

А.В. ЗАЙЧУК, канд. техн. наук, докторант,

Ю.В. ИОВЛЕВА, асп., ГВУЗ «УГХТУ», Днепропетровск

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В СИСТЕМЕ $\text{CoO} - \text{RO} (\text{MgO}, \text{ZnO}) - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ С ПРИМЕНЕНИЕМ ШЛАКА АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОТИТАНА

В работе проведен синтез и изучены керамические пигменты синего ряда в системе $\text{CoO} - \text{RO} - (\text{MgO}, \text{ZnO}) - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ с применением в качестве базового компонента шлака алюминотермического производства ферротитана. Установлен кристаллофазовый состав продуктов обжига пигментных шихт и его взаимосвязь с оптико-цветовыми характеристиками. Разработанные при низких температурах (1150 – 1200 °С) магнийсодержащие пигменты шпинельного типа обеспечивают высокие качественные показатели глазурных и стеклоэмалевых покрытий, а также их стабильную синюю окраску различной интенсивности ($\lambda = 450 - 477$ нм, КДО = 3,9 – 6,7 %).

Ключевые слова: керамические пигменты, шлак алюминотермического производства ферротитана, цвет, кристаллофазовый состав, оптико-цветовые показатели, стеклопокрытия

ВВЕДЕНИЕ

Основой для получения керамических пигментов традиционно являются кристаллические соединения, обладающие стабильностью свойств под воздействием агрессивных высокотемпературных сред (стеклорасплавов). Наиболее устойчивыми керамическими красителями являются пигменты шпинельного типа, которые широко применяются в керамической и стекольной промышленности, а также при получении цветных стеклоэмалевых покрытий для металлов [1 – 3].

Однако, использование дорогостоящих технически чистых сырьевых компонентов и высокие температуры обжига, которые даже в случае введения минерализующих добавок составляют не ниже 1250 – 1300 °С, обуславливают высокую себестоимость таких пигментов и вызывают необходимость расширения их сырьевой базы за счет привлечения недефицитных компонентов. Среди различных отходов промышленности, сосредоточенных в Украине, особый интерес для синтеза керамических пигментов шпинельного типа представляют шлаки алюминотермического производства ферротитана (АПФ), которые характеризуются высоким содержанием оксида алюминия.

© А.В. Зайчук, Ю.В. Иовлева, 2013

Поэтому целью данной работы был направленный синтез и изучение шлаксодержащих керамических пигментов шпинельного типа в системе $\text{CoO} - \text{RO} (\text{MgO}, \text{ZnO}) - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$.

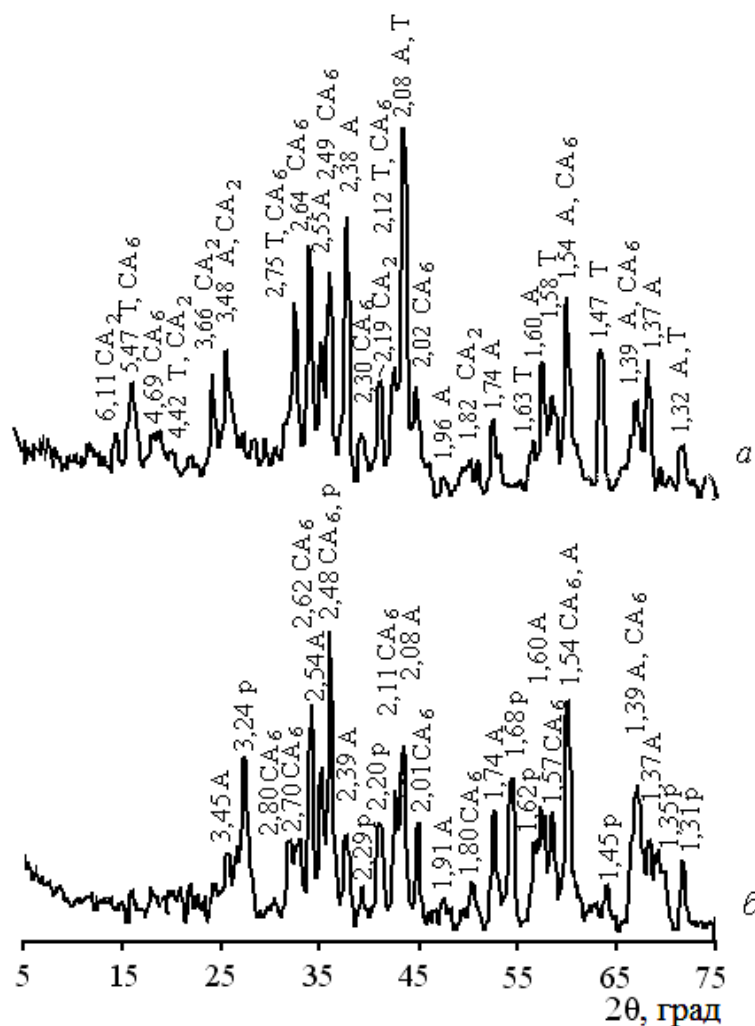
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В исследованиях был использован шлак алюминотермического производства ферротитана (г. Днепродзержинск). При составлении пигментных шихт исходили из данных химико-минералогического состава опытного шлака (таблица и рис. 1), на основании которых он может быть отнесен к кальцийалюмотитанатной системе и в пересчете на 1 моль вещества содержит: $\text{CaO} - 0,1$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,65$; $\text{TiO}_2 - 0,25$. Кристаллофазовый состав исходной пробы изучаемого шлака представлен гекса- и диалюминатами кальция, корундом, а также оксидом двухвалентного титана.

