

*О.В. САВВОВА, Я. О. ПОКРОЄВА***ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ В'ЯЗКОСТІ ФРИТ НА ПЛАВКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЛАЗУРЕЙ ДЛЯ КЕРАМІЧНОЇ ПЛИТКИ ОДНОРАЗОВОГО ВИПАЛУ**

Проаналізована необхідність розширення асортименту керамічної плитки та керамограніту шляхом модифікації структури та текстури склопокриттів зі спеціальними властивостями за технологією одноразового випалу з урахуванням аспектів ресурсо-та енергозбереження та екологічності оздоблювальних матеріалів широкого вжитку. Визначено необхідність створення нових видів керамічної плитки та керамограніту на вітчизняному виробництві з урахуванням потреб паливно-енергетичного комплексу та вітчизняної сировинної бази в умовах надзвичайних ситуацій. Сформульовано мету та завдання роботи, які визначають необхідність дослідження плавкісних характеристик глазурей та їх в'язкості для керамічної плитки одноразового випалу. Проаналізовано особливості складів фрит та встановлено вимоги до властивостей поверхні для забезпечення бездефектного глазурного покриття для одностадійного випалу керамічної плитки. Розроблено висококальцієві цинкалосилікатні фрити з коротким інтервалом формування склокристалічного покриття при одинарному випалі з різною текстурою на ПрАТ «ХПЗ». Проаналізовано зміну особливості зміни в'язкості та плавкості фрит при формуванні склокристалічних покриттів в залежності від хімічного складу та фазових перетворень при термічній обробці. Визначено, що забезпечення кристалізаційної в'язкості $\eta = 10^{8,1-8,5}$ Па·с в області температур зародкоутворення 1050–1150 °С для дослідних фрит свідчить про інтенсивне формування та ріст кристалічних фаз, що є визначальним для забезпечення їх плавкості у області температур 1100–1200 °С. Встановлено, що швидке наростання в'язкості фрит визначає стрімку зміну характеристичних кривих плавкості у вузькому інтервалі температур при забезпеченні послідовних стадій розм'якшення, формування сфери, напівсфери та плавлення, що є показником можливості застосування розроблених фрит за технологією одинарного випалу. Застосування розроблених фрит за технологією одинарного випалу дозволить суттєво підвищити конкурентоздатність вітчизняної керамічної плитки та сприяти стабілізації ринку в умовах сталого розвитку держави.

Ключові слова: глазурі, керамічна плитка, одинарний випал, в'язкість, плавкість, модифікація структури

*O. V. SAVVOVA, Y. O. POKROIEVA***STUDY OF THE INFLUENCE OF FRIT VISCOSITY ON THE MELTING CHARACTERISTICS OF GLAZES FOR SINGLE-FIRED CERAMIC TILES**

The need to expand the assortment of ceramic tiles and ceramic granite by modifying the structure and texture of glass coatings with special properties using the technology of one-time firing, taking into account the aspects of resource and energy saving and environmental friendliness of widely used finishing materials, is analyzed. The need to create new types of ceramic tiles and ceramic granite in domestic production, taking into account the needs of the fuel and energy complex and the domestic raw material base in the event of emergency situations, has been determined. The purpose and tasks of the work are formulated, which determine the need to study the fusible characteristics of glazes and their viscosity for ceramic tiles for one-time firing. The peculiarities of frit compositions are analyzed and the requirements for surface properties are established to ensure a defect-free glaze coating for one-stage firing of ceramic tiles. High-calcium zinc aluminum silicate frits with a short interval of formation of a vitreous coating during single firing with different textures on PJSC «Kharkiv Tile Plant». The change in the characteristics of the change in viscosity and melting point of frit during the formation of glass-crystalline coatings, depending on the chemical composition and phase transformations during heat treatment, was analyzed. It was determined that ensuring crystallization viscosity $\eta = 10^{8,1-8,5}$ Pa·s in the area of nucleation temperatures 1050-1150 °C for experimental frits indicates intensive formation and growth of crystalline phases and is decisive for ensuring their melting in the range of temperatures 1100 -1200 °C. It was established that the rapid increase in the viscosity of frit determines the rapid change in the characteristic melting curves in a narrow temperature range when ensuring successive stages of softening, forming a sphere, a hemisphere and melting is an indicator of the possibility of using the developed frits by single firing technology. The use of developed frits in single firing technology will significantly increase the competitiveness of domestic ceramic tiles and contribute to the stabilization of the market in the conditions of sustainable development of the country.

