

Оксана Бердник¹, Сергій Виговський², Олексій Ларченко³, Катерина Виговська⁴

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів

Київський національний університет будівництва і архітектури (Київ, Україна)

E-mail: kсениareznik87@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5321-3518>

Scopus Author ID: [57214230362](https://orcid.org/57214230362)

²аспірант кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, операційний директор ТОВ «Гранд Бетон»

Київський національний університет будівництва і архітектури (Київ, Україна)

E-mail: production.dep@grandbeton.com.ua. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5898-1200>

³засновник ТОВ «Гранд Бетон» (Київ, Україна)

E-mail: o.larchenko@grandbeton.com.ua. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2968-4228>

⁴магістр

Київський національний університет будівництва і архітектури (Київ, Україна)

E-mail: katrina1405@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/000-0002-5065-9618>

ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ СКЛЯНОГО БОЮ В БЕТОННОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Із розвитком світової індустріалізації широкого розповсюдження набули відходи скляного бою. Скляний бій не розчинний матеріал у природньому середовищі, але досить перспективний матеріал для застосування при виробництві будівельних матеріалів. На сучасному етапі економічного розвитку країни до найбільш важливих питань, що визначають рівень і прискорення науково-технічного прогресу в промисловості, є зниження матеріало- та енергоємності, підвищення якості існуючих і розробка нових ефективних матеріалів, за умови широкого використання промислових відходів. У цій статті описано проведені дослідження із застосування скляного бою у виробництві цементу для підвищення експлуатаційних характеристик.

Ключові слова: відсортоване скло; тонкодисперсний скляний порошок; бетон; гідроокисльні іони; відходи скла; АДМ; мікроструктура; ресурсозбереження; скляний порошок.

Рис.: 2. Бібл.: 6.

Актуальність теми дослідження. У статті представлено результати науково-методичного дослідження. Питання ресурсозбереження і вторинної переробки сировини дуже гостро стоїть у світі. У результаті індустріалізації та урбанізації щорічно по всьому світу утворюється кілька мільйонів тон відходів скла. Основними джерелами відходів скла є відходів контейнери, екрани вікон, віконне скло, люмінесцентні лампи, лампочки, електронне обладнання, медичні пляшки та пляшки з-під алкогольних напоїв [1]. Більшість відходів скла направляється на сміттєзвалище через домішки, які складно видалити, високі витрати на доставку до заводів із виготовлення скла або змішані відходів потоки різних кольорів, які важко розділити на корисні сировинні запаси скла. Оскільки скло – нерозчинний матеріал, то захоплення таких відходів є недоцільним і не екологічним рішенням. Технологічним підґрунтям для створення матеріалів із додаванням відходів скляного бою слугувало те, що скло за хімічним складом подібний до осадових та метаморфічних порід, а отже, може застосовуватися у виробництві будівельних матеріалів. Тому використання відходів скла в будівельній промисловості є одним із найбільш привабливих шляхів утилізації, оскільки це може забезпечити велику кількість споживання цих матеріалів [2].

Постановка проблеми. Оскільки скло не розкладається природним чином, відходи, що утворюються сьогодні, залишатимуться в навколишньому середовищі сотні, а можливо й тисячі років. Відходи скла не розкладаються легко самі по собі, тому це насамперед не тільки екологічно шкідливо, а й небезпечно [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як за даними міжнародних досліджень, так і досліджень, проведених в Україні, відходи скляного бою можна використовувати в бетонах як заміна щебню від 20-100 % (без втрат фізико-механічних характеристик), часткова заміна цементу та піску, використання скляного порошку (пудри) як активно мінеральної добавки (АМД) [3].

Так, у 60-х роках ХХ століття було проведено багато досліджень з використанням скляного порошку як заповнювача для виробництва бетону [3]. Однак у процесі дослідження, яке тривало з 1963 року і було спрямоване на виробництво архітектурного бетону, виявилось, що бетони з додаванням відходів скляного бою тріскаються. За великого

вмісту скла може виникнути шкідлива лужно-кремнеземна реакція (ASR) в бетоні. ASR є явищем, залежним від поверхні, і створює гель, який при зволоженні набуває об'єму, що призводить до тріщин та зниження міцності. Розширення може бути зменшене, якщо скло розмелено до розміру частинок 300 мкм або менше, тому доцільно розглядати саме часткову заміну цементу. Мелений скляний порошок може діяти як АМД, формуючи С-S-H та підвищуючи міцність та довговічність бетону завдяки високому вмісту кремнезему в скляному порошок [1; 4]. Утворення низькоосновних гідросилікатів кальцію підтверджено даними досліджень, проведених в Україні [4].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питанням вибору і проектування саме створення бетонів з додаванням відходів скляного бою є перспективним напрямом у сфері будівництва. Оскільки додавання скляного бою, підвищує фізико-механічні властивості створюваних матеріалів. Крім того, нині в Україні немає виробництв бетону промислового характеру, які застосовують відходи скляного бою у виробництві.

