

УДК 666.295.2

*М.І. Рищенко, Л.О. Білостоцька, Ю.Д. Трусова, Л.П. Шукіна, Л.В. Павлова***СКЛОКРИСТАЛІЧНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЛИЦЬОВОЇ КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ****Національний технічний університет НТУ «ХП», м. Харків**

В даній роботі досліджена можливість одержання полив'яної лицьової керамічної цегли за ресурсозберігаючою технологією з використанням одноразового випалу за максимальної температури 1030°C. Методом статистичного планування експерименту визначено оптимальний склад частково фритованого покриття на основі промислових відходів у вигляді гранульованого доменного шлаку. Знайдено спосіб регулювання кристалізаційної здатності покриття при взаємодії двох видів скловидної речовини: алюмоборосилікатної фрити і шлаку за рахунок різних показників в'язкості та поверхневого натягу розплавів. Наявність груп  $[AlO_4]$ ,  $[BO_4]$  і  $[BO_3]$  у алюмоборосилікатному склі визначає особливості перебігу ліквідаційних процесів та наступної кристалізації покриттів. Фазовий склад покриттів містить поряд із склофазою такі кристалічні фази, як діопсид та анортит. Розглянуто можливість одержання кольорових покриттів за механізмом ізоморфного заміщення при вбудовуванні катіонів полівалентних металів у решітку діопсиду. Лицьова керамічна цегла володіє високими показниками фізико-механічних і експлуатаційних властивостей: зносостійкість  $\leq 0,2$  г/см<sup>2</sup>; мікротвердість 6500–7500 МПа, термостійкість 200–225°C; водопоглинання 10%, морозостійкість 50 циклів.

**Ключові слова:** склокристалічні покриття, гранульований доменний шлак, одноразовий випал, кристалізаційна здатність, кольорова лицьова цегла.

**Вступ**

Полів'яна керамічна цегла є одним із сучасних матеріалів для житлового будівництва, оскільки є ідеальним рішенням для зовнішнього облицювання фасадів та оздоблення внутрішніх інтер'єрів. За її допомогою вибір способів оформлення фасадів багаторазово розширюється, з'являється можливість оформлення споруд у різних архітектурних стилях. Перевагою полив'яної керамічної цегли є: екологічність, декоративність, довговічність, вологостійкість, морозостійкість. Проте, значного поширення вона не отримала через підвищену вартість.

В даний час відомі різні технології одержання полив'яної цегли, в тому числі оригінальні з використанням плазмового факела. Перевагами такої технології є високоефективність і високопродуктивність. Основним недоліком методу є значний термоудар, який знижує міцність зчеплення полив'яного шару з основою за рахунок утворення мікротріщин черепка. Таким чином, задача розробки високоефективної ресурсо- та енергоощадної технології одержання

полів'яної цегли на сьогодні є актуальною.

Метою даного дослідження є розробка складів полив'яних покриттів для лицьової керамічної цегли за ресурсозберігаючою технологією.

**Експериментальна частина**

Полів'яні склокристалічні покриття можна віднести до композиційних матеріалів, в яких роль матриці виконує склофаза, що утворюється в результаті плавлення вихідної сировини. При цьому матриця повинна відповідати наступним вимогам: легкоплавкість, висока змочувальна здатність розплаву, знижена в'язкість розплаву в інтервалі температур 950–1050°C, недефіцитність та доступність вихідних компонентів. Такому покриттю має бути притаманна висока хімічна стійкість, морозостійкість, інтенсифікація кольору черепка за рахунок підвищеного блиску та прозорості [1–4].

Для виготовлення склокристалічного покриття як вихідна сировина були використані вітчизняні природні [5] та техногенні матеріали: каолін просянівський сухого збагачення, лужний каолін Майдан-Вільського родовища, сієніт

Старокримського родовища, доменний шлак гранульований, алюмоборосилікатна фрита. Хімічний склад сировинних матеріалів наведений у табл. 1.

