

УДК: 666.189.3: 691.618.93

DOI: 10.20535/iwccmm2025326857

ПІНОСКЛО НА ОСНОВІ СКЛОБОЮ ЛИСТОВОГО СКЛА

Наталія ЖДАНЮК,

К.т.н., доцент

КПІ ім. Ігоря Сікорського

zhdanyukn.kpi@gmail.com

Олексій ПЛЕМЯННИКОВ,

Аспірант

КПІ ім. Ігоря Сікорського

plemyannikov.aleksey@gmail.com

Поліна УРАЗОВСЬКА,

Студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського

urazovskaia.polina@lil.kpi.ua

***Анотація** На основі відходів листового флоат-скла отримано піноскло. В якості газоутворювача використовували антрацит. Метою роботи було вивчення умов отримання піноскла з високими експлуатаційними властивостями та дослідження впливу добавок, що здатні змінити в'язкість, поверхневий натяг та виступати в ролі газоутворювача, на структуру і властивості піноскла. Спінювання зразків проводили у муфельній печі за температури 860 °С протягом 20 хвилин. Температура випалу складала 550 °С. Отримане еталонне скло має об'ємну масу 180 кг/м³ і структуру закритої піни. Пористість матеріалу складала 93,5%. Міцність на стиск - 0,8 МПа, міцність на вигин - 0,5 МПа, ударна в'язкість - 0,016 Дж/см². Внесення добавок Na₂SiO₃, Na₂SO₄·10H₂O, CaCO₃, H₃BO₃, Na₂B₄O₇·10H₂O у кількості 1% від маси шихти змінило властивості піноскла. Добавки Na₂SiO₃, H₃BO₃ та Na₂B₄O₇ у внесених кількостях при даних умовах дозволяють отримати однорідну дрібнопористу структуру піноскла, яка забезпечить високу механічну міцність та низьку теплопровідність.*

***Ключові слова:** переробка скла, піноскло, вуглецеві газоутворювачі, матеріали низької щільності, структура скла, екологічно чисті матеріали.*

Через кризу утилізації скляних відходів та забруднення ними навколишнього середовища, почалася розробка технологій нових матеріалів з високим вмістом скляного бою: скловолокно, скляні та склокерамічні матричні композити, піноскло [1]. Особливе місце серед цих технологій займає піноскло. Цей матеріал жаростійкий, екологічно чистий, стійкий до води, пари та бактерій та має низьку щільність. Завдяки унікальному поєднанню

властивостей, піноскло стало широко використовується в якості теплоізоляційного матеріалу в будівництві, так і інших галузях [2, 3].

Як правило, піноскло отримують за допомогою високотемпературного процесу спінювання скла та інших добавок. У якості піноутворювача використовують матеріали, що містить карбонати, сульфати, C і SiC і так далі [4]. Ці матеріали створюють пористість шляхом виділення газу. Розмір пор та структура піноскла значно залежать від концентрації та типу пороутворювача [3, 5, 6].

У нашому дослідженні в якості основного вихідного матеріалу використовували відходи флоат-скла. Для дослідів відбиралася фракція $\alpha \leq 0,2$ мм. Усереднений хімічний склад листового флоат-скла наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Усереднений склад листового флоат-скла

Оксид	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
Вміст оксиду у склі, %	72,9	13,5	8,5	3,1	2,0

В якості газоутворювача використовували антрацит у кількості 1,8 % від загальної маси шихти. Для вивчення впливу добавок на процеси формування структури піноскла та на його властивості використовували наступні речовини: Na₂SiO₃, Na₂SO₄·10 H₂O, CaCO₃, H₃BO₃ та Na₂B₄O₇·10 H₂O. У шихту їх вводили у кількості 1% у розрахунку на чисту речовину. Спінювання зразків проводили у муфельній печі за температури 860 °C протягом 25 хвилин. Температура випалу складала 550 °C.

У роботі вивчали пористість матеріалу, об'ємне розширення, міцність матеріалу.

Дані диференційно-термічного аналізу шихти свідчать, що в інтервалі температур 840-930 °C спостерігається ендоефект, що відповідає процесам плавлення. При цих умовах досягається мінімальна в'язкість системи, що є сприятливим для формування структури піноскла.