Key words: glazes, ceramic tiles, single firing, viscosity, melting point, structural modifications

Вступ

Постійне збільшення світових потужностей виробництва керамічної плитки та керамограніту та створення конкурентного середовища спонукають як виробників, так і дослідників до розробки інноваційних технологій виробництва, зниження витрат та надання нових функціональних властивостей існуючій кераміці із застосуванням наноструктурованих поліфункціональних матеріалів (оксидів титану, цинку, церію тощо) [1, 2].

Значна увага приділяється розширенню асортименту керамічної плитки та керамограніту шляхом модифікації структури та текстури склопокриттів для надання їм самоочисної здатності та бактерицидних властивостей [3, 4] з

урахуванням екологічності потокового виробництва та доступної вартості оздоблювальних матеріалів широкого вжитку.

Разом з цим провідними світовими виробниками керамічної плитки для внутрішнього облицювання стін широко застосовується технологія одноразового випалу, яка має особливості стосовно складів глазурей та технологічних параметрів їх одержання та термічної обробки монопорози [5]. Монопороза (monoporosa) – це окремий вид керамічної плитки одинарного випалу. За технологією, тіло керамічної плитки та нанесеної глазури піддається пресуванню та подальшому одинарному випалюванню.

Технологія одинарного (одноразового) випалу ефективно впроваджена при виробництві керамічної плитки відомих світових виробників, таких як Marazzi Group зважаючи на суттєві технологічні переваги. Метою цієї технології було отримання конкурентоздатних керамічних виробів, перевагою яких було б зниження їх вартості внаслідок одного випалу як черепка, так і глазури при збереженні експлуатаційних характеристик, які висуваються до сучасної облицювальної плитки: низька вага, мала товщина, розміри сторін (калібру) та площинність, а також високі естетичні характеристики.

У порівнянні з традиційною технологією подвійного випалу застосування цієї технології дозволяє зменшити витрати паливно-енергетичних ресурсів на одиницю виробу (близько 30 %), скоротити загальний час випалу виробів, ефективніше використовувати виробничі платформи в технологічному циклі та збільшити виробництво за допомогою наявних виробничих ресурсів. Із застосуванням технології подвійного випалу глазур наноситься на попередньо обпалену керамічну плитку, а глазурне покриття формується в основному під час наступного випалу. У процесі одноразового випалу весь процес виробництва плитки здійснюється в одному циклі термічної обробки з процесами виділення газу та фазоутворення в керамічній основі, що протікають паралельно з процесами утворення глазури [6].

На даний час в Україні на ПрАТ «ХПЗ» впроваджено технологію одноразового випалу та розроблено глазурі та керамічні маси на основі вітчизняної сировини Майдан-Вільського родовища. Краща у світі вогнетривка глина і польовий шпат власного видобутку дозволяють забезпечити підприємство високоякісною сировиною та контролювати якість продукту на усіх етапах виробництва кераміки. Випуск нових видів керамічної плитки та керамограніту на вітчизняному виробництві пов'язані з вирішенням проблем паливно-енергетичного комплексу та вітчизняної сировинної бази в умовах ведення бойових дій: порушення логістики, нестачею кваліфікованих кадрів, нестабільністю попиту на ринку та загрозами, які виникають у разі надзвичайних ситуацій (вибухів, пожерів, повені тощо).

З метою забезпечення сталого розвитку економіки країни в умовах кризових ситуацій для ПрАТ «ХПЗ» характерним є стимулювання євроінтеграційних процесів. На сьогодні в усій структурі продажів плиткового заводу експорт складає приблизно 45 %, що забезпечується впровадженням інвестицій щодо інноваційної діяльності з наявністю дослідної лабораторії якості продукції відповідно до європейських стандартів [7].

Якість продукції підприємства відповідає стандартам ISO 9001:2009 та ISO EN 14411:2012. Лабораторія заводу – єдина в Україні серед

промислових підприємств акредитована за системою менеджменту якості І7025.

На сьогодні на ПрАТ «ХПЗ» розроблено захисне прозоре протекторне склокристалічне покриття для керамограніту та склопокриття з шовковою та глянцевою фактурою для керамічної плитки з високими декоративними та захисними властивостями [8, 9].

