

УДК 666.21

О. В. ШАЛИГІНА, Г. К. ВОРОНОВ, О. П. ОДИНЦОВА

РОЗРОБКА СКЛАДОВИХ МАТОВИХ СКЛОЕМАЛЕВИХ ПОКРИТТІВ
ДЛЯ БЕЗГРУНТОВОГО ЕМАЛЮВАННЯ

Пропонуються методи одержання одношарових склоемалевих покриттів з матовою поверхнею. Розглянуті сучасні тенденції розвитку емальовальної галузі та існуючі енергоресурсозберігаючі технології. Описані особливості та шляхи отримання матових склоемалевих покриттів для безгрунтового емалювання. Наведена класифікація ступенів блиску покриттів.

Ключові слова: матовість, склоемалеве покриття, склоемалева фрита, тонкодисперсний порошок, кристалізація, блиск, одношарове емалювання, порошкова електростатична технологія.

Вступ.

Розвиток сучасної промисловості, зокрема і в емальовальній галузі, спрямован на підвищення конкурентоздатності продукції за рахунок забезпечення високої якості виробів при одночасному їх здешевленні. Досягнення цих факторів можливе шляхом впровадження енерго- і ресурсозберігаючих технологій, модернізації виробничого обладнання і технологічних процесів, одержанням нових експлуатаційних та естетико-декоративних властивостей. Одним із напрямків розвитку ринку емальованої продукції є розширення колірної гами та текстурних характеристик покриттів. Враховуючи останні тенденції, велику популярність набуває побутова техніка із матовою склоемалевою поверхнею, яка поєднує в собі необхідні експлуатаційні та нові декоративні характеристики.

Ці умови і визначають актуальність виконання даної роботи, метою якої є розробка складу безгрунтового матового склоемалевого покриття для забезпечення захисних та естетико-декоративних характеристик виробів із маловуглецевих сталей. Традиційно склоемалеві покриття, які характеризуються специфічними декоративними ефектами, отримують за класичною шлікерною технологією із застосуванням двошарового емалювання – ґрунтовий шар + покривний шар. Враховуючи світові тенденції розвитку промисловості, які спрямовані на підвищення якості продукції, екологічність та безвідходність виробництва, мінімізацію долі ручної праці та спрощення всіх технологічних процесів. Тому на сьогоднішній день найбільш перспективним є застосування безгрунтових склоемалевих покриттів, які забезпечують одночасно функції ґрунтової та покривної емалі, у поєднанні із енергоресурсозберігаючою порошковою електростатичною технологією їх нанесення – POESTA (Powder Electrostatic Application). Значні переваги технології POESTA обумовлюють її поширення у виробництві побутової техніки (газових та електричних плит, мікрохвильових печей, духових шаф), архітектурно-будівельних панелей, деталей камінів і різноманітних печей та ін.

Постановка задачі.

Розробка покриттів вказаного типу ускладнюється необхідністю одночасного забезпечення вимог до технологічних властивостей склоемалевих порошоків, експлуатаційних та

специфічних естетико-декоративних характеристик безгрунтових покриттів (забарвлення і матовість) – рисунок 1.

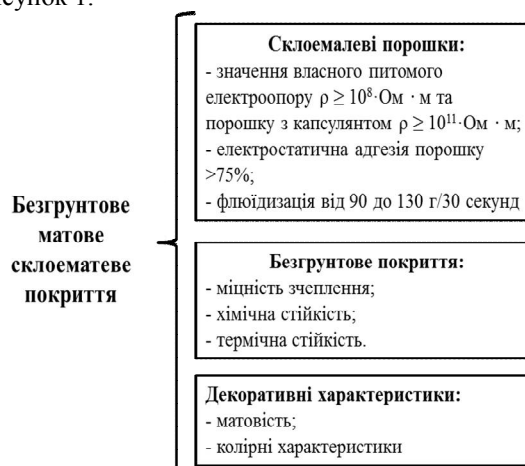


Рисунок 1 – Умови синтезу матових безгрунтових склоемалевих покриттів

Технологія POESTA обумовлює специфічні властивості склоемалевих порошоків, зокрема, підвищені значення питомого електроопору, для забезпечення яких в роботі буде використано дію полілужного та полікатіонного ефектів. Прояв вказаних ефектів буде досягнуто шляхом введення в певних співвідношеннях оксидів лужних і лужноземельних металів [1].