Таблица – Данные химического анализа пробы опытного шлака АПФ

Наименование и содержание (масс. %) компонентов						
SiO_2	Al_2O_3	TiO	CaO	FeO	MgO	Сума
2,89	71,50	17,64	5,74	1,53	0,70	100,0

Учитывая мольное содержание базовых оксидов в составе изучаемого шлака, а также тот факт, что при его последующей термической обработке диалюминат кальция, взаимодействуя с корундом, переходит в гексаалюминат (рис. 1б), логично было бы ожидать практически полного отсутствия $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ в конечном фазовом составе. В тоже время, на рентгенограмме шлака, обожженного при 1300°C , фиксируются интенсивные рефлексы корунда ($d \cdot 10^{-10} = 3,45; 2,54; 2,08; 1,60$ м), что, по-видимому, свидетельствует о связывании оксида кальция и с диоксидом кремния, общее содержание которого составляет 2,89 масс. % (таблица), в остаточную стеклофазу. В конечном итоге, только около половины CaO , который содержится в исследуемом шлаке, может находиться в форме $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$. Поэтому при составлении пигментных шихт в дальнейшем руководствовались следующим содержанием основных компонентов в опытном шлаке, моль: $\text{CaO} - 0,05$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,65$; $\text{TiO}_2 - 0,25$. С целью уменьшения содержания дорогостоящего оксида кобальта в качестве подшихтовочных компонентов были изучены оксиды металлов второй группы периодической системы Д.И. Менделеева (MgO и ZnO), эффективность применения которых в составе керамических пигментов шпинельного типа синего ряда подтверждена в работах [4, 5].



А – α - Al_2O_3 ; Т – TiO ; CA_6 – $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$; CA_2 – $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$; р – TiO_2 (рутил)

Рис. 1 – Рентгенофазовый анализ опытного шлака: а – исходного; б – прошедшего термообработку при 1300 °С.

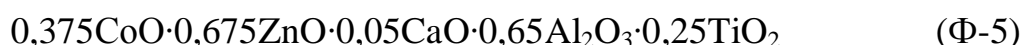
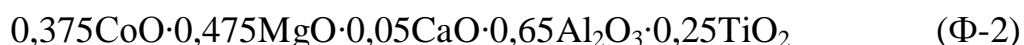
Предпосылкой для получения керамических пигментов синего ряда в системе $\text{CoO} - \text{RO} (\text{MgO}, \text{ZnO}) - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ путем направленного синтеза цветонесущих шпинельных фаз является возможность образования устойчивых твердых растворов, содержащих ионы Co^{2+} , вследствие близости ионных радиусов для Mg^{2+} (0,74 Å), Zn^{2+} (0,83 Å) и Co^{2+} (0,78 Å) [6].

При этом рассматривали возможность применения минимального количества подшихтовочных компонентов (оксидов кобальта, магния и цинка), достаточного для достижения заданной стехиометрии по соответствующим соединениям. Так, оксид магния вводили из расчета на образование алюмомагниевого шпинели и метатитаната магния, которые имеют температуры плавления соответственно 2135 и 1660 °С. При использовании в составе пигментных шихт оксида цинка принимали во внимание тот факт, что соединение метатитанат цинка является устойчивым только до температуры 945 °С,

выше которой распадается на ортотитанат цинка с температурой плавления 1550 °С и рутил [7]. Поэтому задавались содержанием ZnO, необходимым для полного связывания оксида алюминия в шпинель $ZnAl_2O_4$, а диоксида титана в шпинель Zn_2TiO_4 .

С целью установления влияния фактора концентрации оксида кобальта в составе шлаксодержащих керамических пигментов, обожженных в температурном интервале 1200 – 1300 °С (выдержка при максимальной температуре составляла 1 час), на их оптико-цветовые показатели был поставлен полный факторный эксперимент ПФЭ 3^2 . При этом осуществляли поэтапное эквимолекулярное замещение оксидов магния и цинка в составе опытных пигментов на CoO в количестве 0,25 – 0,5 моль с шагом в 0,125 моль.

