многофакторного эксперимента для систем состав—свойство по алгоритму Мак-Лина и Андерсона [1].

Особенностью решения таких задач является необходимость одновременного варьирования уровней многих факторов X_i , $i=1, \dots, k$ (X_i — массовая доля i -го компонента) при наличии некоторых ограничений:

$$\sum_{i=1}^k X_i = 100\%; \quad 0 \leq X_{i \min} \leq X_{i0} \leq X_{i \max} \leq 100\%, \quad (1)$$

где $X_{i \min}$, $X_{i \max}$ и X_{i0} — нижний, верхний и средний уровни содержания i -го компонента соответственно.

В качестве параметров оптимизации были взяты кислотостойкость Y_1 , щелочестойкость Y_2 эмалевых стекол,

Уровни варьирования факторов

Уровень исследования	Компоненты								
	SiO ₂	Пер-лит	Na ₂ O	Na ₂ O·4B ₂ O ₃	RO'	Ильмени-товый концентрат	RO''	A _c '	A _c ''
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
Верхний	53	19	15	22	5,5	4,7	7,5	4,2	0,5
Нижний	41	11	5	8	0,5	0,5	1,5	1,0	0,1
Средний	47	15	10	15	3,0	2,6	4,5	2,6	0,3

пористость Y_3 и качество Y_4 покрытий, полученных на их основе.

Варку эмалевых стекол и нанесение покрытий проводили по методике, приведенной в работе [2]. Пористость определяли по наличию проколов на 1 см² покрытия. Качество покрытия оценивали в баллах с учетом степени готовности покрытия, его сплошности, наличия или отсутствия прогаров, сцепления с подложкой и т. д. С этой целью была выработана пятибалльная система оценок, где балл 5 соответствовал покрытию высшего качества.

Предполагалось, что изучаемые свойства в выбранном диапазоне факторов являются непрерывными функциями этих факторов и могут быть с достаточной степенью точности представлены полиномами первой степени (табл. 1).

В качестве исходной матрицы была выбрана дробная реплика 2^{9-5} с генерирующими соотношениями:

$$X_5 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3; \quad X_6 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_4; \quad X_7 = X_2 \cdot X_3 \cdot X_4;$$

$$X_8 = X_1 \cdot X_3 \cdot X_4; \quad X_9 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4.$$

Расчеты плана эксперимента по алгоритму Мак-Лина и Андерсона и параметров многофакторных моделей откликов (свойств) выполнялись на ЭВМ ЕС-1060 [3].

План эксперимента после его расчета состоял из 16 позиций — вариантов составов стекол. Расчет параметров моделей откликов проводился в натуральных значениях факторов по 14 составам, так как стекла двух составов были не полностью проварены при заданных условиях варки.

Получены математические модели параметров опти-

мизации, при помощи которых проанализировано влияние различных компонентов на соответствующие свойства (компоненты X_i в моделях располагаются в порядке убывания их влияния на отклик):

химическая стойкость к 10%-ной HCl

$$Y_1 = 1,45X_7 - 1,39X_6 - 0,59; \quad (2)$$

химическая стойкость к 1 М NaOH

$$Y_2 = -0,28X_5 - 0,19X_6 + 0,09X_2 + 0,04X_4 + 0,66; \quad (3)$$

пористость покрытия

$$Y_3 = 6,90X_3 + 2,50X_2 - 38,30; \quad (4)$$

качество покрытия

$$Y_4 = 0,07X_4 + 2,85. \quad (5)$$

Модели включают коэффициенты, значимые по критерию Стьюдента, и адекватно (по критерию Фишера) описывают экспериментальные данные при доверительной вероятности $P=0,95$.

Из уравнений (2), (3) видно, что положительное влияние на химическую стойкость оказывает увеличение содержания оксидов щелочноземельных металлов (X_5) и ильменитового концентрата (X_6). Из (5) следует, что улучшение качества покрытия зависит главным образом от содержания октабората натрия (X_4).

Принятый высокий уровень доверительной вероятности расчетов позволил перейти к оптимизационным расчетам системы состав—свойство при соблюдении ограничений (1).

При этих расчетах уровни незначимых компонентов устанавливали исходя из технико-экономических соображений (стоимость сырьевых материалов, их дефицитность, улучшение основных технологических свойств покрытия и т. д.) или по аналогии с содержанием компонентов в лучших по свойствам составах. Уровни значимых факторов варьировались в пределах, заданных исходным планом эксперимента с соблюдением условия (1).

Данные оптимизационных расчетов по моделям (2)—(5) позволили получить эмалевые покрытия с заданными свойствами. Экспериментальная проверка подтвердила соответствие расчетных данных опытным. Получен-

Физико-химические свойства эмалевых стекол и покрытий,
полученных на их основе

Индекс эм- али	Химическая устойчивость, %		Интервал температур обжига, К	Темпе- ратура обжи- га, К	Расте- кае- мость, мм	Коли- чество пор на 1 см ²	Качест- во по- кры- тия, балл	Проч- ность сцепле- ния, балл
	10% HCl	1 М NaOH						
1	0,12	1,06	1113—1248	1153	36,5	0	4,0	4,5
2	0,13	1,28	1143—1248	1153	34,5	1	4,0	4,5
3	0,60	1,15	1123—1248	1153	35,9	2	3,8	5,0
4	0,45	1,54	1098—1248	1123	37,4	1	4,5	4,8
5	0,80	0,90	1098—1248	1123	36,4	0	4,0	4,5

ные безгрунтовые порошковые покрытия обладают высокой кислотощелочестойкостью, хорошим блеском, разливом, широким интервалом обжига, низкой пористостью при удовлетворительной прочности сцепления покрытия с подложкой (табл. 2), что соответствует необходимому уровню требований.

По совокупности физико-химических и технологических свойств оптимальным является покрытие на основе эмалевого стекла 4.

Таким образом, в результате оптимизации физико-химических свойств порошковых безгрунтовых эмалей на основе высококонцентрированного борсодержащего сырья с применением метода планирования многофакторного эксперимента разработаны стеклоэмалевые покрытия, удовлетворяющие заданным требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахназарова С. Л., Кафаров В. В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии.— М., 1978.— 320 с.
2. Крюкова Э. П., Стефанюк И. В., Ходский Л. Г. Синтез эмалевых стекол для безгрунтовых покрытий с применением методов математического планирования многофакторного эксперимента // Стекло, ситаллы и силикаты.— Минск, 1983.— Вып. 12.— С. 35—37.
3. Множественная линейная регрессия с исследованием отклонений // Матем. обеспечение ЕС ЭВМ: Пакет науч. программ.— Минск, 1976.— Вып. 10.— С. 103—108.