При переході від двостадійного до одностадійного випалу керамічної плитки однією з головних технологічних проблем є вихід газів (CO_2) з кальциту та/або доломіту при 750–950 °С (зона «визрівання» традиційної глазури). Для одноразового випалу важливим є пошук глазурей з високою температурою плавлення, що пов'язано саме з необхідністю введення карбонатних мінералів до складу маси.

Керамічна маса може складатися з типових карбонатних глин або білих глин, змішаних з кальцитом, кварцом та польовошпатними матеріалами. Температура випалу зазвичай коливається від 1090 °С до 1130 °С, тоді як цикл випалу становить від 30 до 60 хвилин, залежно від формату та товщини плитки.

Необхідність підвищення температури розплаву глазури до 1100 °С для забезпечення безперешкодного виходу газів зі складу маси привела до пошуку нових високотемпературних флюсуючих сполук (евтектичних розплавів).

Введення CaO , MgO , ZnO та K_2O як активних елементів для досягнення високотемпературного «евтектичного розплаву» дозволило скоротити кількість таких оксидів, як V_2O_5 й Na_2O . Отже, задля забезпечення швидкої «евтектичної» плавки необхідно було збільшити вміст лужноземельних оксидів та зменшити процентний вміст флюсуючих оксидів, таких як лути та борний ангідрид. При виборі фрит для одноразового випалу необхідно отримати так звані «швидкі» фрити, які б плавилася при високій температурі дуже швидко

За даними компанії Sacmi (Società Anonima Cooperativa Meccanici Imola) [10] щоб пояснити таку поведінку, необхідно проаналізувати графіки плавлення фрит «А» та «В», які застосовуються при традиційному дворазовому та пористому одноразовому випалюванні (режим 2) відповідно.

На рис. 1 наведено плавкість фрит «А» та «В», які використовуються відповідно за режимом 1 та режимом 2, які суттєво відрізняються за складом (табл.1)

Зразок «А» – це глазур для стандартного дворазового випалу, яка розм'якшується на 60–70 °С раніше, порівняно із зразком «В». Зразок «А» абсолютно непридатний для одноразового випалу, оскільки для нього простежується тенденція до запікання поверхневого шару до виходу газів із маси.

Крім точки розм'якшення важливими характеристиками визначення поведінки монопорози під час випалу є поверхневий натяг глазури. Низький поверхневий натяг полегшує вихід газових бульбашок з глазури під час випалу. Оксиди

алюмінію та магнію збільшують поверхневий натяг скла, оксиди калію, натрію, бору його знижують.

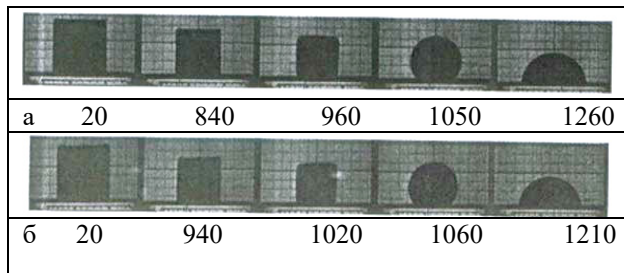


Рисунок 1 – Графіки плавкості відомих фрит: а – фрита А; б – фрита Б

Таблиця 1 Хімічний склад

Оксиди	Хімічний склад фрит, мас. %	
	А	В
SiO ₂	55/56	53/55
Al ₂ O ₃	7/8	8/9
B ₂ O ₃	12/13	8/9
CaO	2/3	7/9
MgO	0,5/1,5	2/4
ZnO	1/2	9/10
ZrO ₂	8/9	5/6
Na ₂ O	6,5/7,5	-
K ₂ O	2/3	3/5

Особливістю властивостей фрити «Б» є висока температура плавлення, вузький інтервал плавлення та низький поверхневий натяг, що дозволяє її застосовувати для одноразового випалу керамічної плитки.

Реалізація технології одноразового випалу керамічної плитки на вітчизняних підприємствах потребує розробки нових типів глазурей, які дозволять забезпечити узгодженість кераміки з глазур'ю для формування бездефектного склопокриття з урахуванням плавкісних характеристик глазури, що і визначило актуальність даної роботи.

Мета роботи. Метою даної роботи є дослідження плавкісних характеристик глазурей для керамічної плитки за одноразовим випалом.

