

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Резнікова Вікторія Вадимівна

УДК 666.291

**ДВОШАРОВІ СКЛОЕМАЛЕВІ ПОКРИТТЯ ОДНОРАЗОВОГО ВИПАЛУ ДЛЯ  
ШЛІКЕРНОГО НАНЕСЕННЯ НА СТАЛЬ**

Спеціальність 05.17.11 - технологія тугоплавких неметалічних матеріалів

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2002

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут”, Міністерство освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Брагіна Людмила Лазарівна,**  
Національний технічний університет  
“Харківський політехнічний інститут”,  
професор кафедри технології  
кераміки, вогнетривів, скла та емалей

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор  
**Бабушкін Володимир Іванович,**  
Харківський державний технічний  
університет будівництва та архітектури,  
завідувач кафедри будівельних матеріалів та виробів

кандидат технічних наук, доцент  
**Доронін Євген Володимирович,**  
Академія пожежної безпеки України, м. Харків,  
доцент кафедри пожежної профілактики  
в населених пунктах

Провідна установа:

Український державний хіміко-технологічний університет, ка-  
федра технології кераміки та скла, Міністерство освіти і науки  
України, м. Дніпропетровськ

Захист відбудеться “ 21 ” червня 2002 р. о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.03 в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий “ 17 ” травня 2002 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Сахненко М.Д.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Однією з найважливіших науково-технічних задач, що поставлено перед промисловим комплексом України, є енергозбереження. Рішенням цієї задачі стосовно такого енергоємного виробництва, як емалювання виробів з чорних металів, зокрема, сталевій побутової техніки, сантехніки та архітектурно-будівельних деталей, є створення і впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій, а також склоемалей зі зниженою температурою випалу.

До таких новітніх технологій належить спосіб одноразового випалу водночас ґрунтового та покрівного емалевих шарів, що відомий як “2 шари / 1 випал”, який отримав широке розповсюдження за кордоном завдяки не тільки його значній економічності й екологічності, а й високій якості та конкурентоспроможності емальованої продукції. Однак успішна реалізація цієї технології з нанесенням покриттів електростатичними та електрофоретичними способами потребує використання багатокоштовного обладнання для нанесення покриттів у полі високої напруги, спеціальних склофрит на основі дефіцитних компонентів, а також строгої технологічної дисципліни, у зв’язку з чим в Україні вона впроваджена лише на одному підприємстві (концерн “Азовмаш”) з використанням імпортової лінії електростатичного нанесення покриттів. На сьогодні в Україні та країнах СНД найбільш поширеною є традиційна технологія шлікерного нанесення емалевих покриттів з використанням окремого випалу ґрунтового та покрівного емалевих шарів. У зв’язку з очевидними перевагами технології одноразового випалу відразу декількох емалевих шарів та відсутністю можливості у сучасних економічних умовах України широкого промислового розповсюдження цієї технології з використанням електричного поля актуальною є розробка енерго- та ресурсозберігаючої технології “2 шари/ 1 випал” для шлікерного емалювання без використання електростатики і електрофорезу (“Combismalt”).

**Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалась за державною науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України 05.07 “Матеріали і технології для наплавлення і нанесення покриттів”, проект 05.07/00413 ( Постанова ДКНТ України № 102 від 23.04.97.) та держбюджетною темою М 5133 “Фізико-хімічні основи ре-гульованого синтезу легкотопких стекол з високим питомим електроопором в системі  $R_2O-RO-B_2O_3-Al_2O_3-SiO_2$  та процесів формування багатшарових склоемалевих покриттів одноразового випалу” за науковим напрямком 70 “Наукові основи хімічної технології створення нових неорганічних речовин та матеріалів, комплексної хіміко-технологічної переробки сировини України” (наказ Міністерства освіти і науки України № 507 від 30.10.2000 р).

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розробка принципів отримання із шлікерів двошарових склоемалевих покриттів одноразового випалу для виробів з тонколистової сталі. Для досягнення вказаної мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- встановити механізм формування двошарових емалевих покриттів під час одноразового випалу та фактори, що визначають їх якість;
- визначити особливості реології розплавів емалей та їх взаємодії зі сталевим субстратом при одноразовому випалі двох шарів;
- дослідити процеси газовиділення в системі метал – грунт – покрівна емаль в умовах одноразового випалу з урахуванням складу та структури вітчизняних емалювальних ма-ловуглецевих сталей;
- розробити склад ґрунтової емалі для шлікерного емалювання за технологією "2 шари/ 1 випал";
- встановити способи регулювання структурно-механічних характеристик емалевих шлікерів та міцності бісквітної системи грунт – покрівна емаль;
- оптимізувати технологічні параметри шлікерного емалювання виробів з тонколистової сталі за режимом "2 шари/ 1 випал", провести дослідно-промислові випробування та розробити рекомендації щодо його промислового використання.

*Об'єктом дослідження* є передові енерго- та ресурсозберігаючі технології емалювання чорних металів.

*Предмет дослідження* - шлікерне емалювання виробів з тонколистової сталі за способом "2 шари/ 1 випал".

*Методи дослідження* включали вивчення процесів формування склоемалевих покриттів за режимом "2 шари/ 1 випал", структурних і фазових утворень у них та процесів взаємодії на міжфазових межах в системі метал – грунт – покрівна емаль з використанням стандартних матеріалознавчих методик, а також математичну обробку експериментальних даних.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

- встановлено особливості формування двошарових склоемалевих покриттів одноразового випалу із шлікерів без використання електричних полів високої напруги (технологія "Combismalt") для тонколистової сталі;
- вперше сформульовано комплекс факторів, що обумовлюють якість покриттів "Combismalt": характер процесів утворення та дифузії газової фази в системі сталь - двошарове покриття з вміщуючих глину шлікерів в процесі нагріву, співвідношення товщин ґрунтового та покрівного бісквітних шарів, їх механічна міцність і міцність зчеплення двошарового покриття зі сталлю;
- з використанням термогравіметрії показано, що основною умовою уникнення дефектів, обумовлених газовою фазою, є забезпечення рівномірного виділення газоподібних продуктів в інтервалі одноразового випалу двошарового покриття за рахунок максимального розширення температурної зони цього процесу і скорочення зони одночасного протікання реакцій газовиділення з шлікерів ґрунтової та покрівної емалей;
- на підставі дослідження склоутворення в псевдопотрійній системі  $(\text{SiO}_2 + \Sigma) - (\text{B}_2\text{O}_3 + \Sigma) - (\text{R}_2\text{O} + \Sigma)$ , де  $\Sigma = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CoO} + \text{NiO} + \text{CaF}_2$ , й вивчення фізико-механічних властивостей модельних стекел і реологічних властивостей їх розплавів синтезована легкотопка