В низці використаних сировинних матеріалів флюсуючими компонентами різного ступеня плавкості слугували доменний шлак і алюмоборосилікатна фрита, яким відводиться важливе значення у формуванні структури покриттів. На рис. 1 надано фрагменти діаграм стану базових систем  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  та  $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$ , в яких розташовані точки хімічних складів алюмоборосилікатної фрити та гранульованого шлаку.

Аналіз діаграм дозволив визначити можливі фази, що мають кристалізуватися в результаті термооброблення алюмоборосилікатної фрити і гранульованого шлаку (табл. 2).

У роботі [6] відзначено, що алюмоборосилікатна фрита відрізняється малокопонтністю, стабільністю властивостей і прогнозованою структурою після термооброблення. Точка складу фрити межує з областями існування двох незмішуваних рідин в обох системах, що створює умови для тонкої кристалізації розплаву з утворенням склокристалічного покриття з найбільш імовірним утворенням діопсидової фази.

Доменний гранульований шлак з високою кількістю  $\text{CaO}$  сприятиме утворенню силікатів кальцію і магнію, алюмосилікату кальцію і діопсиду або його твердого розчину, що забезпечуватимуть високі показники фізико-механічних та експлуатаційних властивостей покриттів. В табл. 3 і 4 наведені шихтовий і хімічний склад полив.

Таблица 1

Хімічний склад сировинних матеріалів

Сировина	Вміст оксидів, мас.%										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	в.п.п
Лужний каолін майдан-вільський	68,43	17,52	0,80	1,00	1,00	0,89	6,71	–	0,80	–	2,85
Сієніт старокримський	68,8	15,10	–	2,33	1,77	3,76	4,40	–	3,00	–	0,84
Каолін просянівський	45,28	37,56	–	1,68	0,35	1,02	–	–	0,59	–	13,52
Алюмоборосилікатна фрита	48,00	2,00	–	12,00	10,00	1,50	4,00	22,5	–	–	–
Доменний шлак гранульований	40,33	7,24	1,24	44,47	5,68	–	–	–	–	1,04	–