Для досягнення означеної мети були поставлені наступні завдання:

- визначення вимог до глазурей в технології монопорози;
- обґрунтування вибору складів глазурей для монопорози;
- дослідження зміни в'язкості та плавкості глазурей при термічній обробці в залежності від хімічного та фазового складу.

Фрити були синтезовані в однакових умовах на ПрАТ «ХПЗ» при температурі 1733–1743 К в корундових тиглях в електричній печі з нагрівачами з поступовим охолодженням впродовж 12 годин. Структура фрит після варки є аморфною.

Плавкість фрит визначали з використанням високотемпературного мікроскопа EM301. Виконання

вимірювань здійснювали відповідно до DIN 51730, ISO 540, CEN/TS 15370 and CEN/TR 15404 [11]. В'язкість дослідних фрит вивчали за методом подовження нитки.

Результати експерименту та їх обговорення.

Формування якісного глазурного покриття визначається його узгодженістю за властивостями з керамічною основою. Узгодженість глазури до керамічної підкладки визначається наступними вимогам до властивостей поверхні: повне розтікання на поверхні кераміки, формування рівної, дзеркальної склоподібної поверхні без тріщин (цеку) або відколів та інших вад, за винятком тих випадків, коли метою є отримання спеціальних матових покриттів.

Отримання рівного й гладкого глазурного покриття визначається процесом розтікання його на керамічній поверхні. Процес розтікання глазури в основному залежить від її фізичних властивостей: плавкості, в'язкості, поверхневого натягу та змочувальної здатності.

Під плавкістю розуміють властивість глазури переходити при нагріванні з твердого стану в рідинний. Чим вище плавкість, тим більше температура розтікання. Щоб отримати якісну поверхню глазури, її плавкість повинна бути узгодженою з температурою спікання кераміки, яка визначається в'язкістю та кількістю рідкої фази в керамічній масі.

Плавкість є практичною величиною, яка характеризує швидкість розм'якшення глазури за різних температур. Плавкість представляє складну функцію в'язкості, поверхневої енергії на межі фаз, кристалізаційної здатності, температури початку кристалізації та щільності розплаву, проте вирішальну роль при цьому належить в'язкості. В'язкість визначає умови плавлення, робочу температуру та температуру випалу, максимальну температуру експлуатації та швидкість кристалізації склопокриттів [12].

Для забезпечення можливості формування бездефектного склокристалічного покриття на керамічній плитці за одноразовим випалом було обрано висококальцієві цинкалюмосилікатні фрити. Вибір попередніх складів розроблених фрит «А» [8] та «В» [9] (табл. 2) базувався на необхідності забезпечення короткого інтервалу формування склокристалічного покриття при одностадійному випалі при температурі 1423 К з різною текстурою покриття. Формування блискучої («А») та шовковистої («В») текстури покриття визначається особливостями кристалізаційної здатності фрит при термічній обробці, яка в свою чергу суттєво залежить від кристалізаційної в'язкості фрит.

Відомо, що введення оксиду кальцію за низьких температур підвищує в'язкість скла; при високих температурах невелика його кількість

(до 8–10 %) знижує в'язкість скла. При подальшому збільшенні вмісту оксиду кальцію, як це характерно для дослідних фрит, в'язкість значно зростає. В свою чергу введення оксиду цинку дозволить знизити температуру утворення розплаву, підвищити його реакційну здатність та знизити поверхневий натяг. Значна кількість оксиду кальцію, а особливо магнію суттєво підвищує поверхневий натяг, тому кількість MgO була суттєво знижена при порівнянні з відомою фритою «В» для одноразового випалу (табл.1).

Таблиця 2 – Хімічний склад фрит

Оксиди	Хімічний склад фрит, мас.%	
	А	В
SiO ₂	54,5/55,5	47,5/49,5
Al ₂ O ₃	5,5/6,5	12,5/13,5
B ₂ O ₃	3,5/4,0	1,0/1,5
CaO	11,3/12,0	13/14
MgO	1,4/1,7	0,2/1,0
ZnO	10,7/11,7	9,5/10,5
BaO	-	9,5/10,5
ZrO ₂	8,5/9,0	-
Na ₂ O	0,5/1,0	1,0/1,5
K ₂ O	2,5/3,0	1,5/2,5

Для фрити «В» характерним є введення оксиду барію до її складу замість оксиду цирконію, що дозволить при значному вмісті оксиду алюмінію знизити в'язкість необхідну для формування гладкого покриття. При цьому для зниження температури появи першої кристалічної фази необхідною умовою є забезпечення величини співвідношення $R_2O+RO/SiO_2=0,5-0,7$ у структурі глазури.