Отримане піноскло мало об'ємну масу 180 кг/м³. Зразок має структуру закритої піни. Об'ємне розширення для еталонного зразку становить 5,21 у

порівнянні з об'ємом вихідної шихти. Пористість матеріалу склала 93,5%. Міцність на стиск - 0,8 МПа, міцність на вигин – 0,5 МПа, ударна в'язкість – 0,016 Дж/см². Водопоглинення – 3,5 %, що забезпечить високі експлуатаційні властивості.

У роботі було вивчено вплив добавок, які здатні понижувати в'язкість та поверхневий натяг скла, а також виступати газоутворювачем. Дослідження підтвердило, що додавання до шихти 1 % Na_2SiO_3 , $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 , H_3BO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ частково змінили об'ємне розширення піни, її структуру та розмір пор (рис. 1).

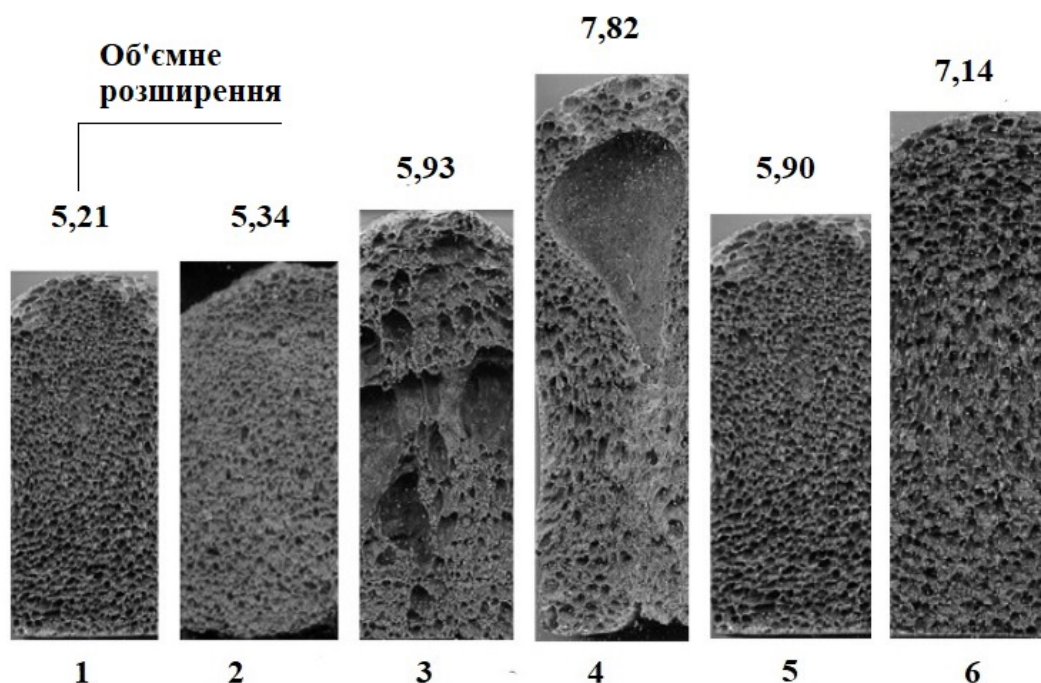


Рис. 1. Вплив хімічних добавок на процес формування структури піноскла:
 1 – еталонний зразок; 2 – Na_2SiO_3 , 3 – Na_2SO_4 , 4 – CaCO_3 , 5 – H_3BO_3 , 6 – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$

Запропоновані добавки характеризувалися здатністю понижувати в'язкість, поверхневий натяг, виступають газоутворювачами. Вивчено їх вплив на макроструктуру та об'ємне розширення піноскла (табл. 2).

Таблиця 2 – Узагальнені показники макроструктури піноскло

Зразки	Еталоний зразок	Na ₂ SiO ₃	Na ₂ SO ₄	CaCO ₃	H ₃ BO ₃	Na ₂ B ₄ O ₇
Об'ємне розширення	5,21	5,34	5,93	7,82	5,90	7,14
Розмір пор, мм	1-2	1-2 поодинокі до 3	2-4 поодинокі до 15	3-4 поодинокі до 35	1,5-3	2-4
Об'ємна маса, г/см ³	0,21	0,2	0,18	0,14	0,21	0,15

Дослідження впливу добавок силікату натрію, сульфату натрію, крейди, борної кислоти та бури показало, що використання Na₂SiO₃, H₃BO₃, Na₂B₄O₇·10H₂O при встановлених умовах термообробки утворює однорідну структуру та високі експлуатаційні властивості.