Метою статті дослідження доцільності використання відходів скляного бою у виробництві бетонів, перевірка можливостей використання у виробництві, пошук за і проти використання відходів скляного бою в будівельній промисловості, визначення сфери застосування цих матеріалів.

Виклад основного матеріалу. Технологічні кроки підготовки скляних відходів до подальшого спрямування у виробництва залежно від розміру часток вказані на рис. 1.

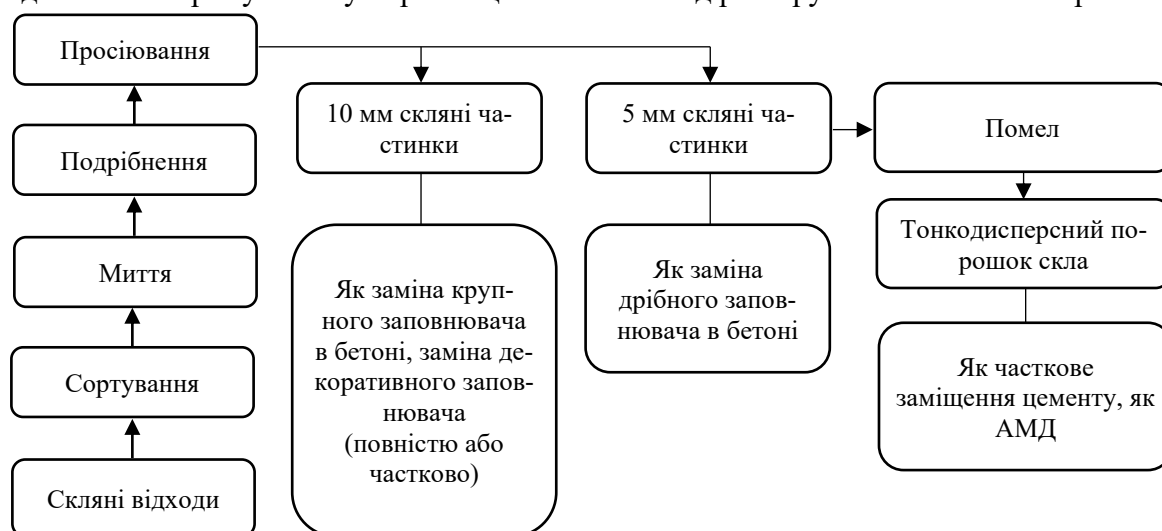


Рис. 1. Технологічна схема отримання скляного продукту

Після збору відсортоване скло відправляється до обробних підприємств для миття та подрібнення. Потім відходи скла просіюються на частинки розміром 10 та 5 мм для різних цілей. Скло частки розміром 10 мм здебільшого використовується як заміник крупного заповнювача, тоді як скло розміром 5 мм використовується як заміник дрібного заповнювача (піску). Нарешті, дрібні частки розмелюються, щоб виготовити тонкодисперсний скляний порошок, який має мінімальне водопоглинання та стійкість до дії високих температур без погіршення фізико-механічних характеристик. Тонкодисперсний скляний порошок із розміром часток від 75 до 150 мкм має найбільш доцільне використання як АМД для заміни цементу в бетоні [4].

У сфері архітектурного та декоративного бетону перероблене скло має вражаючі характеристики завдяки естетичним властивостям відходів скла. Використовуючи різні розміри скла можна досягти кращої естетичної концентрації. Лінг та Пун (2011) продемонстрували, що використання частинок розміром від 2,36 до 5 мм або від 5 до 10 мм може значно підвищити естетичну цінність архітектурного бетону [5].

Тонкодисперсний порошок скла як АМД.

АМД – активна мінеральна добавка - речовина, здатна при змішуванні з вапном і водою утворювати пластичне тісто, яке набирає міцність не тільки на повітрі, але і в воді. Активні мінеральні добавки містять у своєму складі оксид кремнію в аморфному стані (SiO_2 аморф). Аморфний стан, будучи хімічно активним, дозволяє АМД вступати в хімічні реакції.

