

УДК 666.11

*Я.І. Лихолат***ВПЛИВ ТОНІНИ ПОМЕЛУ СКЛОБОЮ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ ПОРИСТИХ СКЛОКРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ****ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна**

Проведено дослідження, що спрямовані на визначення впливу тонини помелу склобою на властивості пористих склокристалічних матеріалів, одержаних з використанням мартенівського шлаку як газоутворювача. Випал зразків здійснювали за температури 750°C. Для дослідних зразків визначали об'ємну вагу, міцність на стиск, розраховували коефіцієнти спучування, а також аналізували тип структури, який залежить від середнього діаметра пор, що переважають. Встановлено, що з підвищенням питомої поверхні склобою зростає середній розмір пор і структура зразків змінюється від дрібно- (0,5 мм) до середньопористої (2–3 мм). При цьому спостерігається зниження об'ємної ваги зразків від 500 кг/м³ до 325 кг/м³ та зниження межі міцності на стиск від 6,76 до 2,59 МПа, відповідно. Визначено, що для одержання матеріалів з рівномірною дрібно- та середньопористою структурою (середній розмір пор до 1 мм) слід застосовувати склобій з питомою поверхнею не нижче ніж 290 м²/кг. У разі використання склобою з питомою поверхнею 320 м²/кг можна одержувати матеріал з коефіцієнтом спучування 3,98, об'ємною вагою 376 кг/м³ та міцністю на стиск 3,53 МПа. Подальше підвищення тонини помелу склобою збільшує витрати на виробництво і дозволяє одержувати матеріали з меншою об'ємною вагою та міцністю, розміром пор до 2–3 мм.

Ключові слова: пористі склокристалічні матеріали, температурно-часовий режим випалу, об'ємна вага, склобій, мартенівський шлак, коефіцієнт спучування.

DOI: 10.32434/0321-4095-2022-145-6-56-60**Вступ**

В останні роки при виробництві різних будівельних матеріалів і виробів особлива увага приділяється ефективному використанню мінеральних ресурсів. Створення та впровадження маловідходних і безвідходних технологій, спрямованих на більш повне використання вторинних ресурсів, є актуальною задачею.

Застосування пористих склокристалічних матеріалів у будівництві економічно доцільно лише в тому випадку, якщо при їх виробництві використовують сировинні матеріали, які мають невисоку вартість і є доступними у великих кількостях.

Результати аналізу патентної та науково-технічної літератури вказують на можливість одержання пористого склокристалічного мате-

ріалу при комплексному використанні склобою з природними та вторинними сировинними матеріалами [1–12]. Такий підхід до синтезу пористих матеріалів сприяє зниженню споживання первинних природних ресурсів і поліпшенню екологічної обстановки. Тому перспективним напрямком є отримання таких матеріалів на основі склобою з додаванням відходів виробництв [13–15], які можуть розглядатись як комплексні газоутворюючі добавки, більша частина яких буде мати значення наповнювача, решта – газоутворювача. Кількість такої добавки в складі матеріалів складає до 25 мас.%. Помел сировинної суміші, яка містить бій скла та газоутворюючу добавку, здійснюють сухим способом у кульовому млині до питомої поверхні порошоків 300 м²/кг. Проте Наумов зі співавторами [16] запропонували для одержання піно-

© Я.І. Лихолат, 2022



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Y. Lykholat

скла з використанням карбонатного газоутворювача застосовувати склобій, розмелений до питомої поверхні 300–500 м²/кг. Авторами [17] із газоутворюючої суміші, яка складалася з тонкомеленого склобою ($S_{\text{пит}}=465$ м²/кг) та 3 мас.% меленого доломіту ($S_{\text{пит}}=250$ м²/кг), при температурі 750°C було отримане піноскло з об'ємною вагою 205 кг/м³ та міцністю на стиск 0,9 МПа. В роботі [18] після оцінювання мікроструктури піноскла, одержаного з бою тарних стекел, зазначається, що чим менший розмір зерен склобою, тим більш гомогенізовані пори в матеріалі. Однак висока тонина помелу сировинної суміші призводить до підвищення витрат на виробництво піноскла.