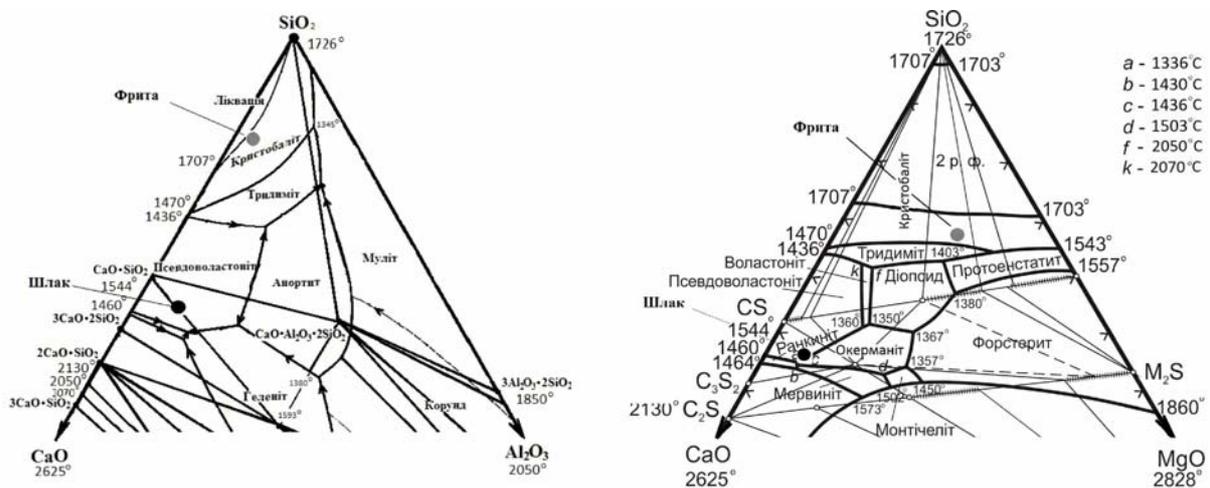


Рис. 1. Розташування точок хімічного складу фрити і шлаку на фазових діаграмах

Таблица 2

Прогнозований фазовий склад продуктів кристалізації розплавів фрити і шлаку

Матеріал	$\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	$\text{CaO}-\text{MgO}-\text{SiO}_2$
Гранульований шлак	$\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (CS), $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ ( $\text{CAS}_2$ ), $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ ( $\text{C}_2\text{AS}$ ), $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$ ( $\text{C}_3\text{S}_2$ )	$\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (CS), $2\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$ ( $\text{C}_2\text{MS}_2$ ), $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$ ( $\text{C}_3\text{S}_2$ )
Алюмоборосилікатна фрита	$\text{SiO}_2$ (S), $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ ( $\text{CAS}_2$ ), $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (CS)	$\text{SiO}_2$ (S), $\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2$ ( $\text{CMS}_2$ ), тв. розчин $\text{CMS}_2$ і $\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$ (MS)

Таблиця 3

## Шихтовий склад експериментальних полив

Назва сировини	Шифр поливи, вміст, мас.%						
	A	B	C	D	E	F	H
Каолін просянівський	20,0	16,25	12,5	15,0	12,5	16,25	12,5
Каолін лужний	5,0	6,25	5,0	10,0	6,25	10,0	5,0
Старокримський сієніт	27,5	30,0	35,0	25,0	30,0	22,5	27,5
Доменний шлак	20,0	25,0	30,0	30,0	35,0	25,0	35,0
Алюмоборосилікатна фрита	27,5	22,5	17,5	20,0	16,25	26,25	20,0

Таблиця 4

## Хімічний склад експериментальних полив

Шифр поливи	Вміст оксидів в мас.%									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO
A	56,19	15,05	0,36	12,20	4,33	2,79	2,65	5,11	1,06	0,26
B	56,27	15,80	0,29	9,97	4,50	3,05	2,66	6,24	1,00	0,21
C	56,08	14,22	0,41	14,45	4,18	2,61	2,59	3,97	1,18	0,31
D	55,35	14,72	0,45	14,32	4,31	2,47	2,59	4,54	0,93	0,31
E	54,82	14,02	0,49	16,57	4,26	2,36	2,40	3,69	1,04	0,36
F	55,69	14,65	0,39	12,06	4,61	2,78	2,73	5,96	0,87	0,26
H	54,27	13,48	0,48	16,50	4,58	2,49	2,36	4,54	0,95	0,36

Поливу готували сумісним мокрим помелом всіх компонентів в кульовому фарфоровому млині при співвідношенні завантажених матеріалів: сировина : молотні тіла 1:3. Помел проводили при вологості шлікеру 32% до залишку на ситі № 0063 не більше 0,15% впродовж 18 год. Готовий шлікер наносили на висушені зразки поверхньої цегли методом пульверизації на поверхню одного ложка і тичка та випалювали в лабораторній печі однократним випалом за максимальної температури 1030°C.

При розробленні покриттів розглядалася можливість регулювання властивостей розплавів полив за рахунок композиції шлаку і фрити. Для встановлення ролі кожного з цих компонентів в широкому інтервалі їх кількісних варіацій (10–50%) було здійснено симплекс-решітчатє планування експерименту з визначенням термостійкості та мікротвердості одержаних покриттів. За результатами статистичної обробки даних такого експерименту одержані поліноми у вигляді спеціальних кубічних моделей, що адекватно описують залежності термостійкості і твердості полив від їх шихтового складу, зокрема, вмісту фрити і шлаку. Адекватність поліномів перевіряли в контрольній точці за розрахунковими значеннями t-критерію Стьюдента при довірчій імовірності 0,95.