Міцність зчеплення склоемалевого покриття зі сталеву основою залежить від складу введенного комплексного активатора зчеплення (КАЗ), який одночасно буде виконувати функції активного забарвлюючого комплексу (АЗК), тобто забезпечувати необхідні колірні характеристики [2]. Експлуатаційні характеристики покриття (хімічна та термічна стійкість) забезпечуватимуться шляхом певного співвідношення склаутворюючих та модифікуючих компонентів у складі склоемалі [3].

Матовість склоемалевих покриттів на сьогоднішній досягається трьома основними методами:

- додаванням тугоплавких наповнювачів на стадії помелу фрит при приготуванні шлікерів;
- поєднанням несумісних систем В-Ті та Zn-Ті,

© О.В. Шалигіна, Г.К. Воронов, О.П. Одинцова, 2015

що передбачає розділення мікрофаз;

- використання спрямованої кристалізації із структури скла.

Але наведені методи практично застосовують для одержання матових покриттів за традиційною шлікерною технологією при двошаровому емалюванні – ґрунтовий + покривний шар. Тому доцільним є експериментальна перевірка можливості застосування цих методів для одержання безґрунтових матових склоемалевих покриттів за технологією POESTA.

Методика досліджень. Контроль експлуатаційних характеристик склоемалевих покриттів для побутової техніки та властивостей склоемалевих порошоків для технології POESTA здійснювали за галузевими стандартами із використанням відповідних методик [4, 5, 6] – табл. 1.

Таблиця 1 – Вимоги до характеристик склоемалевих покриттів та порошоків при емалюванні деталей побутових плит за технологією POESTA

Склоемалеве покриття		Порошок	
Вимога, стандарт	Значення	Вимога, стандарт	Значення
Хімічна стійкість – розчин холодної лимонної кислоти (EN ISO 28706-1:2012)	мін. клас А + (варочні поверхні, кришки пальників, панель керування, духовка шафа)	Питомий електроопір порошку із гідрофобним капсулянтм, Ом·м [6]	$\geq 10^{11}$
Ступінь блиску (EN ISO 2813)	допуск. різниця у вимірі: ± 4 на блиск 0-30; ± 6 на блиск 30-70; ± 8 на блиск 70-100 (варочні поверхні, панель керування)	Власний питомий електроопір, ρ_v , Ом·м [5]	$\geq 10^8$
Термостійкість [4]	нагрів до: кришки пальників, ґратки – 380 °C ($\times 5$); плити – 200 °C ($\times 5$)	Тонина помелу [5]	3 – 80 мкм; до 10 мкм $\leq 5\%$
Міцність зчеплення (EN 10209An.D)	мін. 3 бали	Флюїдизація, г/30 сек (ISO 8130-5)	90–150
Товщина покриття [4]	кришки пальників $\leq 0,6$ мм; ін. деталі $\leq 0,4$ мм	Електро-статична адгезія, % [5, 6]	> 75

Матовість – явище оптичне, пов'язане з присутністю безлічі площин розділу, від яких світло відбивається і розсіюється. Для склоемалевих покриттів матовість характеризується ступенем блиску. У відповідності до ГОСТ 52663–2006 та ISO 2813 за ступенем блиску покриття класифікуються на: інтенсивно-матові (від 1 до 10 % блиску); матові (11 – 30); напівматові (31 – 50); сатинові (51 – 70); яскраво-сатинові (71 – 90); глянцеві ($> 90\%$ блиску) [7]. За даним нормативним документом, який регламентує методи визначення блиску покриттів, блиск характеризується як відношення світлового потоку, що відбивається в дзеркальному напрямку від зразка до приймача, до світлового потоку, що відбивається в дзеркальному напрямку від скла з показником заломлення 1,567. На практиці прийнято класифікувати покриття до групи матових від показника світловідбиття $< 70\%$.

Матовість поверхні обумовлена наявністю складних оптичних ефектів, пов'язаних із механізмом світловідбиття для блискучих, матових та напівматових поверхонь – рис. 2 [8].

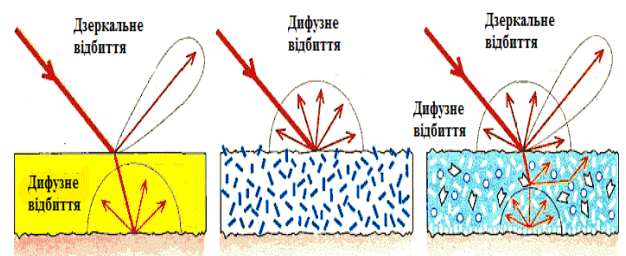


Рисунок 2 – Дзеркальне та дифузне відбиття склоемалевого покриття

Матеріали та результати досліджень.

