

УДК 666.741.1(047), 666.3/7

О.Ю. ФЕДОРЕНКО, докт. техн. наук

Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків

М.І. РИЩЕНКО, докт. техн. наук

Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків

Л.В. ПРИСЯЖНА, аспірант

Національний технічний університет «ХПІ», м. Харків

ЕНЕРГОЩАДНА ТЕХНОЛОГІЯ КЛІНКЕРНИХ КЕРАМІЧНИХ ВИРОБІВ ДОРОЖНЬОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В стаття висвітлені результати розробки сировинних сумішей і технологічних параметрів виробництва клінкерної керамічної цегли. Доведена ефективність використання відходів вуглевидобування для інтенсифікації спікання та фазоутворення неспікливих полімінеральних глин. Визначено фазовий склад отриманих матеріалів, який обумовлює високу міцність та марочність мостового клінкеру.

Постановка проблеми. Дорожній клінкер призначений для брукування доріг, тротуарів, збірних покриттів площ, садово-паркових та пішохідних дорожок, міжбудинкових переходів тощо. На відміну від бетонної тротуарної плитки керамічні клінкерні вироби відрізняються високою міцністю, морозостійкістю та довговічністю. Аналіз потреб ринку матеріалів для будівельної індустрії свідчить про зростаючий попит на клінкерні керамічні вироби в цілому та, зокрема, на клінкерну цеглу дорожнього призначення.

Особливістю технології виробництва керамічного клінкеру в високорозвинутих країнах є високотемпературна термообробка (випал при температурі 1150÷1200 °С) та застосування спеціальної глинистої сировини, здатної до спікання. Втім, відмінності вітчизняного промислового енергоспоживання та конкуренція на внутрішньому ринку будівельних матеріалів, вимагають пошуку нових підходів до створення конкурентоспроможної продукції українських виробників керамічного клінкеру із закордонними аналогами виробництва Польщі, Німеччини, Нідерландів тощо.

Аналіз існуючих рішень. Аналіз досліджень, спрямованих на зниження енергоспоживання у виробництві керамічного клінкеру, свідчить про

можливість зниження температури випалу виробів за рахунок інтенсифікації їх спікання при використанні сировинних матеріалів, здатних утворювати значну кількість розплаву. Такою сировиною за даними дослідників та власними спостереженнями [1–5] є лужні каоліни, псаміти, а також техногенні матеріали: ливарний шлак, скловідходи, відходи збагачення пегматитів, гранітні відсівки, відходи механічної обробки гранітів тощо. На особливу увагу заслуговують ті з них, що не потребують додаткової переробки, оскільки в технологічному циклі виробництва клінкерної кераміки обладнання для тонкого подрібнення твердих матеріалів не передбачено.

Увага технологів і науковців має бути повернута до відходів, що утворюються при видобуванні вугілля і є потенційною сировиною для отримання будівельної кераміки. Науковий і виробничий досвід свідчить про ефективність застосування відходів вуглевидобування (вуглистих аргилітів та алевролітів) при виготовленні керамічної цегли та черепиці [6]. Використання вуглевідходів як паливної добавки при виготовленні керамічних виробів дозволяє скоротити витрату умовного палива на 50-70 кг на 1000 шт. цегли і підвищити якість виробів [7]. Одним з головних факторів, що стримують широкомасштабне використання вуглевідходів є нестабільність складу і властивостей. Втім, при дотриманні певних прийомів підготовки і переробки порід з них може бути отримана якісна продукція.

Мета досліджень. Метою досліджень є розробка енергоощадної технології клінкерної цегли на основі неспікливої глинистої сировини з використанням відходів вуглевидобування та дослідження фізико-хімічних процесів формування фазового складу керамічного клінкеру.

Методика проведення експерименту. Вивчення радіаційних властивостей сировини проводилось із залученням гамма-спектрометра СЕГ-001 "АКП-С". Клінкерні маси розроблялись на основі неспікливих полімінеральних глин ряду вітчизняних родовищ: Верхньо-Сироватського (Сумської обл.), Лужківського (Харківської обл.), Хорольського (Полтавської

обл.), Керченського (АР Крим). До складу мас вводили відходи вуглевидобування (вуглисті аргіліти та алевроліти) Чумаковської ЦЗФ (Донецька обл.) та Ново-Волинської шахти (Волинська обл.) в кількості 25 та 50 мас. %.

Хімічний склад відходів надано в табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад відходів вуглевидобування

Найменування матеріалу	Масова доля компонента, %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	в.п.п
Вуглисті аргіліти Чумаковської ЦЗФ	53,92	20,55	4,48	0,10	0,97	0,69	2,4	0,02	16,87
Вуглисті алевроліти Ново-Волинської шахти	62,80	23,30	5,80	0,54	1,49	0,67	3,60	0,11	0,89

Процеси, що супроводжують формування керамічного клінкеру, досліджували з використанням диференційно-термічного та дилатометричного методів аналізу. Визначення фазового складу продуктів випалу здійснювали із залученням дифрактометра ДРОН-3М з CuK_α – випромінюванням та нікелевим фільтром. Термограми знімали на дериватографі системи «Паулік-Паулік-Ердей» (ВНР) в інтервалі температур 20÷1150 °С при швидкості підйому температури 10 град/хв.