склофрита, що призначена для використання як грунт у сполученні зі стандартною покрівною емаллю для отримання двошарового покриття “Combismalt”;

- уточнені коефіцієнти в рівнянні Деккера для розрахунку в'язкості склорозплавів за їх розтіканням ( $l$ ), яка визначається згідно прийнятої в країнах СНД стандартної експрес-методики. На основі математичної обробки експериментальних залежностей розтікання емалевих розплавів від температури та часу витримування побудовано трьохмірні діаграми в координатах  $l = f(T, \tau)$  для визначення розтікання легкотопких емалей у будь-якій температурно-часовій точці формування покриттів із них;

- встановлено механізм зміцнення ґрунтового бісквітного шару в присутності поліфосфатного розчинного скла та оптимізовано реологічні параметри шлікерів і технологічні параметри їх нанесення, сушіння та випалу, а також співвідношення товщин цих шарів;

- з використанням рентгенофазового і енергодисперсійного мікроструктурного аналізу встановлено механізм формування двошарових шлікерних покриттів одноразового випалу та їх зчеплення з маловуглецевою сталлю.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі висунутих наукових положень вперше в СНД розроблено технологію емалювання тонколистової сталі з використанням двошарових емалевих покриттів одноразового випалу із шлікерів, синтезовано ґрунтову емаль і розроблено склад ґрунтового шлікера, науково-технічна новизна яких підтверджена позитивним рішенням про видачу деклараційного патенту України на винахід. Розроблена технологія та двошарове покриття, що містить як покрівний шар стандартну покрівну емаль, пройшли дослідно-промислові випробування на АТЗТ ТД “Емальзавод”, м. Харків, і рекомендовані для подальшого впровадження при виготовленні деталей побутової техніки та засобів залізничної сигналізації з тонколистової сталі. Очікуваний економічний ефект від використання розроблених покриттів і технології становить 1,63 грн / 1 м<sup>2</sup> емальованої сталі. Отримані результати створюють передумови для використання технології “Combismalt” на емальовальних підприємствах України та країн СНД, що випускають сталеві емальовані вироби побутового та архітектурно-будівельного призначення.

Результати дисертаційної роботи впроваджено до учбового процесу при

підготовці спеціалістів та магістрів за спеціальністю “Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів”.

#### **Особистий внесок здобувача**

- участь у постановці задач, що вирішуються в дисертаційній роботі. Автором здійснено систематизацію та математичну обробку експериментальних даних при розробці математичних моделей властивостей стеклокераміки; вибір складів, приготування й визначення фізико-хімічних властивостей емалей та технологічних властивостей двошарових покриттів на їх основі, обробка результатів експериментів на ЕОМ класу “Pentium”;
- підготовка публікацій та матеріалів для заявок на винахід;
- участь у підготовці методичних вказівок до експериментального обладнання для визначення плавкісних характеристик емалей та програми для обробки отриманих даних;
- підготовка та участь у проведенні промислових випробувань технології двошарового емальювання з одноразовим випалом.

Внесок співавторів спільних публікацій полягав у загальному науковому керівництві, участі в постановці завдань дисертаційної роботи та обговоренні результатів лабораторних і промислових експериментів, а також підготовці результатів роботи до опублікування.

**Апробація результатів дисертації.** Загальні положення дисертаційної роботи докладались та обговорювались на VI, VII, VIII Міжнародних науково-технічних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (м. Харків, 1998, 1999, 2000 рр.); на науково-практичній конференції “Потребительская кооперация России на пороге третьего тысячелетия” (м. Белгород, 1999 р.); на I Всеукраїнській конференції “Сучасні проблеми неорганічної хімії” (м. Київ, 1999 р.); на Міжнародній науково-технічній конференції “Эффективные огнеупоры на рубеже XXI столетия” (м. Харків, 2000 р.); на Міжнародній науково-практичній конференції “Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века” (м. Белгород, 2000 р.); на II Міжнародній технічній конференції “Композиційні матеріали” (м. Київ, 2001 р.); на III науковій конференції по колоїдній хімії та фізико-хімічній механіці природних дисперсних систем (м. Одеса, 2001 р.); на I наукових читаннях імені академіка Бережного А.С. “Фізико-хімічні проблеми керамічного матеріалознавства” (м. Харків, 2001 р.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 12 робіт, в тому числі 6 – у провідних наукових виданнях за спеціальністю.

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, 6 розділів, висновків та 3 додатків. Повний обсяг дисертації складає 186 сторінок, з них 17 ілюстрацій по тексту, 52 ілюстрації на 31 сторінках; 12 таблиць по тексту, 16 таблиць - на 16 сторінках; 3 додатка на 10 сторінках; 174 найменування використаних літературних джерел на 16 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтовано актуальність, а також наукову і практичну важливість питань, що складають предмет дослідження дисертаційної роботи, сформульовано мету й шляхи її досягнення.

У *першому розділі* аналізується стан питань, пов'язаних з проблемою вирішення завдань енерго- та ресурсозбереження у галузі емалювання металевих виробів, розглянуто основні способи нанесення емалевих покриттів на вироби з чорних металів, зокрема, з тонколистової сталі, та показано переваги новітньої технології "2 шари/ 1 випал", яка дозволяє реалізувати одноразовий випал двошарових покриттів та забезпечує високу якість та конкурентоспроможність виробів. Серед них найбільш переважним у сучасних економічних умовах України є використання цієї технології у сполученні зі шлікерним нанесенням емалевих шарів, що має назву "Combismalt".