Список літератури:

1. Zhu, M., Ji, R., Li, Z., Wang, H., Liu, L., & Zhang, Z. (2016). Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass. *Construction and Building Materials*, 112, 398-405. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.183>
2. Bai, J., Yang, X., Xu, S., Jing, W., & Yang, J. (2014). Preparation of foam glass from waste glass and fly ash. *Materials Letters*, 136, 52-54. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.07.028>
3. Siddika, A., Hajimohammadi, A., & Sahajwalla, V. (2023). A novel eco-friendly foaming technique for developing sustainable glass foams from the waste glass. *Resources, Conservation and Recycling*, 190, 106801. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.02.090>
4. Племянніков, М. М., & Жданюк, Н. В. (2024). Нові склоподібні матеріали і методи їх синтезу. *Склоподібні матеріали і вироби. Функціональні покриття*. КПП ім. Ігоря Сікорського.
5. Zeng, L., Sun, H., Peng, T., & Hui, T. (2021). Effect of glass content on sintering kinetics, microstructure and mechanical properties of glass-ceramics from coal fly ash and waste glass. *Materials Chemistry and Physics*, 260, 124120. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.124120>
6. Baino, F., & Gianchandani, P. K. (2025). Porous Glass for Thermal Insulation in Buildings with a Focus on Sustainable Materials and Technologies: Overview and Challenges. *Ceramics*, 8(1), 28. <https://doi.org/10.3390/ceramics8010028>

References:

1. Zhu, M., Ji, R., Li, Z., Wang, H., Liu, L., & Zhang, Z. (2016). Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass. *Construction and Building Materials*, 112, 398-405. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.183>

2. Bai, J., Yang, X., Xu, S., Jing, W., & Yang, J. (2014). Preparation of foam glass from waste glass and fly ash. *Materials Letters*, 136, 52-54. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.07.028>
3. Siddika, A., Hajimohammadi, A., & Sahajwalla, V. (2023). A novel eco-friendly foaming technique for developing sustainable glass foams from the waste glass. *Resources, Conservation and Recycling*, 190, 106801. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.02.090>
4. Plemiannikov, M. M., & Zhdaniuk, N. V. (2024). Novi sklopodibni materialy i metody yikh syntezy. Sklopodibni materialy i vyroby. Funktsionalni pokryttia. KPI im. Ihoria Sikorskoho.
5. Zeng, L., Sun, H., Peng, T., & Hui, T. (2021). Effect of glass content on sintering kinetics, microstructure and mechanical properties of glass-ceramics from coal fly ash and waste glass. *Materials Chemistry and Physics*, 260, 124120. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.124120>
6. Bains, F., & Gianchandani, P. K. (2025). Porous Glass for Thermal Insulation in Buildings with a Focus on Sustainable Materials and Technologies: Overview and Challenges. *Ceramics*, 8(1), 28. <https://doi.org/10.3390/ceramics8010028>

FOAM GLASS BASED ON SHEET GLASS WASTE

Natalia ZHDANYUK

PhD, Associate professor,

Олексій ПЛЕМЯННИКОВ

PhD student,

Поліна УРАЗОВСЬКА,

Student,

Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute

Abstract. Foam glass was produced from sheet float glass waste, using anthracite as a blowing agent. The aim of this work was to study the conditions for producing foam glass with high-performance properties and to investigate the effect of additives that can alter viscosity and surface tension, as well as act as blowing agents, on the structure and properties of foam glass. The foaming of the samples was carried out in a muffle furnace at a temperature of 860 °C for 20 minutes. The firing temperature was 550 °C. The resulting reference glass had a bulk density of 180 kg/m³ and a closed-cell foam structure. The porosity of the material was 93.5%. Compressive strength was 0.8 MPa, bending strength was 0.5 MPa, and impact strength was 0.016 J/cm². The introduction of Na₂SiO₃, Na₂SO₄·10H₂O, CaCO₃, H₃BO₃, Na₂B₄O₇·10H₂O additives in amounts of 1% of the batch weight altered the properties of the foam glass. The addition of Na₂SiO₃, H₃BO₃ and Na₂B₄O₇ under these conditions led to a homogeneous, fine-cell structure of the foam glass, resulting in high mechanical strength and low thermal conductivity.

Key words: glass processing, foam glass, carbon blowing agents, low-density materials, glass structure, environmentally friendly materials.