Молекулярные формулы полученных керамических пигментов можно выразить в следующем виде:



В результате математической обработки полученных экспериментальных данных и проверки значимости коэффициентов были составлены уравнения регрессии, которые описывают взаимосвязь оптико-цветовых показателей с концентрацией оксида кобальта в составе опытных керамических пигментов и температурой их обжига:

$$\lambda_{Mg-пигментов} = 691,222 - 0,183 \cdot x_1 + 52 \cdot x_2 + 6,667 \cdot 10^{-5} \cdot x_1^2 - 53,333 \cdot x_2^2, \quad (R \lambda, x_1 = 0,831; R \lambda, x_2 = 0,462; \Delta\lambda = 0,477 \text{ нм}) \quad (1)$$

$$KDO_{Mg-пигментов} = 36,806 - 4,017 \cdot 10^{-3} \cdot x_1 - 86,247 \cdot x_2 - 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot x_1 \cdot x_2 + 6,667 \cdot 10^{-6} \cdot x_1^2 + 85,227 \cdot x_2^2, \\ (R KDO, x_1 = 0,947; R KDO, x_2 = 0,194; \Delta KDO = 0,201 \%) \quad (2)$$

$$\lambda_{\text{Zn-пигментов}} = 686,806 + 0,565 \cdot x_1 - 2,273 \cdot 10^3 \cdot x_2 + 0,44 \cdot x_1 \cdot x_2 - 3,333 \cdot 10^{-4} \cdot x_1^2 + 1,899 \cdot 10^3 \cdot x_2^2, \quad (R \lambda, x_1 = 0,9; R \lambda, x_2 = 0,125; \Delta \lambda = 1,132 \text{ нм}) \quad (3)$$

$$KDO_{\text{Zn-пигментов}} = 7,926 + 0,074 \cdot x_1 - 88,173 \cdot x_2 + 0,027 \cdot x_1 \cdot x_2 - 3,733 \cdot 10^{-5} \cdot x_1^2 + 23,147 \cdot x_2^2, \\ (R KDO, x_1 = 0,993; R KDO, x_2 = 0,10; \Delta KDO = 0,156 \%) \quad (4)$$

Графическая интерпретация полученных зависимостей представлена на рис. 2 и 3.

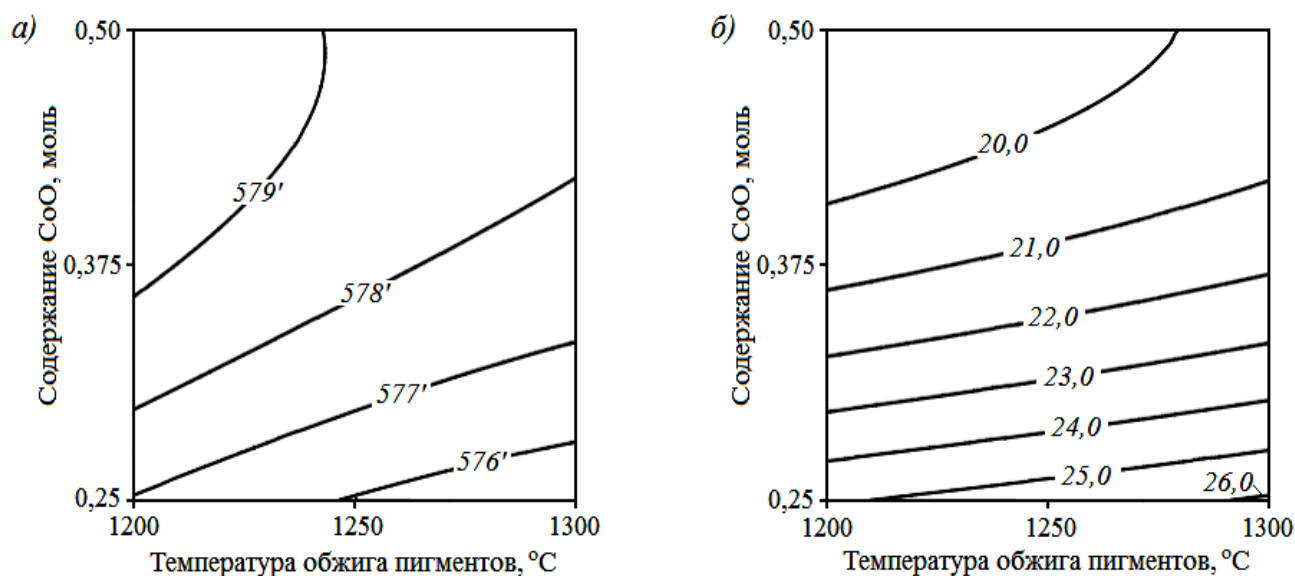


Рис. 2 – Влияние концентрации оксида кобальта (x_1) и температуры обжига (x_2) опытных магнийсодержащих пигментов на их оптико-цветовые показатели (a – длину волны, b – коэффициент диффузного отражения).

Анализ полученных данных показывает, что более значимым фактором, оказывающим влияние на оптико-цветовые показатели шлаксодержащих пигментов, является концентрация оксида кобальта в их составе, о чем свидетельствуют значения коэффициентов корреляции, приведенные выше.

Увеличение содержания CoO в составе опытных магнийсодержащих пигментов (Ф-1 – Ф-3) от 0,25 до 0,5 моль вызывает усиление интенсивности голубой окраски, что подтверждается падением показателя диффузного отражения в целом от 25,1 – 26,2 до 19,0 – 20,0 % и повышением значений длины волны в пурпурной области спектра до 578' – 579' нм с последующим их переходом в фиолетовую область спектра (400 нм).