Тому метою даної роботи є дослідження впливу тонини помелу склобою на властивості пористих склокристалічних матеріалів (ПСКМ), отриманих з використанням відходів металургійних виробництв Дніпропетровської області.

Методи дослідження та оцінювання результатів

Для виготовлення дослідних зразків використовувалися бій листового скла, а як газоутворювач – мартенівський шлак ВАТ «Інтерпайп НТЗ».

Всі сировинні матеріали подрібнювали у кульовому барабанному млині з керамічними молотковими тілами сухим способом, після чого визначали їх питому поверхню. Компоненти шихти перемішували в сухому стані. З оцінювання порошоків методом напівсухого пресування формували зразки циліндричної форми. Після сушіння їх випалювали за температури 750°C. Випал здійснювали за температурно-часовими режимами, що включали завантаження у піч при температурі 600°C з наступним швидким підйомом до максимальної, витримання при цій температурі протягом 1 год та охолодження разом з піччю.

Питому поверхню розмелених порошоків визначали на приладі Товарова, суть якого заснована на вимірюванні опору, який чинить шар ущільненого матеріалу повітрю, що просмоктується.

Для дослідних зразків визначали об'ємну вагу (кг/м³); коефіцієнт спучування (K_v), як відношення об'ємів матеріалів до та після нагріву та механічну міцність на стиск (МПа).

Тип структури оцінювали за середнім розміром пор, що переважають. Дрібнопориста структура має середній розмір пор менше 0,5 мм; середньопориста – 0,5–3,0 мм та крупнопориста >3,0 мм.

Результати дослідження та обговорення

Для одержання дослідних мас бій скла попередньо розмелювався протягом 4, 6, 8, 10 та 12 год в кульовому млині. Залежність питомої поверхні порошку склобою від часу помелу наведена на рис. 1.



Рис. 1. Залежність питомої поверхні склобою від часу помелу

З рис. 1 видно, що при збільшенні часу помелу на 2 год питома поверхня склобою підвищується в середньому на 23 м²/кг.

З одержаних порошоків склобою, що мали різну питому поверхню, готували дослідні суміші шляхом введення в них газоутворюючу добавку у вигляді мартенівського шлаку в кількості 7,5 мас.%. Залежність коефіцієнта спучування зразків з дослідних сумішей після випалу від питомої поверхні склобою наведена на рис. 2, а характер розподілу пор в дослідних матеріалах – на рис. 3.

Якщо порівнювати зміну K_v дослідних зразків (рис. 2), то можна відмітити загальну тенденцію його зростання зі збільшенням питомої поверхні склобою. Максимальне спучування ($K_v=4,72$) спостерігається для маси із вмістом склобою з питомою поверхнею 335 м²/г.

Аналіз розподілу пор в дослідних матеріалах (рис. 3) показав, що зі збільшенням питомої поверхні склобою структура зразків

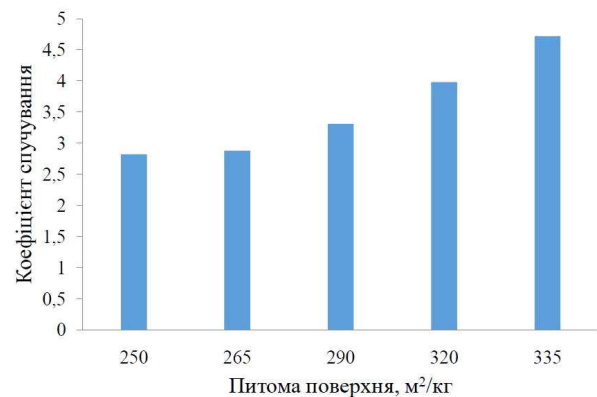


Рис. 2. Залежність коефіцієнту спучування дослідних зразків від питомої поверхні склобою