Незважаючи на широке використання закордонними підприємствами технології "2 шари/ 1 випал" з нанесенням покриттів у електричному полі, застосування технології "Combismalt", що передбачає одноразовий випал двох шлікерних шарів, обмежується підвищеними вимогами до складу та властивостей, зокрема реологічних, розплавів ґрунтової та покрівної емалей та їх шлікерів, а також необхідністю чіткого дотримання технологічних параметрів нанесення, сушіння та випалу двошарового покриття. Інформація про потрібні для цього склоемалі дуже обмежена, а відомості про принципи синтезу та процеси їх формування в режимі "2 шари/ 1 випал" взагалі відсутні. Тому дуже важливим є встановлення комплексу факторів, що обумовлюють якість склоемалевого покриття на сталі при використанні "Combismalt", а також особистого внеску кожного з них.

Також наведено сучасні уявлення про реологію емалевих шлікерів у залежності від їх складу та режимів приготування та показано існуючі способи зміцнення емалевих шарів після сушіння (бісквітних шарів).

Обґрунтовано необхідність створення наукових основ синтезу ґрунтових емалей для технології "2 шари/ 1 випал" для традиційного шлікерного нанесення на базі переважно української сировини.

У *другому розділі* наведено обґрунтування вибору напрямку і методики досліджень. Для синтезу стекел були застосовані матеріали марок "ХЧ" та "ЧДА". Лабораторні варки проводили в електричній печі з силітовими нагрівальними елементами в корундових тиглях. Кристалізаційну здатність стекел визначали з використанням РФА, розтікання фрит вивчали методом "сидячої краплі", інтервал топкості за методиками та на приладі ЮРГТУ. Вивчення процесів газоутворення та газовиділення з композицій фрита-глина здійснювали за допомогою ДТА на дериватографі системи Паулік-Паулік-Ердей. Маса зразку, що вивчається, становила 2,26 г. В якості еталону використовували прокалений при 1300°C оксид алюмінію. Коефіцієнт в'язкості ( $\eta$ ) визначали на віскозіметрі ОРГРЭС. Міцність зчеплення покриттів зі сталлю, їх блиск та білизну визначали за ДОСТ 24405-80 та за методиками ЮРГТУ. Товщину покриттів

виміряли магнітним товщинимірювачем, реологічні параметри шлікерів визначали на мобілометрі Гартнера, хімічну та термічну стійкість покриттів - за ДОСТ 1098-93. ІЧ-спектри поглинання стекл знімали методом осадочних плівок в інтервалі частот 4000-400  $\text{см}^{-1}$ .

Ідентифікацію новоутворень здійснювали з використанням РФА на дифрактометрі ДРОН-2 з лічильником Гейгера при отфільтрованому випромінюванні міді. Умови зйомки: напруга на трубці 24 кВ, анодний тік - 6 мА, швидкість обертання лічильника 2 об/хв. Вивчення контактного шару на межі метал-покриття здійснювали за методом електронної мікроскопії з рентгенівським мікроаналізом на скануючому мікроскопі ISM-820 з системою рентгенівського мікроскопу Link AN 10/85 S (метод EDS – енергодис-персійний рентгенівський мікроаналіз).

Математична обробка результатів проводилась на IBM “Pentium”.

У *третьому розділі* здійснено вибір псевдопотрійної системи  $(\text{R}_2\text{O} + \Sigma) - (\text{B}_2\text{O}_3 + \Sigma) - (\text{SiO}_2 + \Sigma)$ , де  $\Sigma = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CoO} + \text{NiO} + \text{CaF}_2$ , як базової з метою розробки ґрунтової фрити для одержання двошарового покриття “Combismalt” з температурою випалу не вище 840 °С (рис. 1). Обґрунтовано доцільність її використання у сполученні зі стандартною покрівною титановою емаллю ЕСП-117, що широко використовується на вітчизняних підприємствах.

Ця фрита повинна бути легкотопкою, з достатньою змочувальною здатністю при температурах випалу покриття з неї, характеризуватися низькими значеннями поверхневого натягу та в'язкості при 840 °С, значеннями ТКЛР в діапазоні  $(90-125) \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$ , які необхідні для релаксації напруг в системі метал-ґрунт у процесі охолодження емальованої сталі, а також міцністю зчеплення покриття зі сталлю не нижче 87-90 %.

З урахуванням вивчення склоутворення у згаданій системі та реологічних і фізико-механічних властивостей 14 складів модельних стекл (табл. 1) для подальшого дослідження динаміки їх змінення в температурному інтервалі 600-840°С було вибрано 3 склади, покриття з яких мали найбільшу міцність зчеплення, необхідні значення ТКЛР та мінімальну (скло 9), середню (скло 10) й максимальну (скло 4) величини відношення поверхневого натягу до в'язкості ( $\sigma/\eta$ ).

У зв'язку з відсутністю даних про склад фрит для “Combismalt” з деяким припущенням як еталонні було використано фрити R-1184 й R-1512, призначені для “2 шари / 1 випал”, але при електростатичному нанесенні. Для них, стекл №№ 4, 9, 10 й фрити стандартної покрівної емалі ЕСП-117 було визначено залежність крайового куту змочування  $\Theta$  від температури, розраховано та експериментально визначено в'язкість  $\eta$  склорозплавів в інтервалі температур випалу покриттів з них, а також вивчено їх топкісні характеристики.

Оскільки експериментальне визначення коефіцієнта динамічної в'язкості  $\eta$  склорозплавів пов'язано, як відомо, зі значними труднощами, важливим було встановити зв'язок між  $\eta$  та значеннями розтікання, як величини, зворотній кінетичній в'язкості, що визначається за стандартною експрес-методикою (ДОСТ 24405-80). Для цього було вико-



ристано формулу Деккера, що дозволяє визначити в'язкість розплавів емалей при температурі, для якої відома довжина  $l$  та час розтікання  $\tau$  зразка емалі:

$$\lg \eta = 4,47 + 2,57 \lg [(\tau_1 - \tau_2)/(l_1 - l_2)] \quad (1)$$

Для визначення в'язкісних характеристик за рівнянням (1) необхідно було отримати залежності  $l = f(T)$  і  $l = f(\tau)$  з наступною побудовою трьохмірних діаграм  $l = f(T, \tau)$  (рис. 2).