Обговорення результатів. Проведеними дослідженнями у складі глинистої сировини та вуглевідходів зафіксована присутність наступних природних радіонуклідів: ²³²Th, ²²⁶Ra, ⁴⁰K (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати гама-спектрометричного аналізу сировини

Назва матеріалу	Питома радіоактивність, Бк·кг ⁻¹ (вклад, %)			Сума питомих активностей, Бк·кг ⁻¹	C _{эф} , Бк·кг ⁻¹
	²³² Th	²²⁶ Ra	⁴⁰ K		
алевроліти з відвалів	62,0 (8,94)	61,4 (8,86)	569 (82,2)	692,4	190,98
аргіліти з відвалів	58,0 (8,67)	63,0 (9,42)	548 (81,91)	669,0	187,11

глини (усереднене значення)	59,7 (10,7)	54,9 (9,9)	442 (79,4)	556,6	170,68
--------------------------------	----------------	---------------	---------------	-------	--------

Всі дослідні матеріали за радіаційною безпекою відносяться до 1 класу ($C_{\text{еф}} \leq 370 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$) і можуть без обмежень використовуватись у виробництві будівельної кераміки.

Чисельними роботами встановлено особливості широко розповсюдженої на теренах України глинистої сировини, основними особливостями якої є легкоплавкість, полімінеральність та висока запіскованість. Останній фактор обумовлює нездатність легкоплавких глин та суглинків до спікання з утворенням щільного та міцного матеріалу та відсутністю температурного інтервалу щільноспеченого стану. Саме такі глинисті матеріали були обрані як основа при розробці клінкерних мас з пониженою температурою випалу $1050 \div 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ (табл.3).

Таблиця 3 – Технологічні властивості глинистої сировини

Класифікаційні ознаки та властивості	Родовище глинистої сировини			
	Хорольське	Керченське	Лужківське	Верхньо-сируватське
Тип глин за мінеральним складом	полімінеральна монтморилоніт-вмісна	полімінеральна з високим вмістом монтморилоніту	полімінеральна монтморилоніт-вмісна	полімінеральна монтморилоніт-вмісна
Тип глини за вмістом Al_2O_3	напівкисла	напівкисла	кисла	кисла
Вміст вільного кварцу, %	51-53	64-68	60-65	45-48
Тип за пластичністю	помірнопластична	малопластична	помірнопластична	помірнопластична
Тип глини за вогнетривкістю	легкоплавка	тугоплавка	тугоплавка	легкоплавка
За характером спікання	неспіклива	неспіклива	неспіклива	неспіклива
Водопоглинання в інтервалі температур $1100 \div 1150 \text{ }^\circ\text{C}$, %	8,9÷9,7	14,2÷6,8	9,6÷10,7	10,3÷12,2

Усі дослідні глини відносяться до кислої та напівкислої сировини з високим вмістом вільного кварцу та барвних оксидів. Натомість відходи вуглевидобування містять підвищену кількість Al_2O_3 (20÷23 мас. %) та значну кількість лужних оксидів ($\Sigma R_2O > 3,0$ мас. %), що є позитивним технологічним фактором. Помірна пластичність глинистої сировини (за виключенням Керченського суглинку) припускає використання непластичних добавок в кількості до 50 мас. %.

До складу технологічних сумішей на основі обраних глин вводили 25 та 50 мас. %. Із мас з вологістю 22 % пластичним способом фармували зразки, які після сушки до залишкової вологості 3 % випалювали в муфельній печі при 1050 і 1100 °С. Для випалених зразків за стандартними методиками визначали водопоглинання, міцність на стиск та згин, зносостійкість та морозостійкість. Встановлено, що використання відходів вуглевидобування в кількості 25 та 50 мас. % дозволяє інтенсифікувати спікання мас: із збільшенням вмісту добавки зменшується водопоглинання та збільшується міцність продуктів випалу. Встановлено, що для отримання матеріалів, які мають властивості керамічного клінкеру, необхідною є термообробка з

Глиниста складова	Вміст відходу, мас. %	Водопоглинання, %	Міцність на стиск, МПа	Міцність на згин, МПа	Зносостійкість, г/см ²	Морозостійкість, циклів
Суглинок Керченський	25	5,74	37,32	3,7	0,41	>100
	50	3,25	60,42	5,8	0,20	>300
Глина Верхньосируватська	25	4,68	47,34	4,5	0,35	>150
	50	1,50	70,10	6,9	0,13	>300
Глина Лужковська	25	4,72	41,61	4,0	0,38	>150
	50	2,71	65,80	6,4	0,16	>300
Суглинок Хорольський	25	5,50	39,47	3,8	0,38	>100
	50	3,00	63,54	6,0	0,21	>300

максимальною температурою 1100 °С. Властивості отриманих матеріалів подані в табл. 4.

