

УДК: 666.189.3

DOI: 10.20535/iwccmm2026355170

ВПЛИВ ХІМІЧНИХ ДОБАВОК НА ПРОЦЕС СПІНЮВАННЯ ТА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ПІНОСКЛА

Плем'янніков О.М.¹, Трунова В.В.², Жданюк Н.В.³

¹Аспірант кафедри хімічної технології кераміки та скла, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

²Магістрантка кафедри хімічної технології кераміки та скла, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

³Кандидат технічних наук, доцент кафедри хімічної технології кераміки та скла, Національний технічний університет України, «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

e-mail: 1. plemyannikov.aleksey@gmail.com, 2. trunova.valeriia@iit.kpi.ua, 3. zhdanyukn.kpi@gmail.com

Анотація. Дослідження присвячене вивченню механізмів впливу технологічних добавок на формування комірчастої структури піноскла. Проаналізовано зміну морфології пор та щільності зразків при введенні 13 хімічних модифікаторів. Визначено закономірності формування пористої структури піноскла залежно від фазового складу модифікуючих добавок, що дозволяє керувати процесами газоутворення в силікатних системах. Отримані результати є науковим підґрунтям для розробки ресурсозберігаючої технології високоякісного піноскла з прогнозованими експлуатаційними властивостями на основі скла обою листового скла та отриманню конкурентоспроможного матеріалу.

Ключові слова: піноскло, склобій, газоутворювачі, функціональні добавки, спінювання, композиційні матеріали, теплоізоляція.

Сучасні будівельні норми вимагають застосування надійних ізоляційних матеріалів із низьким водопоглинанням, негорючістю та високою довговічністю [1]. Піноскло повністю відповідає цим критеріям, проте для масового виробництва необхідно вдосконалити технологію стабілізації його властивостей. Метою роботи є встановлення впливу хімічних добавок на кінетику пороутворення та кінцеву макроструктуру теплоізоляційного піноскла.

Об'єктом дослідження є процес спінювання сировинної суміші (шихти), що складається з меленого скла та вуглецевого газоутворювача – антрациту. Для встановлення закономірностей впливу хімічної природи добавок на кінетику спінювання, було синтезовано модельні системи 13 серій: еталонний без добавок (№ 1) та 12 зразків із модифікаторами. До них увійшли: 5% та 30% природного перліту (№ 2, 3), 2% гідрофобного спученого перліту (№ 4), 2% натрій силікату розчинного Na_2SiO_3 (№ 5), 1% розчину натрій сульфату Na_2SO_4 (№ 6), 1% кальцій карбонату CaCO_3 (№ 7), 1% PbO (№ 8), 1% FeO (№ 9), 0,5% натрію гексафторосилікату Na_2SiF_6 (№ 10), 1% амоній біхромату $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (№ 11), 1% розчину борної кислоти H_3BO_3 (№ 12) та 1% розчину натрій тетраборату $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (№ 13). Вибір модифікаторів здійснювався за можливістю розширити температурний інтервал піропластичного стану силікатного розплаву та інтенсивність газовиділення.

Експериментально доведено, що модифікатори суттєво змінюють характер пористості порівняно з еталонним зразком (№ 1), який мав об'ємну масу $0,21 \text{ г/см}^3$ і пори розміром до 2 мм. Найбільш ефективну структуру сформували зразки з борною кислотою (№ 12) та натрій тетраборатом (№ 13). Добавка 1% розчину борної кислоти забезпечила надзвичайно дрібну пористість (пори не більше 0,5 мм).

Використання 1% бури дозволило отримати об'ємну масу на рівні $0,15 \text{ г/см}^3$ із витягнутими порами довжиною 3–4 мм. Водночас введення кальцій карбонату (№ 7) та натрій сульфату (№ 6) призвело до утворення неоднорідної кавернозної макроструктури з порожнинами до 40 мм.

Зокрема, введення сполук бору було спрямоване на зниження температури розм'якшення скла, що дозволяє синхронізувати процес виділення CO/CO₂ із оптимальною в'язкістю матриці [2]. Введення борної кислоти у вигляді розчину гарантує її гомогенний розподіл на поверхні скляних зерен. Під час термічного впливу вона дегідратується, утворюючи легкоплавкий оксид бору та воду. Цей оксид швидко переходить у розплав і блокує газообмін між мікрочастинками шихти ще до моменту їх повного злипання, надійно захищаючи вуглець від завчасного окиснення [2]. Найбільш виражений ефект на формування стабільної дрібнопористої структури з високим ступенем замкненості має гідрофобний спучений перліт. На відміну від звичайного природного перліту, який провокує утворення великих каверн і надмірну крихкість матеріалу, гідрофобний аналог діє набагато ефективніше [3]. Це пояснюється тим, що немодифікований мінерал впливає переважно на в'язкість, тоді як гідрофобний спучений перліт діє комплексно: він додатково змінює поверхневий натяг і суттєво покращує адгезію між силікатною матрицею та антрацитом на ранніх етапах спінювання. Запропоновані технологічні рішення щодо оптимізації складу шихти на основі склобою забезпечують високу ресурсну ефективність виробництва. Використання розроблених комплексних добавок дозволяє отримати матеріал із конкурентною собівартістю, який за стабільністю фізико-механічних характеристик та рівномірністю пористої структури не поступається світовим аналогам. Це створює підґрунтя для рентабельного впровадження енергоефективного піноскла як довговічного утеплювача у промисловому та цивільному будівництві.

ВИСНОВКИ

У роботі здійснено комплексний аналіз 13 серій хімічних модифікаторів з метою інтенсифікації пороутворення та оптимізації структури піноскла. Встановлено, що введення активних присадок дозволяє ефективно регулювати реологічні властивості силікатної матриці та активізувати міжфазну взаємодію в системі «скло–газоутворювач». Це досягається за рахунок деструкції пасивованого поверхневого шару скляних частинок та експонування свіжоутворених поверхонь із високою реакційною здатністю. Експериментально доведено, що найбільш виражений ефект на формування стабільної дрібнопористої структури з високим ступенем замкненості пор мають: гідрофобний спучений перліт, борна кислота (H₃BO₃), натрію тетраборат (Na₂B₄O₇) та натрію гексафторосилікат (Na₂SiF₆). З'ясовані механізми впливу цих добавок дозволяють рекомендувати оптимізовані склади шихти для промислового впровадження та подальших наукових досліджень у галузі енергоефективних будівельних матеріалів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Zhdaniuk, N., Pylypenko, I., Plemianikov, O., & Sosnytsky, Y. (2025). Study of temperature regimes for the formation of the cellular structure of foam glass. *Науковий Вісник Будівництва*, 112, 412–417. <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2025.112.1.52>
2. Zhang, Z., Liang, L., Zhang, L., Wang, Z., Xi, J., Chen, J., Cui, Z., Chai, J., & Ning, G. (2025). A review on the impact of additives in novel glass materials. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 11(2), 710–734. <https://doi.org/10.1007/s40831-025-01055-w>
3. Horonko, I., Tihomirovs, P., & Korjamins, A. (2025). Study of Properties and Characteristics of a Foam Glass from a Mixture of Glass Shards and Perlite. *Materials*, 18(18), 4422. <https://doi.org/10.3390/ma18184422>