З метою підтвердження правомірності використання цих діаграм для встановлення значень розтікання склорозплавів при будь-якій температурі та часі витримування була проведена математична обробка даних про розтікання, що дозволила визначити характер їх в'язкої течії.

Характер впливу температури на розтікання склоемалей вказує на протікання трьох основних фізико-хімічних процесів (рис. 3): на ділянці  $A$  зразок має достатню міцність, й процес розтікання не відбувається;

Таблиця 1

## Хімічний склад та властивості модельних стекол і покриттів з них

№ скла ду	Вміст компонентів, мас. %							Густина, $d \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	ТКЛР $\alpha \cdot 10^7$ , К <sup>-1</sup>	Питома тепло- провод- ність $\lambda$ , Вт/м·К	Поверх- невий натяг $\sigma$ , мН/м	Крайовий кут змо- чування $\theta_{840}$ , град	Розті-к ання $F_{эфф.}$ , мм	$lg \eta_{840}$ , (Па·с)	Спів-ві дно-ше ння $\sigma/\eta$	Міцні-ст ць зче-пен ня, $H$ , %
	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CoO	NiO	CaF <sub>2</sub>									
1	50,0	24,0	11,0	5,5	0,7	1,6	7,2	2,17	76,75	0,900	276,79	17	35-50	2,1	2,199	88
2	49,0	25,0	11,0	5,5	0,7	1,6	7,2	2,15	77,30	1,014	274,19	15	40-50	2,0	2,742	88
3	45,0	15,0	25,0	5,5	0,7	1,6	7,2	2,33	131,5	0,898	273,59	20	30-45	1,8	4,336	89
4	40,0	23,0	22,0	5,5	0,7	1,6	7,2	2,20	123,1	0,894	258,49	13	55-75	1,65	5,787	91
5	40,0	20,0	25,0	5,5	0,7	1,6	7,2	2,25	134,3	0,895	260,59	16	50-65	1,7	5,200	88
6	40,0	25,0	20,0	5,5	0,7	1,6	7,2	2,17	115,7	0,899	257,09	15	60-70	1,68	5,371	89
7	45,0	25,0	15,0	5,5	0,7	1,6	7,2	2,16	94,38	0,907	266,59	14	50-70	1,8	4,225	89
8	50,0	20,0	15,0	5,5	0,7	1,6	7,2	2,23	91,23	0,906	279,59	18	35-50	2,1	2,221	90
9	50,0	15,0	20,0	5,5	0,7	1,6	7,2	2,32	110,2	0,900	283,09	20	25-45	2,22	1,700	91
10	45,0	20,0	20,0	5,5	0,7	1,6	7,2	2,24	112,9	0,898	266,09	14	40-60	1,9	3,350	92
11	47,5	20,0	17,5	5,5	0,7	1,6	7,2	2,24	102,3	0,898	274,84	15	40-55	1,92	3,304	89
12	47,5	15,0	22,5	5,5	0,7	1,6	7,2	2,32	120,9	0,898	278,34	18	40-60	1,93	3,270	90
13	42	20,0	23,0	5,5	0,7	1,6	7,2	2,24	125,7	0,897	263,49	14	60-70	1,81	4,095	88
14	43	24,0	18,0	5,5	0,7	1,6	7,2	2,18	106,6	0,885	258,49	14	55-75	1,80	4,176	90

починаючи з деякої мінімальної температури  $T_{min}$ , розтікання зразку практично лінійно залежить від температури, чому відповідає ділянка  $B$  на рис. 3; подальше підвищення температури не знижує в'язкість зразку, розтікання наближається до деякого значення  $L_{max}$ , що здебільшого визначається величиною поверхневого натягу, який залежить насамперед від складу. Цьому процесу відповідає ділянка  $C$ .

Такий хід кривої є характерним для реології структурованих рідин, до яких, як відомо, належать й склорозп-лави, що свідчить про надійність використання рівняння (1) для легкоотпких модельних стекол і побудова-них нами трьохмірних діаграм.

Найбільш просто та водночас достатньо точно описує вказані вище закономірності залежність вигляду:

$$L = \frac{L_{max}}{1 + \exp\left(\frac{T_{mid} - T}{\Delta T}\right)} \quad (2)$$

$$T_{mid} = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} \quad (3)$$

$$\Delta T = T_{max} - T_{min} \quad (4)$$

де,  $L, L_{max}$  – розтікання та, відповідно, максимально можливе розтікання, мм;

$T$  - температура, °С;

$T_{mid}$  - середня температура переходу в рідинний стан, °С;

$\Delta T$  - величина інтервалу переходу в рідинний стан, °С;

$T_{min}$  - температура, при якій починається процес розтікання, °С;

$T_{max}$  - температура, при якій в'язкість переважно залежить від сил поверхневого натягу, °С.

Аналіз рівняння (1) показав, що одним з його складових частин є величина, що характеризує в'язкість склорозплавів при так званій температурі напівкулі. Враховуючи різні умови проведення експериментів за методикою Деккера та за ДОСТ 24405-80, було введено поправку, що враховує більш інтенсивне розтікання розплаву в останньому випадку. За початкову нами було прийнято температуру, при якій в емалі відбуваються перші ознаки рухомості – так звана точка рухомості -  $T_{mob}$ , якій відповідає в'язкість  $10^{5.8}$  Па·с. Таким чином, залежність (1) постає у вигляді:

$$\lg \eta = 5,8 + 2,57 \lg [(\tau_1 - \tau_2)/(l_1 - l_2)] \quad (5)$$

Експериментальна перевірка отриманого рівняння показала його високу ступінь адекватності й збіжність результатів з результатами дослідного визначення.

З точки зору запобігання дефектів, які визвані виділенням газів під час сумісного випалу емалевих шарів, важливим є встановлення інтервалу, газоутворення в якому найбільш інтенсивне, а також усієї температурної області газоутворення при формуванні покриттів.