Враховуючи необхідні вимоги енерго- та ресурсозбереження, було обрано оптимальну

область вмісту компонентів, яка становить для алюмоборосилікатної фрити 15–25%, для гранульованого доменного шлаку – 20–35%. З використанням цих компонентів процес утворення розплаву в покритті інтенсифікується, та створюються умови для прискореної взаємодії компонентів шихти між собою.

Наявність у складі шихти сировинних матеріалів, що вносять до 50% скловидної речовини з високим вмістом модифікаторів, впливає на формування структури покриттів. Прогнозування структури здійснювали за коефіцієнтами зв'язаності силіцієкисневого каркасу ( $f_{Si}$ ) і кристалічності ( $K_{кр}$ ), які розраховані за методами, запропонованими Аппена А.А. і Трусовою Ю.Д. відповідно [6] і наведені в табл. 5.

Однією з основних труднощів одержання якісних покриттів при їх нанесенні на сирець є інтенсивне газовиділення [7], тому до покриттів встановлювались особливі вимоги щодо в'язкості ( $10^3$ – $10^{3,5}$  Па·с) і поверхневого натягу (315–340 мН/м) розплавів, які мають сприяти швидкому протіканню кристалізаційних процесів при формуванні бездефектної поверхні. В табл. 5 наведені дані щодо цих властивостей розплавів (температура 1030°C), розраховані за методом, запропонованим Голеусом В.І. [8]. Там же наведені розрахункові значення температурного коефіцієнта лінійного розширення покриттів, отримані за цим же методом.

Як видно з даних табл. 5, значення коефіцієнта  $f_{Si}$  для фрити і шлаку близькі один до одного і свідчать про утворення склофази з низьким ступенем полімеризації силіцієкисневих тетраєдрів і схильність таких розплавів до кристалізації. На те саме вказують значення  $K_{кр}$  як для фрити і шлаку, так і для усіх полив, при цьому збільшення вмісту шлаку сприяє процесу кристалізації покриттів. Значна різниця в показниках в'язкості і поверхневого натягу розплавів фрити і шлаку вказує на можливість регулювання властивостей скломатриці шляхом їх взаємозаміни. Значення в'язкості і поверхневого натягу полив'яних розплавів за температури випалу 1030°C знаходяться на заданому рівні, а температурний коефіцієнт лінійного розширення покриттів узгоджується з керамічною основою ( $\alpha \approx 6,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ) і дозволяє прогнозувати підвищену термостійкість системи «кераміка–покриття».

Ідентифікацію кристалічних фаз в склокристалічних покриттях після термообробки (1030°C) проводили за допомогою рентгенофазового аналізу, який показав присутність в склокристалічних композиціях склофази, кількість якої зменшується із збільшенням в хімічному складі оксидів кальцію. В поливах присутні кристалічні фази діопсиду, анортиту (рис. 2), що забезпечують високі показники термічної стійкості (200–225°C) та мікротвердості (6700–7500 МПа) покриттів.

Склад нефритованої композиції змінювався введенням промислових відходів відпрацьованих каталізаторів: ГАП-16 – нікельвмісний, СА-С та СТК-1 – ферумвмісні, ГАП-10 – цинковмісний, АМК – кобальтовмісний. Попередніми дослідженнями [6] було встановлено, що найбільш активне забарвлення здійснюється при введенні в композицію відходів каталізаторів у кількості 10–15%. Найвність у хімічному складі