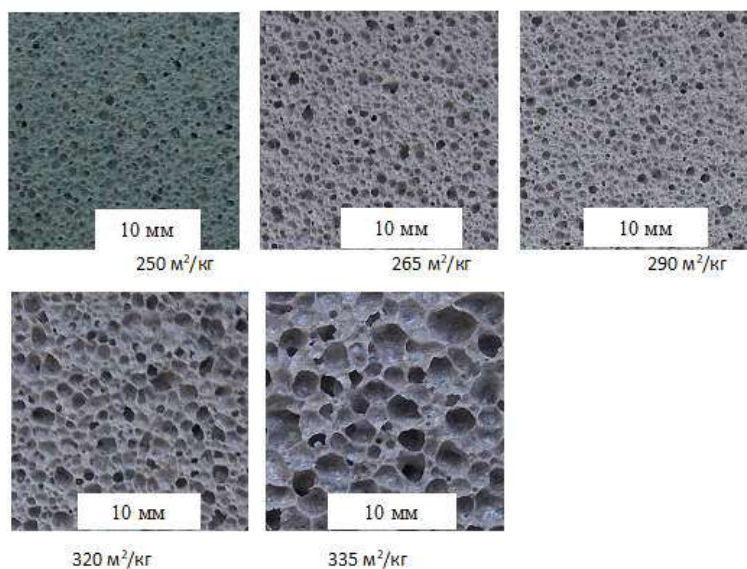


Рис. 3. Характер розподілу пор в дослідних зразках з вмістом мартенівського шлаку та склобою з різною питомою поверхнею

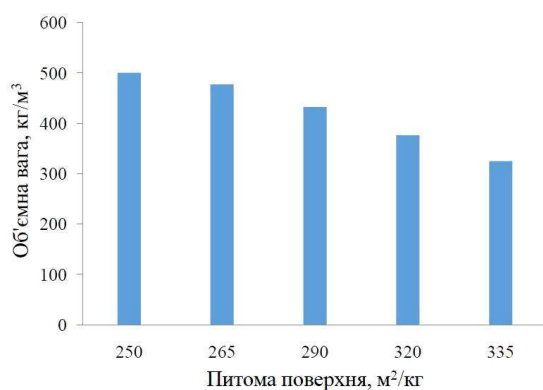


Рис. 4. Залежність об'ємної ваги дослідних зразків від питомої поверхні склобою

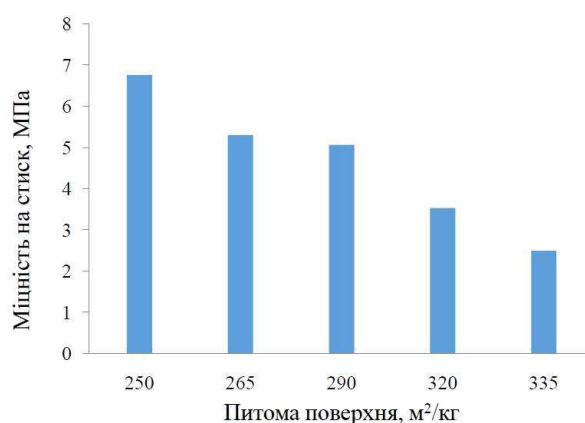


Рис. 5. Залежність межі міцності на стиск дослідних зразків від питомої поверхні склобою

змінюється від дрібно- (0,5 мм) до середньопористої (2–3 мм). При цьому спостерігається зниження об'ємної ваги зразків від 500 кг/м³ до 325 кг/м³ (рис. 4) та відповідне зниження межі міцності на стиск від 6,76 до 2,59 МПа (рис. 5).

Слід зазначити, що для отримання ПСКМ з використанням як газоутворювача мартенівського шлаку в кількості 7,5 мас.% нами в попередніх роботах застосовувався склобій з питомою поверхнею 300 м²/кг. При цьому дослідні матеріали характеризувалися об'ємною вагою 391 кг/м³, міцністю на стиск 5,34 МПа та середньопористою структурою із середнім розміром пор 1 мм.