Такий аналіз, на нашу думку, дозволить підібрати оптимальну пару грунт–покрівна емаль, для якої ширина зони перекивання цих “небезпечних” інтервалів ( $\Delta t_d$ ) була б найменшою. Також бажано, щоб область протікання реакцій газоутворення була максимально розтягнутою по всьому діапазону випалу, що дозволило б забезпечити найбільш рівномірний процес виділення газоподібних продуктів в температурному інтервалі випалу двошарового покриття та зменшити їх кількість в області, в якій газові реакції в грунто-

вому та покрівному шарах будуть відбуватися одночасно, і, таким чином, знизити можливість появи дефектів. Вивчення впливу реологічних властивостей склорозплавів на процеси утворення та дифузії газової фази в системі метал-покриття для всіх експериментальних стекел та фрит було здійснено за допомогою диференційно-термічного аналізу.

Дані щодо фізико-хімічних властивостей модельних стекел, фрит і композицій скло-глина, на основі яких було вивчено процеси дифузії газової фази в покриттях під час випалу (табл. 2), дозволяють зробити висновок про те, що модельне скло № 4, яке характеризується найбільшою легкотопкістю, високою змочувальною здатністю та найменшою в'язкістю в діапазоні температур випалу, відповідає всім вказаним вище вимогам: має найраніший початок "небезпечного" інтервалу на кривій температурної залежності втра-ти маси ( $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), тому до початку цього інтервалу на кривій  $TG = f(T)$  для стандартної покрівної емалі ( $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) утворення та виділення продуктів газових реакцій у цього скла переважно закінчене, при цьому скло № 4 характеризується найменшими втратами маси в цьому інтервалі (0,4 %).

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості модельних стекел, фрит та композицій скло-глина

Скло, фрита	“Небезпечний” інтервал $\Delta t_d$ , $^{\circ}\text{C}$	Втрати маси, % <sup>(*)</sup>		Густи-на, $\text{кг}/\text{м}^3$	Пов. натяг, $\text{мН}/\text{м}$	Крайовий кут змочування, град	Розті-к ання $l$ , мм	$lg \eta_{840}$ , (Па·с)	Інтервал топкості $t_H - t_K$
		загаль-ні	в інтер-ва-лі $\Delta t_d$						
№ 4	320-600	0,78	0,4	2200	258	13	75	2,98	527-613
№ 10	380-650	0,75	0,5	2240	272	14	55	3,23	589-701
№ 9	520-680	1,15	0,58	2320	289	20	45	3,66	723-874
ЕСП-11 7	450-620	0,9	0,42	2350	248	18	50	3,43	610-750
R-1184	300-600	0,7	0,43	2220	283	14	70	3,06	542-639
R-1512	340-620	0,6	0,35	2360	263	19	50	3,43	546-725

\*дані для композицій

Для зменшення небезпеки виникнення дефектів, обумовлених присутністю глини у складі емалевих шлікерів, також слід забезпечити максимально рівномірне виділення газоподібних продуктів в системі метал-двошарове покриття в температурному інтервалі випалу. Встановлено, що це може бути досягнуто завдяки максимальному розширенню температурної зони цього процесу при мінімальній ширині зони одночасного протікання реакцій газовиділення з шлікерів ґрунтової та покрівної емалей (табл. 2).

*Четвертий розділ* присвячений розробці складу ґрунтового шлікера для режиму “2 шари / 1 випал”, оскільки він головним чином визначає параметри нанесення шлікерних шарів, газоутворення при їх одноразовому випалі та, відповідно, якість готового покриття на металі. При реалізації технології "Combismalt" передбачається послідовне нанесення двох шлікерних шарів, тому вже на цій стадії з'являється небезпека виникнення дефектів, що викликані порушенням цілісності невипалених (бісквітних) шарів. Ефективним засобом для попередження взаємопроникнення шлікерних шарів при нанесенні є використання спеціальних добавок, що зміцнюють структуру шару. Однак, при виборі такої добавки необхідно враховувати, окрім підвищення міцності бісквітного шару, її вплив на реологічні характеристики емалевого шлікера та на процеси газоутворення при випалі

покриття, а також на властивості емалевих розплавів. Тому для підвищення міцнісних властивостей ґрунтового бісквіта було вибрано поліметафосфат натрію (ПФН), який має здібність створювати гнучку та міцну структуру за рахунок розвитку водневого зв'язку, що забезпечує поєднання усіх кристалічних компонентів шлікера: глини, подрібненого кварцового піску та фрити, а також солей, що входять до складу електроліту, - завдяки чому під час процесу сушіння шару шлікера утворюється міцна, високостійка структура, яка запобігає розмоченню ґрунтового шару при нанесенні поверх нього шлікера покрівної емалі. Завдяки відносно низькій температурі топлення ( $619\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) та наявності склоутворюючого елемента  $[\text{PO}_4]^{3-}$  він позитивно діє на реологічні властивості емалевого розплаву, покращуючи його розтікання та здатність до змочування поверхні металу.

При оптимізації кількості добавки враховували (рис. 4), з одного боку, покращення міцності висушеного шару, з іншого, негативний вплив ПФН, що є дефлокулянт, на реологічні властивості ґрунтового шлікера, погіршення його седиментаційної стійкості та вкривчої здатності.

Оптимальний вміст поліметафосфату натрію, що дорівнює 0,6-1,0 мас.%, забезпечує необхідні міцнісні властивості ґрунтового шару після сушіння при збереженні реологічних властивостей шлікера в межах, встановлених для пульверизаційного нанесення шлікерів. Було отримано ґрунтовий шлікер, що містить (мас.ч): ґрунтову фриту 100; глину 5; буру 0,5; поліметафосфат натрію 1; воду 40-45 (склад шлікера підтверджено позитивним рішенням про видачу деклараційного патенту України на винахід). Вкривча здатність шлікера становить  $0,4-0,45\text{ кг/м}^2$ , що відповідає густині  $1600-1650\text{ кг/м}^3$ .

Встановлено вплив товщини шлікерних шарів та температури одноразового випалу на якість склопокриття. Позитивний результат було досягнуто при одноразовому випалі в діапазоні температур  $820-840\text{ }^{\circ}\text{C}$  двошарового покриття з товщиною бісквітного ґрунтового шару  $100-180\text{ мкм}$ , а покрівного –  $150-200\text{ мкм}$ .