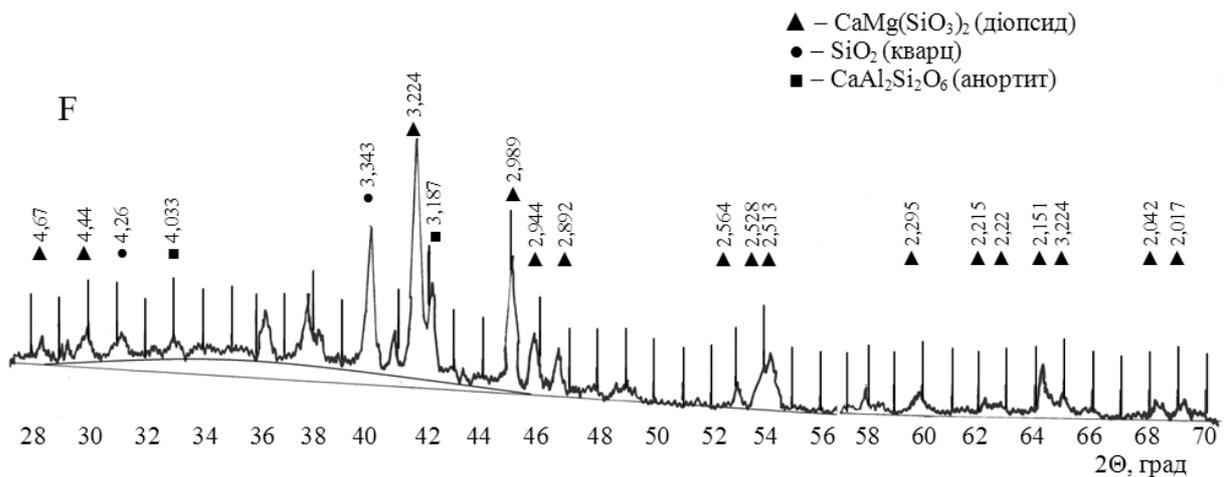


Рис. 2. Рентгенограма склокристалічного покриття F

Таблиця 5

## Розрахункові властивості поливи та її розплаву

Шифр поливи	Показники властивостей				
	Логарифм в'язкості (Па·с), $\lg \eta$	Поверхневий натяг $\sigma$ , мН/м	Ступінь зв'язаності силіцієкисневого каркасу $f_{Si}$	Коефіцієнт кристалічності $K_{кр}$	Температурний коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$
Фрита	2,05	291,9	0,253	2,26	5,93
Шлак	1,10	419,6	0,264	15,24	9,17
A	3,26	321,2	0,316	9,32	6,47
B	3,38	313,6	0,312	8,13	6,25
C	3,12	328,9	0,319	10,89	6,70
D	3,13	328,3	0,314	9,90	6,65
E	2,98	336,0	0,315	11,08	6,86
F	3,20	319,1	0,312	8,22	6,49
H	2,91	334,3	0,311	9,55	6,91

оксидів полівалентних металів надає покриттям різних кольорових відтінків за рахунок формування хромофорних фаз за відсутності спеціальних керамічних пігментів.

Встановлений механізм забарвлення склокристалічного покриття, який відбувається за ізоморфним типом. Петрографічними та електронно-мікроскопічними дослідженнями показано, що в зразках формується композиційно-ситалова структура, яка утворена крипстокристалічною фазою (до 70%), армованою кристалічними новоутвореннями розміром до 10 мкм.

#### Обговорення результатів

В розплавах поливних покриттів присутні асоціації як іонів-склоутворювачів, так і іонів-модифікаторів, що створюють поліедри, які формують лінійні ланцюжки, сітки, фрагменти каркасної структури. Будову зародкових груп прийнято оцінювати за коефіцієнтом  $f_{Si} = [Si]/[O]$ . За значенням цього співвідношення можна передбачити наявність кристалоутворюючих силіцієкисневих груп, які змінюються внаслідок охолодження розплаву. Окрім того, в метасилікатному розплаві можуть утворюватися зародкові сукупності аніонних склоутворювачів з катіонами модифікаторів, що організуються у нерівноважну систему та визначають особливості протікання ліквідаційних процесів і наступної кристалізації матеріалу [9]. Для шлаку і алюмоборосилікатної фрити показники зв'язності структури  $f_{Si}$  практично близькі та складають 0,264 і 0,253 відповідно. В експериментальних покриттях цей показник дещо більший (на рівні 0,3), але все одно вказує на структурну несталість розплаву. Це обумовлює швидку кристалізацію покриттів, основними фазами яких є діопсид та анортит.