Одним із способів одержання матової поверхні є додавання тугоплавких наповнювачів (ТПН) на стадії помелу. При цьому, ефект матування залежить від швидкості розчинення ТПН в склоемалі – основі під час випалу, що в свою чергу, обумовлюється структурою і розмірами часток ТПН, складом фрити-основи та умовами випалу покриття. Експериментальні дослідження проводили із урахуванням обмежувальних факторів, пов'язаних із додаванням надмірної кількості ТПН:

- існує вірогідність утворення грубої поверхні та неповне розплавлення склоемалі під час випалу;
- можливість значного збільшення (зменшення) поверхневого натягу емалевого розплаву до «стягнення» або до стікання склоемалі;
- підвищення температури випалу покриття, для безґрунтових емалей можлива втрата адгезійної здатності покриття.

В якості фрити-основи обрано раніше розроблену колективом лабораторії скла та емалей безґрунтову склоемаль ESB 9, призначену для одержання за технологією POESTA одношарових темнозabarвлених покриттів [9]. Склоемалева фрита характеризується необхідним комплексом властивостей, які відповідають вимогам як до порошоків, так і до склоемалевих покриттів для

побутової техніки: міцність зчеплення 1-2 бали, хімічна стійкість – клас А, електроопір порошку з капсулянтном 10^{12} Ом · м – табл. 1.

В якості ТПН обрані пісок кварцовий SiO_2 , глинозем Al_2O_3 , циркон ZrSiO_4 , MgO , ZnO та тальк.

Виготовлено 6 типів композицій: склоемалева фрита-основа – 100 мас. частин + ТПН. В кожному типі композиції змінювали поетапно кількість ТПН 5 мас. ч., 10 мас. ч. та 15 мас. ч. Експериментальні покриття отримували шляхом нанесення композиційних порошоків на сталеві зразки $100 \times 150 \times 0,8$ мм (марка сталі ЕК 2). Випал покриттів здійснювали в електричній муфельній печі при температурі 820°C протягом 4 хв. Експлуатаційні характеристики визначали за методиками, наведеними в табл. 1, ступінь блиску - за допомогою блискоміру ФБ-2, колірні характеристики - візуально. Електроопір порошоків експериментальних комбінацій знаходиться в межах $10^{11} - 10^{13}$ Ом · м, тобто відповідає необхідним вимогам

Покриття із 5-15 мас. ч. SiO_2 в якості ТПН характеризувалися погіршенням міцності зчеплення з 1-2 до 3-4 балів, незмінним кольором та зниженням блиску. При додаванні 5-15 мас. ч. Al_2O_3 критично знизилась хімічна стійкість покриттів та міцність зчеплення із сталеву основою, колір та ступінь блиску залишалися стабільними. Додавання ZrSiO_4 також викликало відсутність міцності зчеплення, хімічна стійкість залишалась незмінною - клас А. Із зростанням вмісту циркону блиск покриття зменшувався, колір змінювався від чорного до чорно-сірого. При введенні вже 5 мас. ч. MgO покриття характеризувалося хімічною стійкістю класу А, слабким блиском, чорно-сірим кольором та недостатньою міцністю зчеплення, а при 10 мас. ч. MgO з'явилася груба шорсткість. Збільшення кількості ZnO від 5 до 15 мас. ч. погіршувало міцність зчеплення, хімічна стійкість залишалася незмінною (клас А), покриття мало слабкий блиск та чорно-зелений колір. Використання тальку надало покриттю грубу шорсткість та чорно-сірий колір. Хімічна стійкість знаходилась поза класифікацією, із збільшенням концентрації до 10-15 мас. ч. покриття не мало міцності зчеплення із сталеву основою.

Експериментальні дані свідчать про те, що введення усіх ТПН в тій чи іншій мірі впливають на характеристики покриття. Загальна залежність відзначається зменшенням міцності зчеплення склоемалевого покриття із збільшенням концентрації ТПН. Встановлено, що найбільший негативний вплив на міцність системи метал-покриття при введенні 10 % MgO та Al_2O_3 – зчеплення відсутнє. Ступінь блиску знаходиться в певній залежності від кількості введенного наповнювача. Зі збільшенням кількості введенного ТПН, ступінь блиску зменшується, але тим самим це призводить до негативного впливу на експлуатаційні характеристики склоемалевого покриття. Необхідно також відзначити, що всі вказані ТПН змінюють колір покриття: з підвищенням концентрації наповнювача колірні характеристики змінювались у напрямку від чорного

до сірого. Тому на показники світловідбиття, зафіксовані приладом, в значній мірі впливають колірні характеристики, а саме «освітлення» покриття.