Висновки

Таким чином, встановлено, що при використанні як газоутворювачів комплексних газоутворюючих добавок техногенного походження для одержання ПСКМ з дрібно- та середньопористою структурою, порівняно низькою об'ємною вагою (432–376 кг/м³) та підвищеною міцністю на стиск (5,34–3,53 МПа) слід застосовувати порошок склобою з питомою поверхнею не нижче 290 м²/кг. Використання склобою з питомою поверхнею більше ніж 320 м²/кг не є доцільним через підвищення витрат на помел, при цьому збільшується середній розмір пор та знижується міцність матеріалу до 2,29 МПа, хоча об'ємна вага таких ПСКМ становить 325 кг/м³.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Utilization of mineral wool waste and waste glass for synthesis of foam glass at low temperature* / Ji R., Zheng Y., Zou Z., Chen Z., Wei S., Jin X., Zhang M. // *Constr. Build. Mater.* – 2019. – Vol. 215. – P.623-632.
2. *Novel preparation of foamed glass-ceramics from asbestos tailings and waste glass by self-expansion in high temperature* / Zheng W.W., Sun H.J., Peng T.J., Zeng L. // *J. Non-Cryst. Solids.* – 2020. – Vol.529. – Art. No. 119767.
3. *Glass foams produced from glass bottles and eggshell wastes* / Souza M.T., Maia B.G.O., Teixeira L.B., de Oliveira K.G., Teixeira A.H.B., Novaes de Oliveira A.P. // *Process Saf. Environ. Prot.* – 2017. – Vol. 111. – P.60-64.
4. *Preparation and characterization of glass-ceramic foams from blast furnace slag and waste glass* / Ding L., Ning W., Wang Q., Shi D., Luo L. // *Mater. Lett.* – 2015. – Vol.141. – P.327-329.
5. *Recycling of waste amber glass and porcine bone into fast sintered and high strength glass foams* / Gong Y., Dongol R., Yatongchai C., Wren A.W., Sundaram S.K., Mellott N.P. // *J. Clean. Prod.* – 2016. – Vol.112. – No. 5. – P.4534-4539.
6. *Effect of KNO₃ on the microstructure and physical properties of glass foam from solid waste glass and SiC powder* / Wang X., Feng D., Zhang B., Li Z., Li C., Zhu Y. // *Mater. Lett.* – 2016. – Vol.169. – P.21-23.
7. *Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass* / Zhu M., Ji R., Li Z., Wang H., Liu L., Zhang Z. // *Constr. Build. Mater.* – 2016. – Vol.112. – P.398-405.
8. *Optimal conditions and significant factors for fabrication of soda lime glass foam from industrial waste using nano AlN* / Ewais E.M.M., Attia Mohammed A.A., El-Amir A.A.M., Elshenway A.M.H., Fend T. // *J. Alloys Compd.* – 2018. – Vol.747. – P.408-415.
9. *Phase evolution, pore morphology and microstructure of glass ceramic foams derived from tailings wastes* / Liu T., Lin C., Liu J., Han L., Gui H., Li C., Zhou X., Tang H., Yang Q., Lu A. // *Ceram. Int.* – 2018. – Vol.44. – No. 12. – P.14393-14400.
10. *Preparation of glass-ceramic foams using extracted titanium tailing and glass waste as raw materials* / Xi C., Zheng F., Xu J., Yang W., Peng Y., Li Y., Li P., Zhen Q., Bashir S., Liu J.L. // *Constr. Build. Mater.* – 2018. – Vol.190. – P.896-909.
11. *Reuse of mineral wool waste and recycled glass in ceramic foams* / Chen Z., Wang H., Ji R., Liu L., Cheeseman C., Wang X. // *Ceram. Int.* – 2019. – Vol.45. – No. 12. – P.15057-15064.
12. *Effect of sintering temperature on the crystal growth, microstructure and mechanical strength of foam glass-ceramic from waste materials* / Saparuddin D.I., Hisham N.A.N., Aziz S.A., Matori K.A., Honda S., Iwamoto Y., Zaid M.H.M. // *J. Mater. Res. Technol.* – 2020. – Vol.9. – No. 3. – P.5640-5647.
13. Білий Я.І., Кольцова Я.І., Нікітін С.В. Про можливість отримання пористих склокристалічних матеріалів з використанням бою віконного скла та легкоплавких глин // *Вісн. нац. техн. ун-ту «ХПІ»*. – 2012. – № 48(954). – С.138-146.
14. Nikitin S., Kol'tsova Y., Belyi Y. Production of porous glass-crystalline materials using different types of natural and recycled resources // *J. Univ. Chem. Technol. Metall.* – 2013. – Vol.48. – No. 4. – P.396-405.
15. Білий Я.І., Кольцова Я.І., Нікітін С.В. Одержання пористих склокристалічних матеріалів з використанням бою скла та доменного шлаку // *Вопр. хімії і хім. технол.* – 2012. – № 2. – С.163-166.
16. *Пат. 2149146* Росія, МПК С03С11/00. Шихта для получения пеностекла / Наумов В.И., Ахлестин Е.С., Гимик В.В., Головин Е.П., Сучков В.П.; заявл. 21.12.98; опубл. 20.05.2000.
17. Гаркави М.С., Мельчаева О.К., Назарова А.І. Влияние технологических параметров подготовки шихты на свойства пеностекла // *Стекло и керамика*. – 2011. – № 2. – С.8-10.
18. *Preparation and characterization of foam glass from waste container glasses and water glass for application in thermal insulations* / Owwoeye S.S., Matthew G.O., Oviemhanda F.O., Tunmilayo S.O. // *Ceram. Int.* – 2020. – Vol.46. – P.11770-11775.