Для дослідних фрит спостерігається аномальний ріст в'язкості при підвищенні температури в інтервалі склування $T_g - T_f$, які здатні до тонкодисперсної кристалізації, що пов'язано з високою швидкістю наростання температури в області інтервалу склування, яка випереджає наростання в'язкості, а це призводить до провалу на кривій в'язкості (рис.2). Цей стан швидко ліквідується, оскільки в нових температурних умовах відбувається більш інтенсивне збільшення кристалічної фази за рахунок зменшення кількості скловидної фази, що і визначає повторне наростання в'язкості до закінчення термічного обробки [12, 13]. В умовах швидкісної обробки склокристалічних покриттів по кераміці оптимальним слід вважати такий хід кривої залежності в'язкості від температури, коли максимум її зсунутий в область температур нижче точки розм'якшення, тобто в область значень в'язкості вище 10^8 Па·с [14]

Зміна в'язкості фрит при температурі є подібною до протікання вказаного процесу для склокристалічних матеріалів [14]. В'язкість скла залежить від хімічного складу та від температури [15, 16]. Лужні та лужноземельні оксиди знижують в'язкість скла, а кремнезем, оксид алюмінію, оксид

цирконію підвищують її. Дуже складно впливають на в'язкість фрит борний ангідрид та оксид кальцію. Борний ангідрид значно знижує в'язкість скла за високих температур; при низьких температурах при введенні приблизно до 15 мас. % B₂O₃ в'язкість скла підвищується, і тільки при подальшому збільшенні вмісту B₂O₃ вона зменшується. Тому для зниження в'язкості було значно зменшено вміст цього вартісного компонента за рахунок введення оксиду барію до складу фрити «В» та зниження вмісту оксиду алюмінію для фрити «А» (табл. 2).

Ріст кристалізаційної в'язкості $\eta = 10^{8,1-8,5}$ Па·с в області температур 1050–1150 °С для дослідних фрит свідчить як про інтенсивне формування нуклеаторів, так і про ріст кристалів у їх складі (рис. 2). Для дослідної фрити «В» спостерігається максимум зростання в'язкості $10^{8,5}$ Па·с при 1150 °С, з наступним стрімким зниженням в'язкості до 1200 °С (рис.2), що пов'язано з підвищеним вмістом оксиду кальцію у складі фрит та високою кристалізаційною здатністю інвертних стекел (SiO₂ < 50 мас. %).

Для дослідної фрити «А» максимум наростання в'язкості $10^{8,3}$ Па·с спостерігається при температурі 1050 °С, однак для даної фрити характерним є полого зниження від 1050 до 1300 °С. Підтвердженням значної швидкості наростання в'язкості для дослідної фрити «В» (швидкість твердіння) свідчить різка зміна крайового кута змочування (рис. 3 б) та стрімка зміна характеристичних кривих плавкості (Shape factor (коефіцієнт форми), Area object (площа об'єкта)) (рис. 4 б) у вузькому інтервалі.

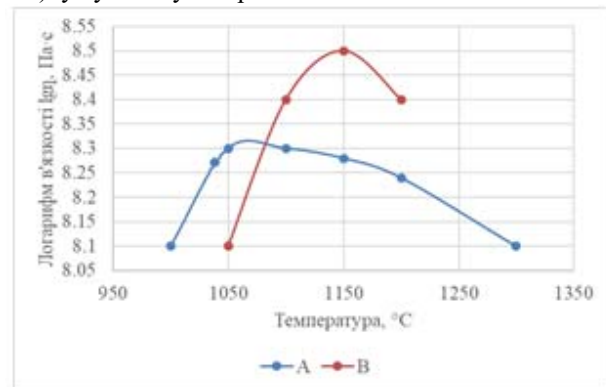


Рисунок 2 – Зміна в'язкості дослідних фрит при термічній обробці

Для фрити «А» цей інтервал (від DT до FT) є значно ширшим на що вказують характеристичні температури розм'якшення (табл. 3), які визначалися за зміною крайового кута (рис. 3 а) та характеристичною кривою плавкості (рис.4 а). Саме протікання послідовний стадій при температурній обробці фрит: розм'якшення, формування сфери, напівсфери та плавлення є показником можливості застосування розроблених фрит за технологією одноразового випалу.