У *п'ятому розділі* з метою встановлення механізму формування двошарового покриття при його одноразовому випалі вивчено фізико-хімічні властивості композицій традиційного промислового ґрунту (2 шари / 2 випали) з млинними добавками, розробленої ґрунтової композиції для "Combismalt" і стандартної покрівної емалі, розглянуто особливості процесів утворення та виділення газової фази під час окремого та сумісного випалу шарів.

Встановлено, що для отримання якісного покриття "Combismalt" необхідно дотримуватися наступних вимог (рис. 5): температурний інтервал змочування металевої основи ґрунтовим розплавом повинен починатися на  $100-120\text{ }^{\circ}\text{C}$  раніше та закінчуватися до початку змочування металу покрівною емаллю; інтервал топкості ґрунту повинен бути на  $30-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  нижчим, ніж у покрівної емалі; значення в'язкості ґрунтового розплаву в інтервалі температур випалу повинні бути меншими у порівнянні з відповідними значеннями для покрівної емалі; більш широкий інтервал  $\Delta t_d$  для ґрунту повинен бути максимально посунутий відносно цього інтервалу для покрівної емалі. На відміну від цього, умовами формування бездефектного покриття за традиційною технологією є (рис. 5): пізніший початок змочування металу ґрунтовим розплавом, ніж змочування покрівною емаллю; ґрунт більш тугоплавкий, ніж покрівна емаль, має широкий інтервал топкості, а температура його випалу на  $40-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  вища в порівнянні з температурою випалу покрівного шару

та, відповідно, ґрунтовий розплав характеризується більшою в'язкістю; умови формування кожного з ша-рів дозволяють не ставити специфічних вимог щодо характеру та розташування перегинань на кривих втрат маси для експериментальних композицій.

Вивчення фазового та елементного складу контактного шару на межі метал-ґрунт покриттів, які отримано за традиційною технологією та за режимом "2 шари / 1 випал", показало, що у разі покриття "Combismalt" у значній мірі виявляється хімічна взаємодія та більш інтенсивно протікають дифузні процеси на контакті метал-розплав, про що свідчить поява в контактному шарі катіонів хрому та марганцю – компонентів сталі (рис. 6).

Отримані дані дозволили запропонувати наступну схему формування двошарового покриття за технологією "Combismalt" (рис. 7).

У шостому розділі наведено результати дослідно-промислових випробувань двошарового покриття одноразового випалу та технології емалювання за режимом "Combismalt" на деталях засобів залізничної сигналізації з тонколистової сталі в умовах АТЗТ ТД "Емальзавод".

Порівняння результатів, які отримані за запропонованою схемою і за традиційною технологією емалювання за режимом 2 шари / 2 випали (табл. 3), яка існує на заводі, показало, що застосування розробки дозволяє: виключити окрему операцію випалу ґрунтового шару; знизити температуру випалу двошарового покриття на 50 °С у порівнянні з температурою випалу ґрунту й на 20 °С - у порівнянні з температурою випалу покрівної емалі, яку використовують для традиційного емалювання; зменшити загальну товщину покриття на 100-150 мкм. Отримані результати свідчать про можливість значного зниження енерго- та трудовитрат при використанні розробленої технології та складу шлікера. Очікуваний економічний ефект за рахунок економії енергоресурсів – 1,63 грн на 1 м<sup>2</sup> емальованої продукції.

Таким чином, дослідно-промислові випробування двошарового покриття одноразового випалу і технології емалювання за режимом "2 шари / 1 випал" ("Combismalt") підтвердили наукові положення та експериментальні результати даної роботи. Їх впровадження може бути ефективним при виробництві іншої емальованої продукції з тонколистової сталі.

У додатках приведено акт дослідно-промислових випробувань з розрахунком очікуваного економічного ефекту від впровадження розробки, технологічну інструкцію на процес отримання двошарових склоемалевих покриттів одноразового випалу та рішення про видачу патенту України на винахід.

Таблиця 3

Порівняльна характеристика покриттів, отриманих за традиційною технологією та за режимом "2 шари / 1 випал"

Властивість, одиниця вимірювання	Покриття 2 шари / 2 випали	Покриття 2 шари / 1 випал ("Combismalt")
Температура випалу, °С	ґрунт 870-900 покрівна емаль 840-860	двошарове покриття 820-840
Товщина після випалу, мкм	250-350 (до 500)	170-270 (до 300)
Коефіцієнт блиску, %	83-86	83-86

Коефіцієнт білизни, %	78-82	78-82
Міцність зчеплення за ДОСТ 24405-80, бал	4-5	4-5
Хім. стійкість за ДОСТ 10798-93, клас	A	A

## ВИСНОВКИ

1. Розроблено наукові основи отримання двошарових склоемалевих покриттів одноразового випалу із шлікерів без використання електричних полів високої напруги ("Combismalt"), синтезована легкотопка ґрунтова фрита, розроблено склад ґрунтового шлікера та відпрацьовані технологічні параметри новітньої енерго- та ресурсозберігаючої технології емалювання виробів з тонколистової вітчизняної сталі.
2. Сформульовані фактори, що обумовлюють якість покриттів "Combismalt": характер процесів утворення і дифузії газової фази в системі сталь - двошарове покриття з вміщуючих глину шлікерів в процесі нагрівання, співвідношення товщин ґрунтового та покрівного бісквітних шарів, їх механічна міцність і міцність зчеплення двошарового покриття зі сталлю, які визначаються складом і властивостями сталі, склофрит і шлікерів.
3. Встановлено критерії вибору складів ґрунтової та покрівної емалей для технології "Combismalt", що передбачають більшу легкотопкість, вузький інтервал топкості, менші значення в'язкості, густини і більш високу змочувальну здатність, розтікання та поверхневий натяг для ґрунту в порівнянні з відповідними значеннями для покрівної емалі, та обрано скломатрицю для отримання ґрунтової емалі, що сполучається за властивостями зі стандартною покрівною.
4. Досліджено склоутворення в псевдопотрійній системі  $(R_2O + \Sigma) - (B_2O_3 + \Sigma) - (SiO_2 + \Sigma)$ , де  $\Sigma = Al_2O_3 + CoO + NiO + CaF_2$ , та синтезовано 14 складів модельних стекел з метою отримання ґрунтової фрити для одержання покриття "Combismalt" з температурою випалу не вище 840 °С.
5. Встановлені значення реологічних властивостей розплавів ґрунту та покрівної емалей і їх співвідношення, необхідне для уникнення явища динактивності склорозплавів при сумісному випалі двох шарів.
6. Уточнено розрахунково-експериментальну методику Деккера для визначення в'язкості легкотопких емалей за даними про їх розтікання з використанням побудови трьохмірних діаграм в координатах розтікання-температура-час витримування, що дозволяють встановлювати значення розтікання склорозплавів у будь-якій температурно-часовій точці формування покриття з них.
7. За допомогою термогравіметричних досліджень встановлено роль характеру та розташування інтервалів найбільш інтенсивного газовиділення під час нагрівання ґрунтового і покрівного шлікерних шарів і умови забезпечення максимально рівномірного виділення газоподібних продуктів у системі метал – двошарове покриття з вміщуючих глину шлікерів в інтервалі випалу за рахунок максимального розширення температурної зони цього процесу та звуження зони одночасного протікання реакцій газовиділення з двох шарів.
8. Найбільш ефективним для уникнення взаємопроникнення шлікерних шарів при їх послідовному нанесенні є застосування зміцнюючих добавок в шлікер, зокрема, легко-