Наявність у фазовому складі діопсиду сприяє формуванню твердих розчинів з оксидами полівалентних металів  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $CuO$ ,  $Cr_2O_3$ , а також  $ZnO$ , які вводилися до складу покриттів відходами відпрацьованих каталізаторів (10–15%). Особливість структури діопсиду полягає у поєднанні один з одним тетраєдрів

$[SiO_4]$ , що пов'язані двовалентними катіонами  $Ca^{2+}$  та  $Mg^{2+}$ . Така структура діопсиду дозволяє припустити можливість ізоморфного заміщення, в якому можуть брати участь  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  і реалізувати одержання хромофорної фази різного кольору. В якості вихідної сировини можна використовувати дешеві матеріали, в тому числі, техногенні відходи з різними забарвлюючими агентами. В присутності алюмоборосилікатної фрити з більшою вірогідністю утворюються тверді розчини на основі діопсиду, в яких можуть одночасно знаходитись різновалентні оксиди металів, що зумовлюють інтенсивну забарвленість. Цей факт пояснюється тим, що розплав, який утворюється скломатрицею, містить групи  $[AlO_4]$ ,  $[BO_4]$ ,  $[BO_3]$ , які стимулюють ліквідаційні процеси. Кристалічні фази, які формують забарвлення покриттів синтезуються згідно з обраними оксидними композиціями.

При вивченні кольорових характеристик покриттів було виконане візуальне оцінювання кольору, оцінювання кольору за міжнародною системою RAL (з використанням стандартних еталонів кольору), а також визначені основні кольорові характеристики: координати кольору та забарвленості, тону кольору, чистоти та яскравості кольору. Показники оптико-кольорових характеристик покриттів, одержаних за температури 1030°C, надані в табл. 6.

При аналізі кольору склокристалічних покриттів встановлено, що оксиди феруму забарвлюють покриття у жовто-брунатні кольори. Так, наявність гірчичного відтінку забезпечується присутністю оксидів феруму в концентрації до 10%. При збільшенні концентрації оксидів феруму до 30% колір покриття змінюється до шоколадно-брунатного. Присутність оксиду хрому в ферумвмісних покриттях сприяє одержанню покриттів темного тону, близького до чорного, що зумовлено зміщенням рівноваги  $Fe^{2+} \leftrightarrow Fe^{3+}$  у бік збільшення частки іонів тривалентного феруму.

Петрографічними дослідженнями встанов-

Таблиця 6

Оптико-кольорові характеристики покриттів, що містять оксиди полівалентних металів

Характеристика покриттів	Показники властивостей					
	Хромофорний агент					
	$Zn^{2+}$	$Co^{2+}$	$Cr^{3+}$	$Fe^{2+}$	$Fe^{2+} + Fe^{3+}$	$Fe^{2+} + Cr^{3+}$
Візуальне оцінювання кольору	Білий	Блакитний	Зелений	Бежевий	Гірчичний	Брунатний
Колір за системою RAL	9016	5024	6011	6013	8003	8017
Домінуюча довжина хвилі, нм	255	468	502	580	585	614
Насиченість кольору, %	-	1	15	12	20	1
Яскравість кольору L, %	85	31	47	30	29	13

лено, що в зразках покриттів формується композиційна структура, яка утворюється крипнокристалічною фазою ( до 70%). Покриття мають тонкокристалічну структуру з розміром часток 2–20 мкм, гарний розлив та рівну оплавлену поверхню. Наявність композиційної структури покриття забезпечує високі експлуатаційні властивості виробів: зносостійкість 0,17–0,20 г/см<sup>2</sup>; мікротвердість 6500–7500 МПа; термостійкість 200–225°C; водопоглинання 10%, морозостійкість >50 циклів. Кольорові показники покриттів: білий колір – домінуюча довжина хвилі – 255 нм; зелений – 502 нм; блакитний – 468 нм; бурнатний – 614 нм.