Таблиця 3 – Характеристичні температури розм'якшення фрит

Характеристичні температури	Фрити	
	А	Б
Температура деформації DT	1042.3	1125.0
Температура кулі ST	1082.0	1133.0
Температура півкулі HT	1132.0	1143.0
Температура подачі FT	1301.0	1232.0
Температура спікання SIN	763.3	733.0

Особливістю характеру плавлення фрити «В» є значна тривалість фазових перетворень від процесу спікання до температури формування сфери, яка спостерігається на кривих Shape factor (фактор форми) та Area object (площа об'єкта), як пряма лінія (рис.4 б). Це дозволяє значно скоротити інтервал плавкості та змістити його в область температур 1130–1200°C.

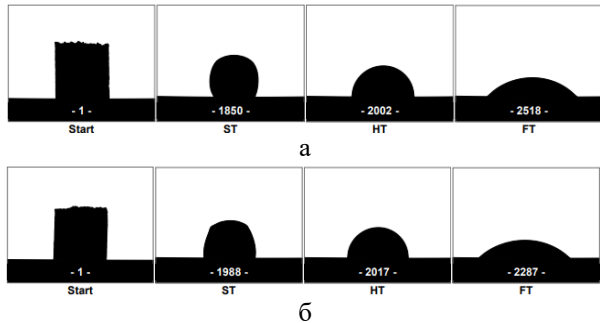


Рис 3. Змочувальна здатність дослідних фрит: а – фрита «А»; б – фрита «Б»

Висновки. Встановлено необхідність розширення асортименту керамічної плитки та керамограніту шляхом модифікації структури та текстури склопокриттів з урахуванням екологічності потокового виробництва та доступної вартості оздоблювальних матеріалів широкого вжитку. Визначено перспективність застосування технології одноразового випалу, що дозволить зменшити витрати паливно-енергетичних ресурсів на одиницю виробу, скоротити загальний час випалу виробів, ефективніше використовувати виробничі платформи в технологічному циклі та збільшити потужність виробництва за допомогою наявних виробничих ресурсів. Визначено відмінності складів фрит та особливостей зміни їх технологічних властивостей (плавкості, в'язкості, поверхневого натягу та змочувальної здатності) для одержання якісних склопокриттів за технологією одноразового випалу. Встановлено особливості зміни в'язкості для висококальцієвих цинкалосилікатних фрит при термічній обробці. Визначено, що забезпечення кристалізаційної в'язкості $\eta = 10^{8,1-8,5}$ Па·с в області температур зародкоутворення 1050–1150 °С для дослідних фрит свідчить про інтенсивне формування та ріст кристалічних фаз, що є визначальним для забезпечення їх плавкості у області температур 1100–1200 °С. Застосування розроблених фрит у технології одноразового випалу дозволить суттєво

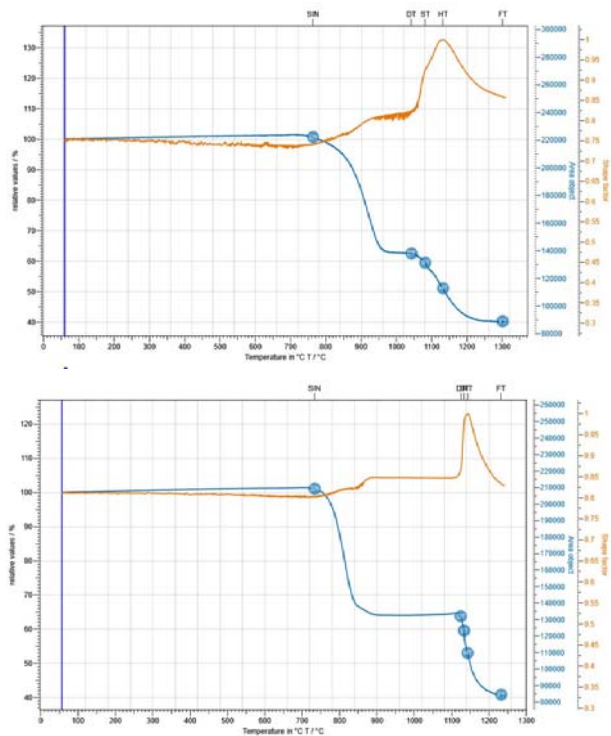


Рис 4. Плавкісні характеристики дослідних фрит: а – фрита «А»; б – фрита «Б»

підвищити конкурентоздатність керамічної плитки та сприяти стабілізації ринку в умовах сталого розвитку держави.