В меньшей мере оптико-цветовые показатели таких пигментов зависят от температуры обжига в интервале 1200 – 1300 °C. С ее повышением до

1300 °С усиливается чистота голубой окраски магнийсодержащих пигментов. При этом имеет место небольшой рост значений КДО от 19,0 – 25,1 до 20,0 – 26,2 %.

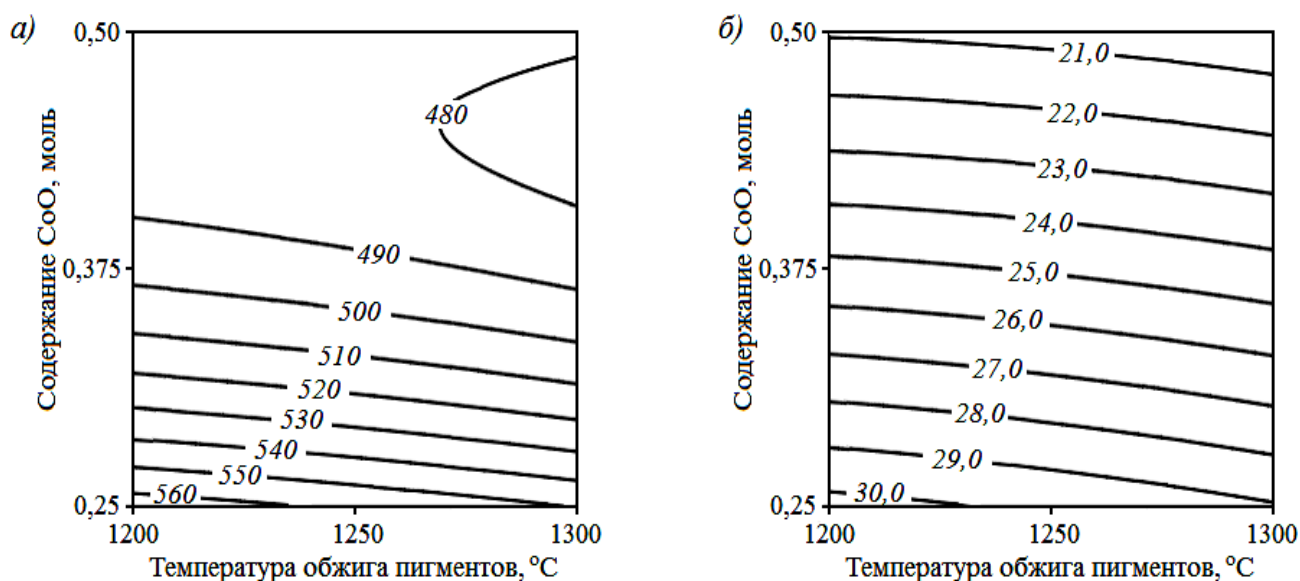


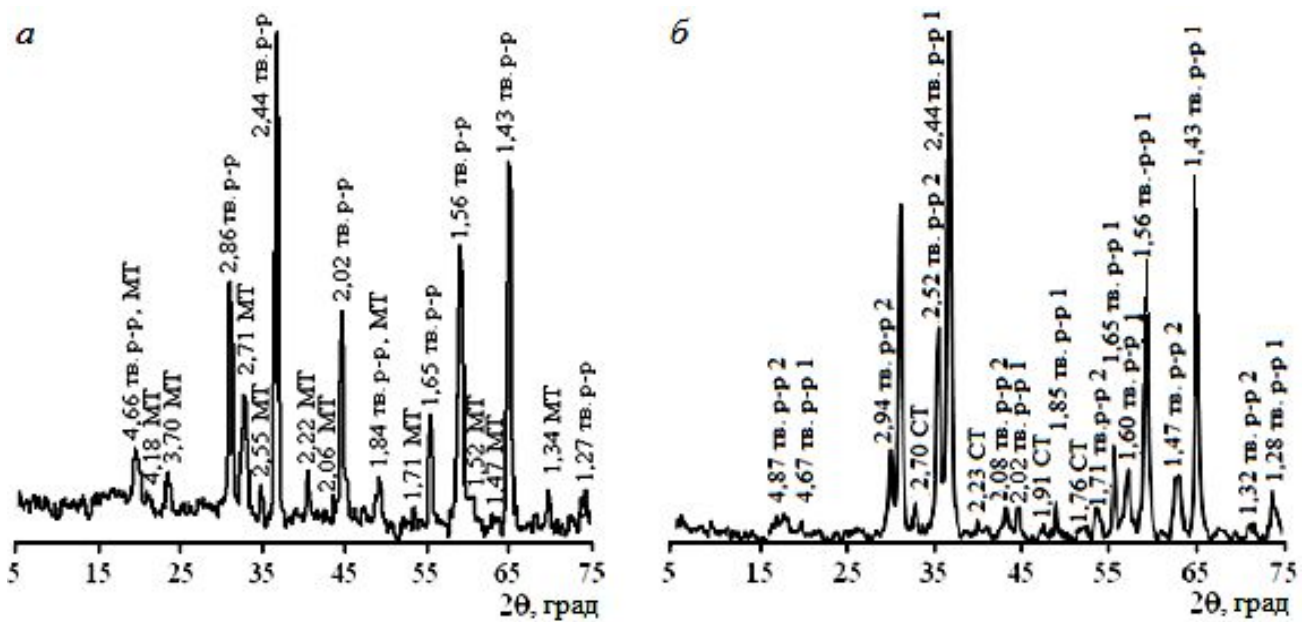
Рис. 3 – Влияние концентрации оксида кобальта (x_1) и температуры обжига (x_2) опытных цинксодержащих пигментов на их опτικο-цветовые показатели (*a* – длину волны, *b* – коэффициент диффузного отражения).