Вказані показники свідчать про можливість використання розроблених складів в технології полив'яної яскраво забарвленої лицьової керамічної цегли у відповідності до вимог, які ставляться до сучасних будівельних матеріалів [10].

#### **Висновки**

Показано можливість одержання керамічної лицьової цегли зі склокристалічними покриттями одноразовим випалом за температури 1030°C. Встановлена оптимальна область концентрації структуроутворюючих компонентів: алюмоборосилікатна фрита 15–25% і промислові відходи у вигляді гранульованого доменного шлаку в кількості 20–35%. Запропоновано спосіб регулювання кристалізаційної здатності розплавів і властивостей скломатриці взаємозаміною двох видів скловидних речовин (шлаку і фрити). Розроблені покриття надають виробам високих експлуатаційних та естетико-споживчих властивостей. Показано, що забарвлення діопсидвмісних покриттів відбувається шляхом ізоморфного заміщення, в якому беруть участь ZnO та оксиди полівалентних металів Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, CuO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. На базі розроблених покриттів можна одержувати вироби широкої кольорової гами за ресурсозберігаючою технологією з використанням відходів металургійної і хімічної промисловості.

#### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Яцишин Й.М. Технологія скла у трьох частинах : Фізика і хімія скла Частина I: підручник – Львів: Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2011. – 188 с.
2. Нагроцкене Д.И. Долговечность керамической облицовки по морозостойкости // Стекло и керамика, 2003. – № 4. – С.25-28.
3. Производство строительной керамики / Салахов А.М., Ремизникова В.И., Спирина О.В., Мочалов А.Ю. – Казань: Центр инновационных технологий, 2003. – 292 с.
4. Харьбина Ю.В., Пятак О.Я., Пятак И.В. Разработка составов декоративных покрытий для лицевых керамических изделий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 6. – С.56-58.
5. Possibility of obtaining ceramogranite using quartzfeldspar material from Ukraine / Ryshchenko M., Shchukina L., Fedorenko E., Firsov K. // Glass and Ceramics. – 2008. – Vol.65. – No. 1-2. – P.23-26.
6. Стеклокристаллические покрытия по керамике / Лисачук Г. В., Рыщенко М.И., Белостоцкая Л.А. и др. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – 479 с.
7. Мананков А.В., Владимиров В.М., Страхов Б.С. Механизм структурной организации и модель неравновесной кристаллизации стекол // Стекло и керамика. – 2015. – № 1. – С.9-13.
8. Голес В.І. Основи хімічних технологій скла, скло-виробів та склопокриттів. – Дніпропетровськ: Літограф. 2016. – 192 с.
9. Effect of modified glass matrices on the strengthening of glass crystalline coatings / Lisachuk G., Krivobok R., Bilostotska L., Trusova Y., Pavlova L., Podchasova K. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – No. 4/6 (82). – С.44-48.
10. Худяков В.А., Прошин А.П., Кислицина С.Н. Современные композиционные строительные материалы. – М.: Ассоциации строительных вузов. 2007. – 220 с.

Надійшла до редакції 15.06.2017

## GLASS-CRYSTAL COATINGS FOR CERAMIC FACE BRICKS

M.I. Ryshchenko, L.A. Belostotskaya, Yu.D. Trusova,  
L.P. Shchukina, L.V. Pavlova

National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute»,  
Kharkov, Ukraine