Список літератури

- Selli N. T., Basaran N., Kesmez Ö. Investigación del uso de nanopartículas de dióxido de titanio sintetizadas por el método de reflujó como agente blanqueador en gres porcelánico estándar. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 2024. Vol. 63, Iss. 1. P. 47–58.
- Bakhtierkhalzi M., WahedullIslam M., Suzauddin M., NurullIslam M., Mahmood A. A. Effect of TiO₂ assintering additive on microstructural, physical, and mechanical properties of CeO₂ doped zirconia toughened alumina ceramic composite. *Ceramics International*. 2023. Vol. 49, Iss. 4. P. 6666–6670.
- Kesmez Ö. Preparation of hybrid nanocomposite coatings via sol-gel method f hydrophobica self-cleanin properties. *Journal of Molecular Structure*. 2020. Vol. 1205. 127572.
- Pokroeva Y., Savvova O., Voronov H., Fesenko O., Khrystych O. Biocidal Protective Glass-Ceramic Coatings for Porcelain Stoneware. 2nd International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering, STUE 2023. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2023. Vol. 808. P. 391–402.
- Pekkan K., Karasu B. Zircon-free frits suitable for single fast-firing opaque wall tile glaze sand their industrial productions. *Journal of the European Ceramic Society*. 2009. Vol. 29, Iss. 9. P. 1571–1578.
- Cantavella V., Moreno A., Mezquita A., Llorens D., Barberá J., Palanques A. Temperature Distribution inside a ceramic TILE during industrial firing. *QUALICER 2006: IX World*