топких розчинних фосфатних стекел. Встановлено механізм зміцнення покриттів, вміщуючих вказану добавку.

9. Оптимізовані реологічні параметри емалевих шлікерів, значення товщини бісквітних шарів і температури їх сумісного випалу для отримання якісного покриття з високими механічними властивостями.

10. Встановлено механізм формування покриття “Combismalt”. Доведено більш високу інтенсивність хімічної взаємодії та протікання дифузних процесів на межі метал – грунт при формуванні покриття “Combismalt” в порівнянні з покриттям, що отримано за традиційною технологією окремого випалу емалевих шарів.

11. В умовах АТЗТ ТД “Емальзавод” проведено дослідно-промислові випробування, які показали переваги розробленої технології та двошарового покриття “Combismalt”.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:**

1. Брагіна Л.Л., Резнікова В.В., Бердник І.В. Влияние влажности стеклопорошков на их сопротивление // Вестник Харьковского государственного политехнического ун-та. – Харьков: ХГПУ. – 1998. - Вып. 18. - С. 106-108.
2. Резнікова В.В., Шило В.А., Павлов А.В. Стеклокерамические покрытия на основе алюмосодержащих отходов // Вестник Харьковского государственного политехнического ун-та. – Харьков: ХГПУ.– 1999. - Вып.43. – С. 135-137.
3. Резнікова В.В., Брагіна Л.Л. Термогравиметрическое исследование композиций фрита-глина для двухслойного шликерного эмалирования // Вестник Харьковского государственного политехнического ун-та.– Харьков: ХГПУ. – 2000. - Вып.81. – С. 55-56.
4. Резнікова В.В., Брагіна Л.Л. Формирование термостойких стеклоэмалевых покрытий при двухслойном шликерном нанесении // Сб. научн. трудов УкрНИИОгнеупоров. - Харьков: Каравелла. – 2000. - № 100. – С. 126-131.
5. Резнікова В.В., Козуб П.Н., Брагіна Л.Л. Расчетно-экспериментальная методика определения вязкости эмалевых расплавов // Вестник Национального технического университета “Харьковский политехнический институт”.–Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2001. - Вып. 20.– С. 74-79.
6. Резнікова В.В. Реология расплавов двухслойных стеклоэмалевых покрытий однократного обжига // Сб. научн. трудов УкрНИИОгнеупоров. –Харьков: Каравелла.–2001.- № 101.–С. 186-190.
7. Брагіна Л.Л., Синицын П.М., Бердник І.В., Безручко В.В. (Резнікова) Двустадийное электростатическое эмалирование // Сб. научн. трудов ХГПУ “Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье”. - Харьков: ХГПУ. - 1998. – Ч.3. – С. 14-15.
8. Брагіна Л.Л., Резнікова В.В., Сініцин П.М. Застосування органічних полімерів при новітній технології склоемалювання // Сб.праць. I Всеукр. конф. “Сучасні проблеми неорганічної хімії”. – К.: Центр. - 1999. – С. 123.
9. Резнікова В.В., Брагіна Л.Л., Головка Ю.В. Проблема упрочнения бисквитного слоя при шликерном эмалировании // Труды Междунар. научно-техн. конф. “Эффективные огнеупоры на рубеже XXI столетия”. – Харьков: Каравелла. - 2000. – С. 42-43.
10. Брагіна Л.Л., Резнікова В.В., Воронов Г.К. Покриття на склополімерній зв'язці для новітньої технології емалювання “ Combismalt ” // Сб. праць. II Міжнар. науково-техн. конф. “Композиційні матеріали”. – К.: НТУУ “КПІ”. - 2001. – С. 8.



## АНОТАЦІЇ

### **Резнікова В.В. - Двошарові склоемалеві покриття одноразового випалу для шлікерного нанесення на сталь. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.11 - технологія тугоплавких неметалічних матеріалів, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2002 р.

Дисертація присвячена розробці наукових основ отримання двошарових склоемалевих покриттів одноразового випалу із шлікерів без використання електричних полів високої напруги для тонколистової сталі (“Combismalt”), що відрізняються високими якісними показниками при низькій собівартості за рахунок зменшення витрат електроенергії на емалювання в результаті виключення операції окремого випалу ґрунтового шару.

В роботі сформульовано комплекс факторів, що визначають якість двошарового покриття “Combismalt”. Сформульовано вимоги до реологічних властивостей розплавів ґрунтової та покрівної емалей, необхідні для уникнення явища динактивності при сумісному випалі двох шарів, вивчено можливість та механізм зміцнення ґрунтового бісквітного шару в присутності поліфосфатного розчинного скла.

З використанням сучасних методів дослідження встановлено механізм формування двошарових шлікерних покриттів одноразового випалу та їх зчеплення з маловуглецевою сталлю.

Результатом роботи є розробка технології двошарового емалювання з одноразовим випалом при 820-840 °С, складу ґрунтової фрити та ґрунтового шлікера, що сполучається за властивостями зі стандартною покрівною титановою емаллю.