Для цинксодержащих пигментов с ростом содержания оксида кобальта в их составе от 0,25 (Ф-4) до 0,375 – 0,5 моль (Ф-5, Ф-6) отмечено изменение окраски с горчичной на серо-бирюзовую. При этом имеет место смещение значений доминирующей длины волны из желтой (567 нм) и желто-зеленой (550 – 562 нм) в сине-зеленую часть спектра (482 – 497 нм) и снижение КДО до 20,4 – 24,1 % (рис. 3).

Повышение температуры обжига таких пигментов приводит к постепенному увеличению доли бирюзовой составляющей окраски и как следствие снижению значений λ в целом до 482 – 550 нм. Коэффициент диффузного отражения (КДО) таких пигментов также снижается от 20,8 – 30,3 до 20,4 – 29,3 %.

Рентгенофазовые исследования показали (рис. 4), что магнийсодержащий пигмент Ф-1 преимущественно представлен твердым раствором между алюминатами кобальта и магния $(\text{Co, Mg})\text{Al}_2\text{O}_4$, что подтверждается высокой интенсивностью рефлексов при $d \cdot 10^{-10} = 4,66; 2,86; 2,44; 2,02; 1,65; 1,56$ и $1,43$ м. Кроме того, фиксируется метатитанат магния ($d \cdot 10^{-10} = 3,70; 2,71; 2,55$ и $2,22$ м). Метатитанат кальция, который, по-видимому, также имеет место в

составе пигмента обособленно идентифицировать не представляется возможным вследствие сходства основных его дифракционных максимумов с $MgTiO_3$, а также невысокого содержания.



тв. р-р – твердый раствор между $CoAl_2O_4$ и $MgAl_2O_4$; МТ – $MgTiO_3$; тв. р-р 1 – твердый раствор между $ZnAl_2O_4$ и $CoAl_2O_4$; тв. р-р 2 – твердый раствор между Zn_2TiO_4 и Co_2TiO_4 ; СТ – $CaTiO_3$

Рис. 4 – Дифрактограммы опытных керамических пигментов Ф-1 (а) и Ф-4 (б), синтезированных при температуре 1300 °С.

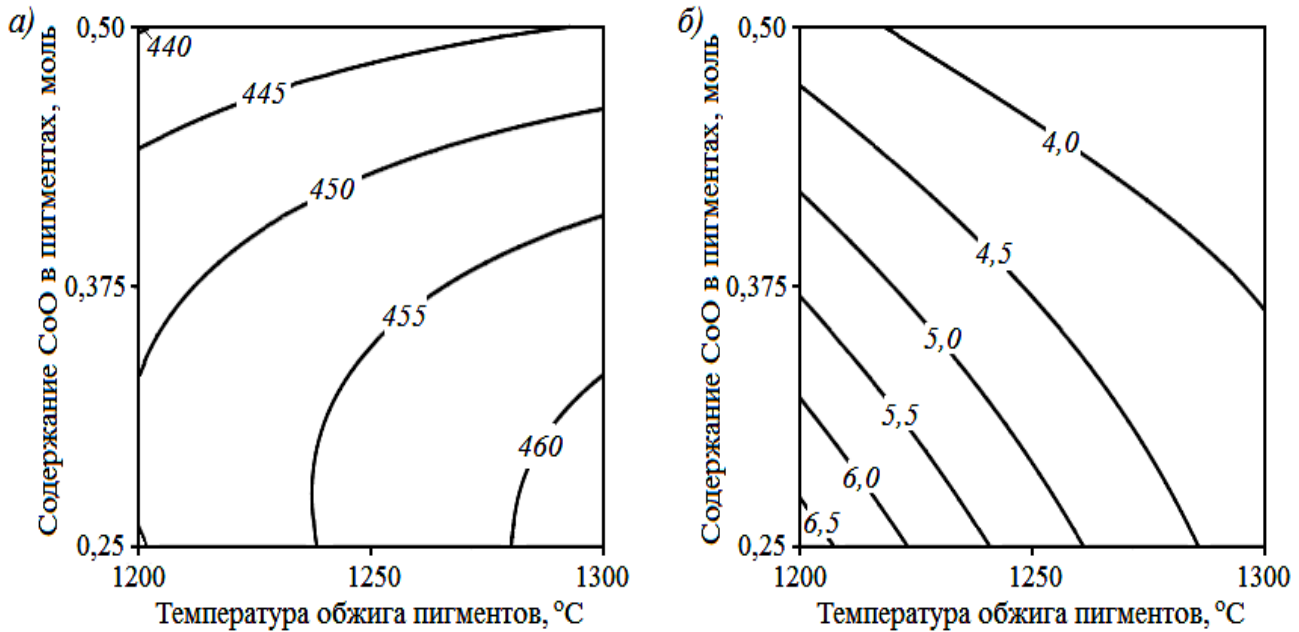
Кристаллофазовый состав цинксодержащего пигмента Ф-4 сформирован твердым раствором $(Zn, Co)Al_2O_4$ ($d \cdot 10^{-10} = 4,87; 2,85; 2,44; 1,65; 1,56; 1,43$ м) и ортотитанатными фазами (Zn_2TiO_4 и Co_2TiO_4). Устойчивые высокотемпературные модификации ортотитаната цинка и ортотитаната кобальта кристаллизуются в кубической системе, относятся к шпинелям, вследствие чего, очевидно, образуют единый твердый раствор с $d \cdot 10^{-10} = 2,94; 2,52; 2,08; 1,71; 1,60; 1,47$ м. Кроме того, в таком пигменте зафиксировано небольшое количество $CaTiO_3$.