Надійшла до редакції 13.08.2022

INFLUENCE OF FINENESS OF GLASS CULLET GRINDING ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF POROUS GLASS CERAMIC MATERIALS

Y. Lykholat

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

e-mail: kolyariv@ukr.net

This research was aimed at establishing the effect of fineness of glass cullet grinding on the properties of porous glass ceramic materials obtained using open-hearth furnace slag as a gas-forming agent. Firing of the samples was carried out at the temperature of 750°C. For the samples under study, the volumetric weight and compressive strength were determined, the swelling coefficients were calculated, and the types of structure were analyzed, which depend on the average diameter of the predominant pores. It was found that the average pore size increased and the structure of the samples changed from fine (0.5 mm) to medium-porous (2–3 mm) with an increase in the specific surface of cullet. At the same time, there was a decrease in the volumetric weight of the samples from 500 kg m⁻³ to 325 kg m⁻³ and, accordingly, a decrease in the compressive strength limit from 6.76 MPa to 2.59 MPa. It was determined that it is necessary to use cullet with a specific surface area of at least 290 m² kg⁻¹ in order to obtain materials with a uniform fine- and medium-porous structure (average pore size of up to 1 mm). In the case of using cullet with a specific surface of 320 m² kg⁻¹, it is possible to obtain material having swelling coefficient of 3.98, volumetric weight of 376 kg m⁻³ and compressive strength of 3.53 MPa. A further increase in fineness of cullet grinding increases production costs and allows obtaining materials with lower volumetric weight and strength and with a pore size of up to 2–3 mm.

Keywords: porous glass ceramic materials; temperature-time burning mode; volumetric weight; glass cullet; open-hearth furnace slag; swelling coefficient.