The paper characterizes the manufacture of glazed brick by resource-saving technology using a one-shot firing at a maximum temperature of 1030°C. The composition of partially fritted coatings based on industrial waste in the form of granulated blast furnace slag has been optimized by means of the simplex-lattice plan method. A way was found which allows controlling the crystallization ability of a coating during the interaction of the following two types of glass substances: alumoborosilicate frit and slag; this way is grounded on different viscosity and surface tension of melts. The presence of  $[AlO_4]$ ,  $[BO_4]$  and  $[BO_3]$  groups in alumoborosilicate glass determines the features of the passage of liquation processes and the subsequent crystallization of coatings. The phase composition of coatings shows, along with the glass phase, other crystalline phases such as diopside and anorthite. The production of coatings for the color face bricks by the mechanism of isomorphous substitution is considered in terms of the incorporation of the cations of polyvalence metals into the diopside lattice. The face ceramic brick is characterized by high physical-mechanical and operational properties as follows: the wear resistance is less than 0.2 g cm<sup>-2</sup>, the heat resistance of 200–225°C, the microhardness of 6500–7500 MPa; the water absorption of 10%, and the frost resistance of about 50 cycles.

**Keywords:** glass crystalline coatings; granulated blast furnace slag; single firing; crystallization ability; color face bricks.

## REFERENCES

1. Yashhishin J.M., *Tekhnologiya skla u tr'okh chastinakh: Fizyka i khimija skla. Chastyna I.* [The technology of glass in three parts. Part 1: Physics and chemistry of glass]. Publishing House of the National University «Lviv Polytechnic», L'viv, 2011. 188 p. (in Ukrainian).
2. Nagrotskene D.I. Dolgovechnost' keramicheskoi oblitsovki po morozostoikosti [Durability of ceramic facing in terms of frost resistance]. *Steklo i Keramika*, 2003, vol. 4, pp. 25-28. (in Russian).
3. Salakhov A.M., Remiznikova V.I., Spirina O.V., Mochalov A.Yu., *Proizvodstvo stroitel'noi keramiki* [Manufacture of building ceramics]. Center for Innovative Technologies Publishers, Kazan, 2003. 292 p. (in Russian).
4. Kharybina Yu.V., Pitak O.Ya., Pitak I.V. Razrabotka sostavov dekorativnykh pokrytii dl'ya litsevykh keramicheskikh izdelii [Development of decorative coating compositions for facial ceramic products]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2013, vol. 6, pp. 56-58. (in Russian).
5. Ryshchenko M., Shchukina L., Fedorenko E., Firsov K. Possibility of obtaining ceramogranite using quartz-feldspar material from Ukraine. *Glass and Ceramics*, 2008, vol. 65, no. 1-2, pp. 23-26.
6. Lisachuk G.V., Ryshhenko M.I., Belostotskaya L.A., Trusova Yu.D., Fedorenko E.Yu., Shchukina L.P., *Steklokristallicheskije pokrytiya po keramike* [Glass-crystal coatings on ceramics]. NTU KhPI Publishers, Kharkiv, 2008. 479 p. (in Russian).
7. Manankov A.V., Vladimirov V.M., Strakhov B.S. Mekhanizm strukturnoi organizatsii i model' neravnovesnoi kristallizatsii stekol [The mechanism of structural organization and the model of nonequilibrium crystallization of glasses]. *Steklo i Keramika*, 2015, vol. 1, pp. 9-13. (in Russian).
8. Goleus V.I., *Osnovy khimichnykh tekhnologii skla, sklovyrobiv ta sklopokryttiv* [Fundamentals of chemical technologies of glass, glassware and glass-coatings]. Litograf Publishers, Dnipro, 2016. 192 p. (in Ukrainian).
9. Lisachuk G., Krivobok R., Bilostotska L., Trusova Y., Pavlova L., Podchasova K. Effect of modified glass matrices on the strengthening of glass crystalline coatings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, vol. 4/6 (82), pp. 44-48.
10. Khudyakov V.A., Proshin A.P., Kislitsina S.N., *Sovremennye kompozitsionnye stroitel'nye materialy* [Modern composite building materials]. Associations of Universities of Construction Publishers, Moscow, 2007. 220 p. (in Russian).