Для получения цветных глазурных покрытий тонкомолотые порошки разработанных керамических пигментов вводили в состав прозрачной фриттованной глазури для керамической плитки в количестве 8 масс. ч.

Математическая обработка экспериментальных данных позволила получить уравнения регрессии, адекватно описывающие взаимосвязь опико-цветовых показателей обожженных глазурных покрытий с концентрацией оксида кобальта в составе опытных керамических пигментов и их температу-

рой синтеза.

Полученные уравнения регрессии второго порядка использовали для построения изолиний оптико-цветовых характеристик пигментсодержащих глазурных покрытий в исследуемом факторном пространстве (рис. 5 и 6).



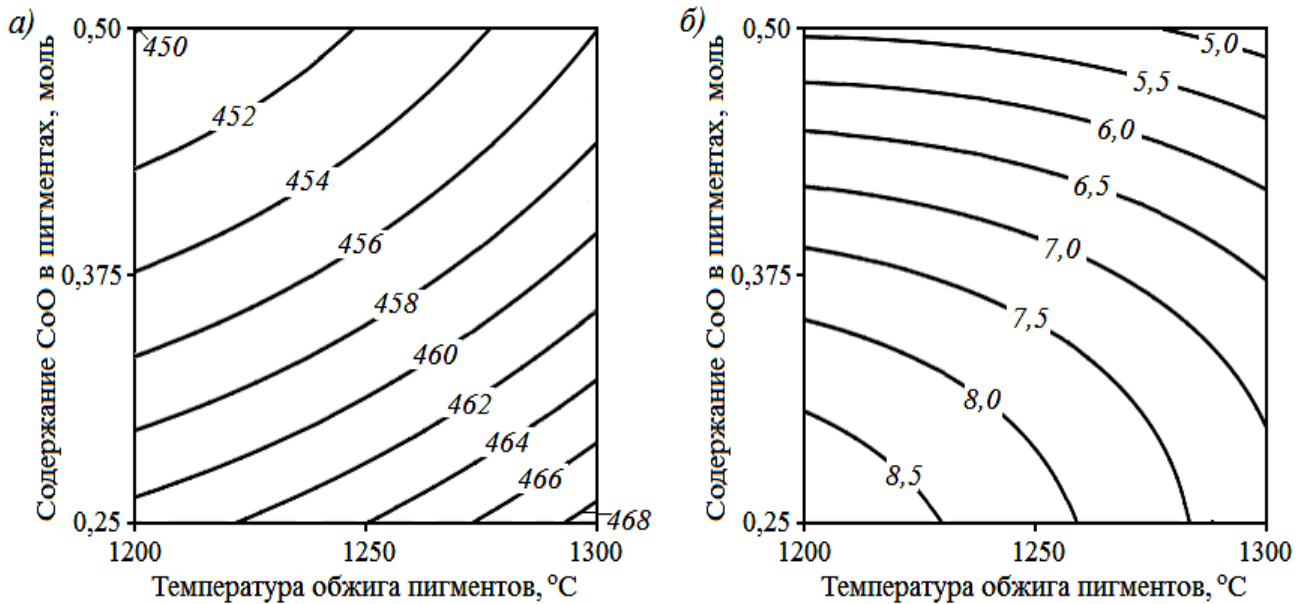
$$\lambda_{\text{стеклослоя}} = -118,583 + 0,695 \cdot x_1 + 488,667 \cdot x_2 - 0,28 \cdot x_1 \cdot x_2 - 2 \cdot 10^{-4} \cdot x_1^2 - 256 \cdot x_2^2, \\ (R \lambda, x_1 = 0,784; R \lambda, x_2 = 0,529; \Delta \lambda = 0,347 \text{ нм}) \quad (5)$$

$$KDO_{\text{стеклослоя}} = 220,721 - 0,296 \cdot x_1 - 110,353 \cdot x_2 + 0,082 \cdot x_1 \cdot x_2 + 1 \cdot 10^{-4} \cdot x_1^2 + 2,24 \cdot x_2^2, \\ (R KDO, x_1 = 0,66; R KDO, x_2 = 0,647; \Delta KDO = 0,154\%) \quad (6)$$