REFERENCES

1. Ji R, Zheng Y, Zou Z, Chen Z, Wei S, Jin X, et al. Utilization of mineral wool waste and waste glass for synthesis of foam glass at low temperature. *Constr Build Mater*. 2019; 215: 623-632. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.226.
2. Zheng WM, Sun HJ, Peng TJ, Zeng L. Novel preparation of foamed glass-ceramics from asbestos tailings and waste glass by self-expansion in high temperature. *J Non-Cryst Solids*. 2020; 529: 119767. doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2019.119767.
3. Souza MT, Maia BGO, Teixeira LB, de Oliveira KG, Teixeira AHB, Novaes de Oliveira AP. Glass foams produced from glass bottles and eggshell wastes. *Process Saf Environ Prot*. 2017; 111: 60-64. doi: 10.1016/j.psep.2017.06.011.
4. Ding L, Ning W, Wang Q, Shi D, Luo L. Preparation and characterization of glass-ceramic foams from blast furnace slag and waste glass. *Mater Lett*. 2015; 141: 327-329. doi: 10.1016/j.matlet.2014.11.122.
5. Gong Y, Dongol R, Yatongchai C, Wren AW, Sundaram SK, Mellott NP. Recycling of waste amber glass and porcine bone into fast sintered and high strength glass foams. *J Clean Prod*. 2016; 112: 4534-4539. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.09.052.
6. Wang X, Feng D, Zhang B, Li Z, Li C, Zhu Y. Effect of KNO₃ on the microstructure and physical properties of glass foam from solid waste glass and SiC powder. *Mater Lett*. 2016; 169: 21-23. doi: 10.1016/j.matlet.2015.12.076.
7. Zhu M, Ji R, Li Z, Wang H, Liu L, Zhang Z. Preparation of glass ceramic foams for thermal insulation applications from coal fly ash and waste glass. *Constr Build Mater*. 2016; 112: 398-405. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.183.
8. Eweis EMM, Attia MAA, El-Amir AAM, Elshenway AMH, Fend T. Optimal conditions and significant factors for fabrication of soda lime glass foam from industrial waste using nano AlN. *J Alloys Compd*. 2018; 747: 408-415. doi: 10.1016/j.jallcom.2018.03.039.
9. Liu T, Lin C, Liu J, Han L, Gui H, Li C, et al. Phase evolution, pore morphology and microstructure of glass ceramic foams derived from tailings wastes. *Ceram Int*. 2018; 44: 14393-14400. doi: 10.1016/j.ceramint.2018.05.049.
10. Xi C, Zheng F, Xu J, Yang W, Peng Y, Li Y, et al. Preparation of glass-ceramic foams using extracted titanium tailing and glass waste as raw materials. *Constr Build Mater*. 2018; 190: 896-909. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.09.170.
11. Chen Z, Wang H, Ji R, Liu L, Cheeseman C, Wang X. Reuse of mineral wool waste and recycled glass in ceramic foams. *Ceram Int*. 2019; 45: 15057-15064. doi: 10.1016/j.ceramint.2019.04.242.
12. Saparuddin DI, Hisham NAN, Aziz SA, Matori KA, Honda S, Iwamoto Y, et al. Effect of sintering temperature on the crystal growth, microstructure and mechanical strength of foam glass-ceramic from waste materials. *J Mater Res Technol*. 2020; 9: 5640-5647. doi: 10.1016/j.jmrt.2020.03.089.
13. Belyi YaI, Koltsova YaI, Nikitin SV. Pro mozhlyvist'no otrymannya porystykh sklokystalichnykh materialiv z vykorystanniam boyu vikonnogo skla ta legkoplavkykh glyn [About the possibility of obtaining porous glass ceramic materials using window glass and low-melting clays]. *Visn Nats Tekhn Univ «KhPI»*. 2012; 48(954): 138-146. (in Ukrainian).
14. Nikitin S, Kol'tsova Y, Belyi Y. Production of porous glass-crystalline materials using different types of natural and recycled resources. *J Univ Chem Technol Metall*. 2013; 48(4): 396-405.
15. Bilyi YaI, Koltsova YaI, Nikitin SV. Oderzhannya porystykh sklokystalichnykh materialiv z vikorystanniam boyu skla ta domennogo shlaku [Production of porous glass ceramic materials using battle glass and blast furnace slag]. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2012; (2): 163-166. (in Ukrainian).
16. Naumov VI, Akhlestin ES, Gimik VV, Golovin EP, Suchkov VP, inventors; Naumov VI, assignee. *Shikhta dlya polucheniya penostekla* [Charge for obtaining foam glass]. Russian patent RU 2149146. 2000 May 20. (in Russian).
17. Garkavi MS, Mel'chaeva OK, Nazarova AI. Effect of the process parameters of mix preparation on the properties of foam glass. *Glass Ceram*. 2011; 68: 44-46. doi: 10.1007/s10717-011-9318-8.
18. Owoeye SS, Matthew GO, Ovienmhanda FO, Tunmilayo SO. Preparation and characterization of foam glass from waste container glasses and water glass for application in thermal insulations. *Ceram Int*. 2020; 46: 11770-11775. doi: 10.1016/j.ceramint.2020.01.211.