Таблиця 4 – Властивості зразків клінкеру, випалених при 1100 °С.

Отримані дані показали, що введення до складу мас вуглевідходів значно поліпшують спікання полімінеральної глинистої сировини та покращують властивості матеріалів, що цілком логічно, враховуючи хімічний склад вуглистих аргілітів та алевролітів. Результати досліджень доводять той факт, що введення до складу неспікливих глин відходів вуглевидобування в кількості 25÷50 мас. % дозволяють отримати клінкерні вироби, які задовольняють вимоги ДСТУ Б В 2.7-245-2010 «Вироби керамічні клінкерні. ТУ» до стінового та дорожнього клінкеру. За результатами дослідно-промислових випробувань оптимальних сировинних композицій отримано стіновий клінкер марки М 300 та мостову цеглу марки М 650.

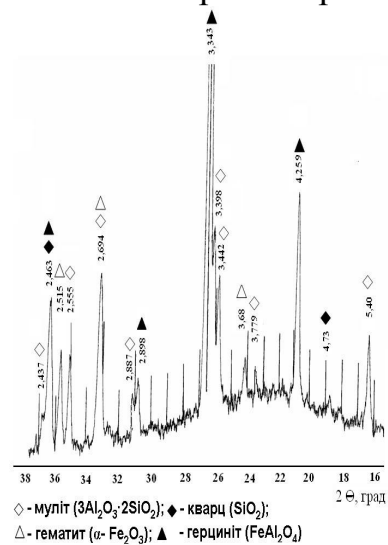


Рис. 1 – Фрагмент дифрактограми керамічного клінкеру

Встановлено, що фазовий склад отриманих матеріалів представлений переважно мулітом та герцинітом, які забезпечують високі показники міцності та марочності виробів (рис.1).

Слід зазначити, що необхідною умовою отримання бездефектних виробів при випалі клінкерних мас із значним вмістом вуглевідходів (50 мас. %) є уповільнення нагрівання в інтервалі температур (250–600) °С до швидкості 15 °С/год. Це забезпечує безперешкодне видалення газів, що утворюються при вигорянні вуглистої речовини, крізь відкриті пори черепка, який ще не набув високого ступеню спікання.

Висновки. Розроблено і застосовано на практиці технологічні і технічні рішення щодо використання відходів вуглевидобування у виробництві

керамічної клінкерної цегли. за якісними показниками отримані матеріали не поступаються виробам з глинистої сировини, здатної утворювати щільноспечений керамічний матеріал. Запропонована ресурсо- і енергоощадна технологія дозволяє отримувати клінкерну цеглу з підвищеною міцністю, морозостійкістю, зносостійкістю та витривалістю до атмосферних впливів. За фізико-механічними властивостями і технічними характеристиками матеріали відповідають усім нормативним вимогам до дорожнього керамічного клінкеру. Використання у складі клінкерних мас промислових відходів забезпечує зниження собівартості виробів та сприятиме поліпшенню екологічної ситуації в регіонах, де сконцентровані підприємства вугільної промисловості.

Література:

1. Мырнин В. А. Керамика из литейного шлака, формовочной земли, отхода стекла и соли нейтрализации кислоты / В. А. Мырнин, Р. А. С. Рибейро, М. Ж. Ж. Понте, А. А. Понте // Сотрудничество для решения проблемы отходов: 5-я Международ. науч.-техн. конф., 2-3 апреля 2008 г.: тези доп. – С. 133–135.
2. Федоренко Е.Ю. Технологические аспекты повышения качества клинкерных керамических материалов / Е.Ю. Федоренко, М.И. Рыщенко, Л.В. Присяжная // Збірка наукових праць ВАТ "УкрНДІВогнетривів ім. А.С. Бережного". – Харків: Каравела, 2011. – № 111. – С. 199 – 207.
3. Лісачук Г.В. Створення ресурсозаощадних технологій керамічних матеріалів з використанням нових видів вітчизняної мінеральної сировини / Г.В. Лісачук, О.Ю. Федоренко, В.В. Цовма та ін. // III всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю, 21–24 вересня 2011 р.: збірник наукових статей.. – Т 1. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – С. 220 – 222.
4. Федоренко Е.Ю. Использование отходов обогащения пегматитов в технологии дорожного клинкера / Е.Ю. Федоренко, Л.А. Михеенко, В.М. Суховецкая // Сучасні проблеми фізики та хімії на транспорті і в будівництві: всеукр. конфер., 18–20 листопада 2008 р.: тези доп. – Харьков: ХНАДУ, 2008. – С. 3 – 4.
5. Коледа В. В. Технологические особенности производства клинкерного кирпича / В. В. Коледа, Е. С. Михайлюта, Алексеев Е. В., Цыбулько Э. С. // Стекло и керамика, 2009. – № 4. – С. 17 – 20.
6. Дворкин Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности : учебно-справочное пособие / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. – 368 с.
7. Михайлов В. И. Технология производства керамических изделий на основе отходов промышленности / В. И. Михайлов, Кривоносова Н. Т. – Київ: Будівельник. – 1983. – 80 с.