Рис. 5 – Влияние температуры обжига (x_1) и концентрации оксида кобальта (x_2) в составе магнийсодержащих керамических пигментов на длину волны (а) и КДО (б) глазурных покрытий, полученных с их введением

Проведенными исследованиями установлено, что оптико-цветовые показатели глазурных покрытий, полученных с введением магнийсодержащих керамических пигментов, зависят как от концентрации СоО в составе пигментных шихт, так и от температуры их обжига. Повышение температуры синтеза магнийсодержащих керамических пигментов, в составе которых концентрация СоО находится в пределах 0,25 – 0,375 моль, до 1300 °С обуславливает значительный рост интенсивности и доли синей окраски стеклопокрытий с их введением. Отмеченный факт подтверждается смещением значений λ (448 – 450 нм) в более длинноволновую часть синей области спектра (458 – 462 нм), а также снижением показателя диффузного отражения от 5,5 – 6,8 % до 4,0 – 4,3 %. Кроме того, имеет место повышение чистоты цвета

и улучшение качественных показателей стеклослоя (отсутствие дефектов в виде уколов).



$$\lambda_{\text{стеклослоя}} = 882,611 - 0,733 \cdot x_1 - 12 \cdot x_2 - 0,08 \cdot x_1 \cdot x_2 + 3,333 \cdot 10^{-4} \cdot x_1^2 + 85,333 \cdot x_2^2,$$

(R λ , $x_1 = 0,855$; R λ , $x_2 = 0,499$;
 $\Delta \lambda = 0,381$ нм) (7)

$$KDO_{\text{стеклослоя}} = -51,13 + 0,122 \cdot x_1 - 42,367 \cdot x_2 + 0,046 \cdot x_1 \cdot x_2 - 6,067 \cdot 10^{-5} \cdot x_1^2 - 35,947 \cdot x_2^2,$$

(R KDO , $x_1 = 0,892$; R KDO , $x_2 = 0,373$;
 $\Delta KDO = 0,111\%$) (8)

Рис. 6 – Влияние температуры обжига (x_1) и концентрации оксида кобальта (x_2) в составе цинксодержащих керамических пигментов на длину волны (а) и КДО (б) глазурных покрытий, полученных с их введением.

Опτικο-цветовые характеристики же глазурных покрытий, полученных с введением пигмента Ф-3 (содержание СоО составляет 0,5 моль) и их окраска в целом, в меньшей степени зависят от температуры синтеза пигмента. При этом значения цветового тона колеблются в пределах 440 – 445 нм, а КДО 3,7 – 4,2 %.

Введение опытных цинксодержащих пигментов, обожженных в рассматриваемом температурном интервале, на помол базовой глазури, в целом, не позволило получить стеклослой с высокими качественными показателями (без уколов). В тоже время, повышение температуры их синтеза до 1300 °С приводит к существенному уменьшению количества указанных дефектов глазурных покрытий.

При изучении опτικο-цветовых показателей таких стеклопокрытий выявлена их высокая корреляционная связь с фактором концентрации СоО в составе пигментов (рис. 6).

С ростом содержания оксида кобальта в составе пигментов от 0,25 до 0,5 моль отмечена существенная интенсификация синей окраски, что выражается в падении значений λ от 461 – 469 до 450 – 456 нм и КДО от 7,23 – 8,91 до 4,78 – 5,31 %.

Увеличение температуры обжига цинксодержащих пигментов до 1300 °С способствует усилению синей составляющей окраски глазурных покрытий с их введением.

В результате повышаются значения доминирующей длины волны в синей области спектра до 456 – 469 нм, а показатель диффузного отражения снижается до 4,8 – 7,2 %.

В целом же проведенные исследования пигментсодержащих глазурных покрытий подтвердили целесообразность применения оксида магния в составе керамических пигментов шпинельного типа, которые в качестве основного компонента содержали шлак АПФ. Для достижения интенсивной синей окраски стеклослоя ($\lambda = 458 – 462$ нм, КДО = 4,0 – 4,3 %), а также высокого качества его поверхности (отсутствие дефектов), достаточной является концентрация оксида кобальта в составе пигментов, в пределах 0,25 – 0,375 моль (что составляет 14,2 – 20,6 масс. %). При этом оптимальная температура обжига пигментов составляет 1300 °С.

Разработанные магнийсодержащие пигменты также обладают высокой химической устойчивостью, которая определялась по потере их веса после кипячения в 1 н растворе соляной кислоты (ГОСТ 471.1-81 [8]) и 1 н растворе гидроксида натрия (ГОСТ 471.2-81 [9]). При этом кислотостойкость пигментов составляет 99,90 – 99,93 %, а щелочестойкость – 95,90 ÷ 96,04 %.

Синтезированные цинксодержащие пигменты проявляют недостаточную устойчивость по отношению к расплаву базовой глазури, в результате чего полученные стеклопокрытия характеризуются дефектностью (уколы) и нестабильностью оптико-колориметрических показателей.

Введение на помол разработанных магнийсодержащих пигментных шихт В₂О₃ в количестве (2,0 – 4,0 масс.ч.) приводит к снижению температуры их обжига до (1150 – 1200 °С).