На основі проведених досліджень встановлено, що використання даного методу для одержання за технологією POESTA безгрунтових матових покриттів є недоцільним через складність одночасного забезпечення необхідних експлуатаційних та декоративних характеристик.

Наступним методом одержання матового покриття є використання несумісності різних склоемалевих систем. Практичний приклад полягає у змішуванні бор-титанових та цинк-титанових фрит. За теоретичними даними матуючий ефект може бути результатом утворення субмікроскопічних кристалів ZnF_2 , CaF_2 , і апатиту за умови присутності фторидів у складі.

На основі літературних та патентних даних синтезовані серії бор-титанових та цинк-титанових склоемалевих фрит. З метою забезпечення міцності зчеплення склоемалевого покриття зі сталеву основою вводили комплексний активатор зчеплення (КАЗ), який одночасно виконує функції активного забарвлюючого комплексу (АЗК). КАЗ, до складу якого входять CO , CuO , MnO_2 , Fe_2O_3 , був раніше розроблений в лабораторії скла та емалей [2]

Експериментальних комбінацій отримували змішуванням склоемалевих фрит у співвідношенні 1:1. Склад бор-титанової фрити з найменшим вмістом TiO_2 відповідав складу цинк-титанової фрити з найбільшим вмістом ZnO . За таким же принципом синтезовані і наступні композиції, тобто зі збільшенням TiO_2 в одній фриті, в іншій вміст ZnO зменшувався. Нанесення здійснювали за двома режимами: $2^\circ\text{C}/2^\circ\text{F}$ та $1^\circ\text{C}/1^\circ\text{F}$, тобто на грунт та як безгрунтову. Характеристики отриманих покриттів наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Експериментальні властивості склоемалевих покриттів

Композиції склоемалевих порошків		Характеристики композиційних покриттів			
		Оптичні			Експлуата- ційна
		На ґрунт	Безґрунтова	Колір	Міцність зчеплення, бал
1	BT 1/1– 50 % ZT 1/1– 50 %	слабкий блиск	слабкий блиск	чорний	4
2	BT 1/2– 50 % ZT 1/2– 50 %	слабкий блиск	слабкий блиск	чорний	4
3	BT 1/3– 50 % ZT 1/3– 50 %	блиск	блиск	чорний	4
4	BT 1/4– 50 % ZT 1/4– 50 %	блиск	блиск	чорний	4

Всі варіанти експериментальних композицій не забезпечили необхідного ступеню блиску. Безгрунтові покриття не мали достатньої міцності зчеплення зі сталеву основою, що не відповідає

заданим вимогам (табл. 1). Це може бути пояснено тим, що кількість склофази, в якій повинні протікати корозійні процеси була недостатньою. Колір отриманих покриттів залишився чорним.

Наступним етапом роботи було встановлення можливості отримання безгрунтових матових склоемалевих покриттів та на основі склокристалічних фрит. Відомо, що більшість матових покриттів синтезовані в фосфатних та цинк-силікатних системах із використанням методу спрямованої кристалізації P_2O_5 , TiO_2 , ZnO із структури скла.

Передумовою кристалізації є наявність або утворення зародків і здатність їх до зростання, що реалізується в результаті дифузії часток і їх формування в кристали в скляній матриці. Для склоемалей це можливо в інтервалі між температурами випалу і твердіння, тобто при 820 – 500 °C і в'язкості в інтервалі 10^3 – 10^9 Па·с. При нижчих температурах зародкоутворення, дифузія і зростання кристалів дуже малі (слабкі), при вищих температурах зародки кристалів, які утворилися, знову будуть розчинятися в розплаві [7].

Основна група склокристалічних покриттів включає алюмофосфатні стекла. При температурах вищих за область їх розм'якшення кристалізуються корунд або кристоболіт. Додавання забарвлюючих оксидів покращує ефект матування. При виробництві таких покриттів необхідно контролювати вузькі технологічні параметри, щоб забезпечити якість продукції. Фрити, матування яких обумовлене спрямованою кристалізацією, можуть мати тенденцію до розтріскування або містити дефект міхури [8].