- Congress on Ceramic Tile Quality. Vol. 1. Castellón: Camara Oficial de Comercio, 2006. P. BC147-BC160
7. Melchiades F. G., Rego B. T., Higa S. M., Alves H. J., Boschi A. O. Factors affecting glaze transparency of ceramic tiles manufactured by the single firing technique. Journal of the European Ceramic Society. 2010. Vol. 30, Iss. 12. P. 2443–2449.
 8. Savvova O. V., Shevetovsky V. V., Pokroeva Ya. O., Zinchenko I. V., Babich O. V., Voronov H. K. Development of antibacterial glazing for ceramic tiles. Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii. 2022. Iss. 3. P. 60–66.
 9. Savvova O., Pokroieva Y., Voronov H., Babich O., Smyrnova Y. Antibacterial matte glass-ceramic coatings with satin texture for ceramic tiles. Chemistry and Chemical Technology. 2023, Vol. 17, Iss. 3. P. 655–663.
 10. Applied Ceramic Technology. Italy: Sacmi imola, 2005. Vol. 1, P. 191–192.
 11. Hesse A. The Heating Microscope and EMI III Software Hesse Instruments. URL: http://www.gantenbein.com.tr/docs/hesse/BRO_HeatingMicroscope_201502_EN_600dpi.pdf (дата звернення 15.11.2023).
 12. Hrma P., Kruger A. A. High-temperature viscosity of many-component glass melts. Journal of Non-Crystalline Solids. 2016. Vol. 437. P. 17–25.
 13. Neuville D. R. Viscosity, structure and mixing in (Ca, Na) silicate melts. Chemical Geology. 2006. Vol. 229, Iss. 1-3. P. 28–41.
 14. Nemilov S. V. Maxwell equation and classical theories of glass transition as a basis for direct calculation of viscosity at glass transition temperature. Glass Phys. Chem. 2013. Vol. 39. P. 609–623.
 15. Ojovan M. I. Viscous flow and the viscosity of melts and Glasses. Physics and Chemistry of Glasses: European Journal of Glass Science and Technology, Part B. 2012. Vol. 53, No. 4. P. 143–150.
 16. Саввова О. В., Воронов Г. К., Фесенко О. І., Смирнова Ю. О., Пилипенко О. І., Покроєва Я. О., Тур О. Г. Структура склокерамічних матеріалів : монографія. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 152 с.
 3. Kesmez Ö. Preparation of hybrid nanocomposite coatings via sol-gel method f hydrophobica self-cleanin properties. Journal of Molecular Structure. 2020. Vol. 1205. 127572.
 4. Pokroeva Y., Savvova O., Voronov H., Fesenko O., Khrystych O. Biocidal Protective Glass-Ceramic Coatings for Porcelain Stoneware. 2nd International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering, STUE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, 2023. Vol. 808. P. 391–402.
 5. Pekkan K., Karasu B. Zircon-free frits suitable for single fast-firing opaque wall tile glaze sand their industrial productions. Journal of the European Ceramic Society. 2009. Vol. 29, Iss. 9. P. 1571–1578.
 6. Cantavella V., Moreno A., Mezquita A., Llorens D., Barberá J., Palanques A. Temperature Distribution inside a ceramic TILE during industrial firing. QUALICER 2006: IX World Congress on Ceramic Tile Quality. Vol. 1. Castellón: Camara Oficial de Comercio, 2006. P. BC147-BC160
 7. Melchiades F. G., Rego B. T., Higa S. M., Alves H. J., Boschi A. O. Factors affecting glaze transparency of ceramic tiles manufactured by the single firing technique. Journal of the European Ceramic Society. 2010. Vol. 30, Iss. 12. P. 2443–2449.
 8. Savvova O. V., Shevetovsky V. V., Pokroeva Ya. O., Zinchenko I. V., Babich O. V., Voronov H. K. Development of antibacterial glazing for ceramic tiles. Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii. 2022. Iss. 3. P. 60–66.
 9. Savvova O., Pokroieva Y., Voronov H., Babich O., Smyrnova Y. Antibacterial matte glass-ceramic coatings with satin texture for ceramic tiles. Chemistry and Chemical Technology. 2023, Vol. 17, Iss. 3. P. 655–663.
 10. Applied Ceramic Technology. Italy: Sacmi imola, 2005. Vol. 1, P. 191–192.
 11. Hesse A. The Heating Microscope and EMI III Software Hesse Instruments. URL: http://www.gantenbein.com.tr/docs/hesse/BRO_HeatingMicroscope_201502_EN_600dpi.pdf (accessed 15.11.2023).
 12. Hrma P., Kruger A. A. High-temperature viscosity of many-component glass melts. Journal of Non-Crystalline Solids. 2016. Vol. 437. P. 17–25.
 13. Neuville D. R. Viscosity, structure and mixing in (Ca, Na) silicate melts. Chemical Geology. 2006. Vol. 229, Iss. 1-3. P. 28–41.
 14. Nemilov S. V. Maxwell equation and classical theories of glass transition as a basis for direct calculation of viscosity at glass transition temperature. Glass Phys. Chem. 2013. Vol. 39. P. 609–623.
 15. Ojovan M. I. Viscous flow and the viscosity of melts and Glasses. Physics and Chemistry of Glasses: European Journal of Glass Science and Technology, Part B. 2012. Vol. 53, No. 4. P. 143–150.
 16. Саввова О. В., Воронов Г. К., Фесенко О. І., Смирнова Ю. О., Пилипенко О. І., Покроєва Я. О., Тур О. Г. Структура склокерамічних матеріалів : монографія. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 152 с.

References (transliterated)

1. Selli N. T., Basaran N., Kesmez Ö. Investigación del uso de nanopartículas de dióxido de titanio sintetizadas por el método de reflujo como agente blanqueador en gres porcelánico estándar. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. 2024. Vol. 63, Iss. 1. P. 47–58.
2. Bakhtierkhalzi M., WahedulIslam M., Suzauddin M., NurulIslam M., Mahmood A. A. Effect of TiO₂ assintering additive on microstructural, physical, and mechanical properties of CeO₂ doped zirconia toughened alumina ceramic composite. Ceramics International. 2023. Vol. 49, Iss. 4. P. 6666–6670.

Надійшла(accepted) 15.02.2024

Відомості про авторів / About the Authors

Саввова Оксана Вікторівна (Savvova Oksana) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри хімії та інтегрованих технологій, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-6664-2274; e-mail: savvova_oksana@ukr.net

Покроєва Яна Олександрівна (Pokroieva Yana) – аспірант кафедри хімії та інтегрованих технологій Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-0112-7436; e-mail: yana.pokroieva@kname.edu.ua