Применение низкотемпературных пигментов в составе базовой фриттованной глазури позволяет получать качественный стеклослой темно-синей окраски с различной интенсивностью ($\lambda = 450 – 469$ нм, КДО = 3,9 – 4,6 %).

Кроме того, такие пигменты были опробованы в составе промышленной стекломали (210 Н), предназначенной для эмалирования стальных изделий

хозяйственно-бытового назначения.

Полученные стеклоэмалевые покрытия характеризовались устойчивой синей окраской в температурном интервале 820 – 860 °С и следующими оптико-цветовыми показателями: $\lambda = 460 - 477$ нм, КДО = 6,3 – 6,7 %.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований синтезированы керамические пигменты синего ряда с использованием в качестве базового компонента шихты шлака алюминотермического производства ферротитана.

В формировании окраски опытных шлаксодержащих пигментов преимущественно принимают участие твердые растворы замещения на основе алюмошпинелей.

Разработанные магнийсодержащие керамические пигменты обладают высокой химической устойчивостью и обеспечивают достижение необходимых эстетико-декоративных показателей глазурных и эмалевых покрытий.

Применение опытных цинксодержащих пигментов, которые вследствие присутствия ортотитанатных фаз проявляют недостаточную устойчивость по отношению к расплаву базовой фриттованной глазури, не позволяет получать бездефектные стеклопокрытия со стабильными оптико-колориметрическими показателями.

Список литературы: 1. Масленникова Г.Н. Пигменты шпинельного типа / Г.Н. Масленникова // Стекло и керамика. – 2001. – № 6. – С. 23 – 27. 2. Чапская, А.Ю. Влияние хромсодержащих добавок на структуру пигментов шпинельного типа / [А.Ю. Чапская, Н.И. Радишевская, Н.Г. Касацкий и др.] // Стекло и керамика. – 2007. – № 3. – С. 19 – 20. 3. Русс Н.И. Шпинельные пигменты, устойчивые к глазурным расплавам / [Н.И. Русс, К.К. Квятковская, Р.Ю. Азаров и др.] // Стекло и керамика. – 1988. – № 6. – С. 23 – 25. 4. Масленникова Г.Н. Керамические пигменты / Г.Н. Масленникова, И.В. Пищ. – М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2009. – 224 с. 5. Туманов С.Г. Синтез керамических пигментов шпинельного типа / С.Г. Туманов, В.П. Пырков, А.С. Быстриков // Изв. АН СССР сер. Неорганические материалы. – 1970. – Т. 6, № 8. – С. 1499 – 1502. 6. Аппен А.А. Химия стекла / А.А. Аппен. – Л.: «Химия», 1974. – 352 с. 7. Бережной А.С. Многокомпонентные системы окислов / А.С. Бережной. – К.: Наукова думка, 1970. – 456 с. 8. Изделия химически стойкие и термостойкие керамические. Метод определения кислотостойкости: ГОСТ 473.1-81. – М.: Издательство стандартов, 2002. – 2 с. 9. Изделия химически стойкие и термостойкие керамические. Метод определения щелочестойкости: ГОСТ 473.2-81. – [Действует с 1982-01-07] . – М.: Издательство стандартов, 2002. – 2 с.

Поступила в редколлегию 25.06.2013

Синтез и исследование керамических пигментов в системе $\text{CoO} - \text{RO} (\text{MgO}, \text{ZnO}) - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ с применением шлака алуминотермического производства ферротитана / *А.В. ЗАЙЧУК, Ю.В. ИОВЛЕВА* // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – № 47 (1020). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 45 – 56. – Бібліогр.: 9 назв.

У роботі проведений синтез та вивчені керамічні пігменти синього ряду у системі $\text{CoO} - \text{RO} - (\text{MgO}, \text{ZnO}) - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ з використанням у якості базового компоненту шлаку алумінотермічного виробництва феротитану. Встановлений кристалофазовий склад продуктів випалу пігментних шихт та його взаємозв'язок з оптико-колірними характеристиками. Розроблені при низьких температурах (1150 – 1200 °С) магнійвмісні пігменти шпінельного типу забезпечують високі якісні показники глазурних та склоемалевих покриттів, а також їх стабільне синє забарвлення різної інтенсивності ($\lambda = 450 - 477$ нм, КДО = 3,9 – 6,7 %).

Ключові слова: Керамічні пігменти, шлак алумінотермічного виробництва феротитану, колір, кристалофазовий склад, оптико-колірні показники, склопокриття

The article presents the results of research of ceramic pigments with the structure of the spinel in the system $\text{CoO} - \text{RO} - (\text{MgO}, \text{ZnO}) - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ using as a base component of slag of aluminothermal production of ferrotitanium. The crystal phase structure of the products of roasting pigment blends and its relationship with the optical-color characteristics was set. Developed at low temperatures (1150 – 1200 °C) spinel-type pigments provide high quality indicators glaze and enamel coatings and their stable blue color of varying intensity ($\lambda = 450 - 477$ nm, KDR = 3,9 – 6,7 %).

Key words: Ceramic pigments, slag of aluminothermal production of ferrotitanium, color, crystal phase structure, optical and color indicators, glaze coatings