Ключові слова: енергозбереження, двошарове емалювання, одноразовий випал, глиновміщуючий шлікер, газовиділення, реологічні властивості, “Combismalt”.

### **Резнікова В.В. Двухслойные стеклоэмалевые покрытия однократного обжига для шликерного нанесения на сталь. – Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 - технология тугоплавких неметаллических материалов. Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2002 г.

Диссертация посвящена разработке научных основ получения двухслойных стеклоэмалевых покрытий однократного обжига из шликеров без применения электрических полей высокого напряжения (“Combismalt”), которые отличаются высокими качественными показателями при низкой себестоимости за счет уменьшения расхода электроэнергии на эмалирование в результате исключения операции отдельного обжига ґрунтового слоя.

В работе сформулирован комплекс факторов, определяющих качество покрытий “Combismalt”, которые включают: характер процессов образования и диффузии газовой фазы в системе сталь - двухслойное покрытие из глиносодержащих шликеров в процессе нагрева, соотношение толщин ґрунтового и покровного бисквитных слоев, их механическую прочность и прочность сцепления двухслойного покрытия со сталью, - и определяются составом и свойствами стали, стеклофритт и шликеров.

Проведено комплексное исследование стеклообразования в псевдотройной системе  $(\text{SiO}_2 + \Sigma) - (\text{B}_2\text{O}_3 + \Sigma) - (\text{R}_2\text{O} + \Sigma)$ , где  $\Sigma = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CoO} + \text{NiO} + \text{CaF}_2$ . Установлена роль характера и расположения перегибов на кривых температурной зависимости потерь массы композиций исследуемых стекол с глиной в формировании двухслойного покрытия, и показано, что основным условием предотвращения дефектов, обусловленных газовой фазой, является обеспечение равномерного выделения газообразных продуктов в интервале однократного обжига двухслойного покрытия за счет максимального расширения температурной зоны этого процесса и уменьшения зоны одновременного протекания реакций газовой выделения из шликеров грунтовой и покровной эмалей.

Установлены критерии выбора составов грунтовой и покровной эмалей для технологии “Combismalt”, которые предусматривают большую легкоплавкость, узкий интервал плавкости, меньшие значения вязкости, плотности и более высокую смачивающую способность, растекаемость и поверхностное натяжение для грунта по сравнению с соответствующими значениями для покровной эмали. Выбрана стекломатрица для синтеза грунтовой эмали, сочетающейся по свойствам со стандартной покровной эмалью, для получения двухслойного покрытия “Combismalt”.

Показано, что наиболее эффективным способом предотвращения взаимопроникновения шликерных слоев при их последовательном нанесении является применение упрочняющих добавок в шликер. Установлен механизм упрочнения грунтового бисквитного слоя в присутствии полифосфатного растворимого стекла и оптимизированы реологические параметры эмалевых шликеров, значения толщины бисквитных грунтового и покровного слоев и температуры их совместного обжига для получения бездефектного покрытия с высокими механическими свойствами.

С использованием современных методов исследования установлен механизм формирования двухслойных шликерных покрытий однократного обжига и их сцепления с малоуглеродистой сталью, подтверждена более высокая интенсивность химического взаимодействия и протекания диффузионных процессов на границе металл – грунт при формировании покрытия “Combismalt” по сравнению с покрытием, получаемым по традиционной технологии раздельного обжига эмалевых слоев.

В результате работы разработана технология двухслойного эмалирования с однократным обжигом, состав грунта и грунтового шликера, который сочетается по свойствам со стандартной покровной титановой эмалью.

Опытно-промышленные испытания в условиях АОЗТ ТД “Эмальзавод” разработанного двухслойного покрытия, получаемого последовательным нанесением пульверизацией шликеров грунтовой и покровной эмалей с их последующим совместным обжигом при  $820 - 840$  °С, показали возможность эффективного использования разработанной технологии и двухслойного покрытия при эмалировании изделий из тонколистовой стали хозяйственно-бытового назначения. Ожидаемый экономический эффект от использования разработки составляет  $1,63$  грн /  $1 \text{ м}^2$  эмалируемой стали. Полученные результаты создают предпосылки для применения технологии “Combismalt” на эмалировочных предприятиях Украины и стран СНГ.

Ключевые слова: энергосбережение, двухслойное эмалирование, однократный обжиг, глиносодержащий шликер, газовойделение, реологические свойства, “Combismalt”.

**Reznikova V.V. Two coats / one firing coatings for wet application on steel. - Manuscript.**

Thesis for scientific degree of Technical sciences Candidate of the speciality 05.17.11 - technology of refractory non-metal materials, National Technical University "Kharkiv Polytechnical Institute", Kharkiv, 2002.

Thesis is devoted to development of scientific bases of reception two-layer glass-enamel coatings with one firing for wet application without using electrical fields of a high voltage ("Combismalt"), which differed by high quality at the low cost price at the expense of the charge electric energy reduction on the enamelling process as a result of the operation separate firing of the ground coat exception.

In the work the complex of the factors determining quality of coatings "Combismalt" is formulated. The requirements to the rheological properties of ground and cover enamel melts necessary for exception of the phenomena dynactivity at joint firing of two layers are formulated the opportunity and adherence of ground bisquite mechanism at presence polyphosphat soluble glass is investigated.

The mechanism of two-coats / one firing enamelling formation for wet application and their adherence with low-carbon steel is established with use of modern research methods.

As a result of work the technology two-layer enameling with unitary firing at 820-840 °C is developed, the ground enamel and the ground slip, with is combined on properties with standard cover enamel are received.

Keywords: energy-saving, "2 Coats / 1 Firing" enamelling technology, clay-contained slip, degassing, rheological properties, "Combismalt".

Відповідальний за випуск к.т.н., с.н.с. Шабанова Г.М.

Підп. до друку 14.05.2002 р. Формат видання 145x215  
Формат паперу 60x90/16. Папір Могра. Друк – ризографія.  
Обсяг 0,9 авт. арк. Наклад 100 прим. Зам. № 199

---

Видавничий центр НТУ “ХПІ”. Свідоцтво ДК № 116 від 10.07.2000 р.

Друкарня НТУ “ХПІ”, 61002, вул. Фрунзе, 21

---