На основі літературних та патентних даних були синтезовані фрити в фосфатній та боросилікатній системах, які при певному їх співвідношенні повинні забезпечити отримання безгрунтового матового склоемалевого покриття шляхом спрямованої кристалізації.

Варку експериментальних фрит проводили в шамотних тиглях в лабораторній електричній печі з силітовими нагрівачами. Тривалість варки експериментальних складів становила 40-60 хвилин при температурі 1100–1300 °C. Готовність розплаву визначали пробую на нитку. Готові розплави виливали у воду, в результаті чого була отримана склоемалева фрита. Отримані фрити подринювали до порошків з розміром частинок 5–70 мкм. Максимальна температура варки алюмофосфатної фрити – 1100 °C, цирконійфосфатної – 1120 °C, боросилікатної – 1280 °C.

Змішування склоемалевих порошків для отримання композиції проводили у співвідношенні: 60 % алюмофосфатної, 10 % цирконійфосфатної, 30 % боросилікатної.

Отримані значення електроопору експериментальних фосфатних порошків і відповідно композиції з них занадто низькі, що не відповідає заданим вимогам (табл. 1). Це може пояснюватися тим, що фосфатні стекла є напівпровідниками і не

можуть бути використані для технології електростатичного нанесення навіть при обробці капсулянтами.

На основі проведеного експерименту встановлена неможливість одержання безгрунтових матових склоемалевих покриттів за технологією POESTA, що обумовлено високою електропровідністю фосфатних склоемалевих порошків.

На основі проведених досліджень щодо перевірки можливостей отримання матових склоемалевих захисних покриттів за трьома методами був обран нетрадиційний метод, який полягав у синтезі склокристалічної композиції, однією із складових якої є склокристалічна фрита, яка в інтервалі температур випалу покриттів забезпечує необхідний рівень їх матовості і характеризується високими показниками власного питомого електроопору ($\rho \geq 10^8$ Ом·м), а другою складовою є високо реакційна склофрита – основа, відповідальна за колірні характеристики та міцність зчеплення матової композиції із тонколистовою маловуглецевою сталлю.

Висновки.

Для досягнення мети даної роботи, яка полягає в розробці складу та технологічних параметрів одержання за технологією POESTA безгрунтового матового склоемалевого покриття для забезпечення необхідних експлуатаційних та естетико-декоративних характеристик сталевих поверхонь побутової техніки, встановлені основні шляхи отримання матових покриттів за традиційною шлікерною технологією та проведені дослідження щодо можливості їх застосування для порошкового нанесення за технологією POESTA.

За методом, що передбачає введення ТНП на стадії приготування порошку отримано покриття, які не відповідають необхідним експлуатаційним і декоративним характеристикам. Встановлено, що зі збільшенням концентрації ТНП зменшується ступінь блиску покриттів, але водночас це призводить зниження міцності зчеплення склоемалевого покриття зі сталеву основою.

Отримання матового покриття шляхом синтезу склоемалевих фрит в В-Ті та Zn-Ті системах не забезпечило склоемалевим покриттям заданого ступеню блиску. Також безгрунтові покриття не мали достатньої міцності зчеплення зі сталеву основою, що не відповідає заданим вимогам (табл. 1).

За методом, що передбачає застосування механізму спрямованої кристалізації при поєднанні боросилікатної і фосфатної систем були отримані покриття, які в найбільшій мірі відповідали заданому ступеню блиску. Але їх отримання можливе лише за умови шлікерного нанесення. Значення електроопору експериментальної порошкової композиції на основі фрит боросилікатної і фосфатної систем занадто низькі ($\rho = 10^6$ Ом·м - 10^8 Ом·м), навіть при обробці капсулянтами. Це визначає неможливість їх застосування для отримання матового безгрунтового покриття за технологією POESTA.

Список літератури: 1. Химическая технология стекла и ситаллов / Артамонова М.В., Асланова М.С., Бужинский И.М. и др. // ред. Н.М. Павлушкин – Стройиздат, 1983. – 432 с. 2. Шалигіна О.В. Безгрунтові коричневі склоемалеві покриття для побутової техніки / О. В. Шалигіна, О. П. Одинцова // Шоста Університетська наук.-практ. студ. конф. магістрантів НТУ «ХПІ», 27–29 березня 2012 р. : тези допов. – Х. : НТУ«ХПІ», 2012. – С. 31. 3. Шалыгина О.В. Однофриттные безникелевые стеклоэмалевые покрытия, получаемые по технологии POESTA / Шалыгина О.В., Одинцова А.П., Брагина Л.Л., Миронова Г.И. // Стекло и керамика. – М., 2014. – № 6. – С. 38 – 42. 4. Quality requirements for enameled hot water tanks (boilers) / European enamel authority. – 4 Edition. – Hagen: DEV, 2013. – 138 p. 5. Pemco Enamel Manual / ed. Lips K. – [2nd ed.] – Bruges: Pemco Brugge. – 2008. – 274 p. 6. Pagliuca S. Porcelain (Vitreous) Enamel / Pagliuca S., Faust W. – Mantova: Tipografia Commerciale srl. – 2011. – 870 p. 7. ГОСТ Р 52663-2006. Материалы лакокрасочные. Метод определения блеска лакокрасочных покрытий, не обладающих металлическим эффектом, под углом 20 °, 60 ° и 85 °. – Введен 01.01.08. 8. Художественное эмалирование: / Под ред. Э.Бреполь. – Л.: Машиностроение, 1986. 9. Брагина, Л.Л. 104251 Безгрунтова склоемаль коричневого кольору [Текст] / Брагина Л.Л., Шалигіна О.В., Анненков В.З., Худяков В.И., Гузенко М.М., Одинцова О.П., Куприяненко К.И., Споленак Боян, Манасьян П.А. // Патенты и изобретения : Изобретения, 2014.

Bibliography (transliterated): 1. *Himicheskaya tehnologiya stekla i sitallov* / Artamonova M.V., Aslanova M.S., Buzhinskiy I.M. i dr. // red. N.M. Pavlushkin – Stroyizdat, 1983. – 432 s. 2. *Shaligina O.V. Bezgruntovi korichnevi skloemalevi pokrittya dlya pobutovoyi tehniki* / O. V. Shaligina, O. P. Odintsova // Shosta Universitetska nauk.-prakt. stud. konf. magistrantiv NTU «HPI», 27–29 berez. 2012 : tezi dopov. — H. : NTU«HPI», 2012. – P. 31. 3. *Shalyigina O.V. Odnofritnyie beznikelevyie stekloemalevyie pokryitiya, poluchaemyie po tehnologii POESTA* / Shalyigina O.V., Odintsova A.P., Bragina L.L., Mironova G.I. // *Steklo i keramika*. – M., 2014. – No. 6. – P. 38 – 42. 4. *Quality requirements for enameled hot water tanks (boilers)* / European enamel authority. – 4 Edition. – Hagen: DEV, 2013. – 138 p. 5. *Pemco Enamel Manual* / ed. Lips K. – [2nd ed.] – Bruges: Pemco Brugge. – 2008. – 274 p. 6. *Pagliuca S. Porcelain (Vitreous) Enamel* / Pagliuca S., Faust W. – Mantova: Tipografia Commerciale srl. – 2011. – 870 p. 7. *GOST R 52663-2006. Materialy lakokrasochnyie. Metod opredeleniya bleska lakokrasochnyih pokryitiy, ne obladayuschih metallicheskim effektom, pod uglom 20 °, 60 ° i 85 °.* – Vveden 01.01.08. 8. *Hudozhestvennoe emalirovanie:* / Pod red. E.Brepol. – L.: Mashinostroenie, 1986. 9. *Bragina, L.L. 104251 Bezgruntova skloemal korichnevogo koloru* [Tekst] / Bragina L.L., Shaligina O.V., Annenkov V.Z., Hudyakov V.I., Guzenko M.M., Odintsova O.P., Kupriyanenko K.I., Spolenak Boyan, Manasyan P.A. // *Patentyi i izobreteniya : Izobreteniya*, 2014.

Надійшла до редакції (received) 15.12.2015

Відомості про авторів

Шалигіна Оксана Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: 707-68-78; e-mail: shalyginao@googlemail.com

Shalygina Oksana Vladimirovna– Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of technology ceramics, refractories, glass and enamels ; tel.: 707-68-78; e-mail: shalyginao@googlemail.com

Воронов Геннадій Костянтинович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: 707-68-78; e-mail: voronov1976@ukr.net

Voronov Gennadiy Konstantinovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of technology ceramics, refractories, glass and enamels ; tel.: 707-68-78; e-mail: voronov1976@ukr.net

Одинцова Олександра Павлівна – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: 707-68-78; e-mail: odincovaaleksandra@mail.ru

Odincova Aleksandra Pavlovna – graduate student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", graduate student at the Department of technology ceramics, refractories, glass and enamels ; tel.: 707-68-78; e-mail: odincovaaleksandra@mail.ru