ASR пов'язане з розширенням цементного продукту через реакцію гідроксильних іонів у цементі з кремнієвим сполуком у заповнювачі. У процесі гідратації пуцоланова реакція відходів скла споживає гідрати цементу (портландит або $\text{Ca}(\text{OH})_2$) та заповнює раніше утворену порову структуру C-S-H, створюючи таким чином більш щільну порову структуру та відповідно підвищуючи міцність цементних матеріалів. Дрібнозернисті відходи скла містять оксид кремнію, SiO_2 , який може реагувати з гідроксидом кальцію ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), утвореним під час гідратації, а пуцоланові реакції виробляють більше C-S-H та зменшують кількість гідроксиду кальцію [5].

Дослідження мікроструктури вказують на те, що порошок відходів скла утворює щільну матрицю і покращує властивості міцності. Так, на основі досліджень, доведено можливість використання порошку скляного бою як активної мінеральної добавки, що впливає на кінетику набору міцності при стиску та процеси структуроутворення матеріалу. За результатами досліджень були виявлені високі міцнісні характеристики штучного цементного композиту з введенням 40 % гранульованого доменного шлаку та від 5 до 15 % тонкодисперсного скляного порошку, з показниками міцності 30...106 МПа на 2...90 добу тверднення.

Високі значення міцності пояснюються, тим що за рахунок взаємодії склофази гранульованого доменного шлаку і склопорошкової складової в'язучої речовини з портландитом у бік утворення низькоосновних гідросилікатів кальцію, гідрогранатів і цеолітоподібних кальцієвих гідроалюмосилікатів (на рис. 2 – фото мікроструктур цементного каменю).

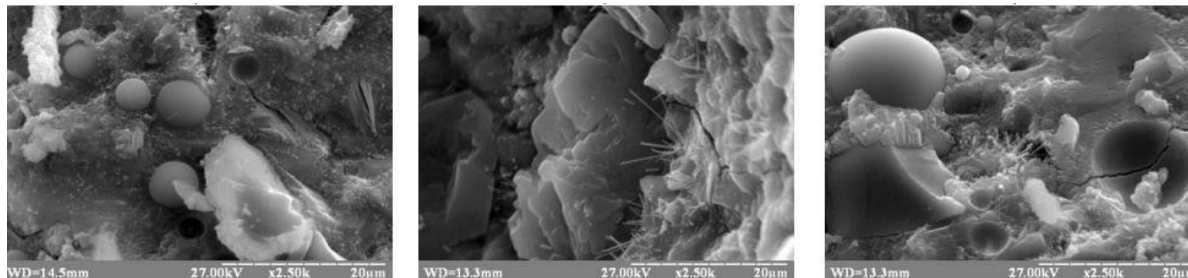


Рис. 2. Електронні мікрофотографії поверхні сколу штучного каменю на основі шлакопортландцементу з вмістом оптимальної кількості шлаку (40 %) на 28 добу тверднення, модифікованого відходами скляного бою в кількості, 5; 10; 15 % відповідно

Автори пропонують дані склади застосовувати для отримання бетонів спеціального призначення з прискореною кінетикою набору міцності як на початкових, так і на пізніх етапах твердіння, а також захисних покриттів для бетону[6].

Висновки. У цій роботі показана доцільність утилізації відходів скляного бою шляхом впровадження їх при виробництві сумішей бетонних та бетонів. Крім того, доведено, залежність властивостей склопорошку від розміру частинок, а також, що тонкодисперсний склопорошок можна використовувати як АМД при виготовленні в'язучих композицій. Усе вищезазначене відкриває нові можливості при створенні бетонів спеціального призначення, захисних покриттів та декоративного архітектурного бетону.

Список використаних джерел

1. Разработка защитных материалов на основе стекло- и шлакосодержащих портландцементных композиций / О. П. Бондаренко, С. Г. Гузий, Е. Д. Захарченко, Е. Д. Новоселенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 6/11(78). – С. 41-47. – DOI: 10.15587/1729-4061.2015.56577.

2. Studies on mortars containing waste bottle glass and industrial by-products / N. Tamanna, N. Mohamed Sutan, D. T. C. Lee and I. Yakub, Ozkan O, Yuksel I. // *Construction and Building Materials*. – 2008. – Vol. 22(6). – Pp. 1288–98.

3. Особливості процесів гідратації та структуроутворення шлакопортландцементів, модифікованих відходами скляного бою / О. П. Бондаренко, О. А. Москаленко, К. Д. Захарченко, Є. Д. Новоселенко // *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. – 2016. – Вип. 63. – С. 110-116.

4. Ling T.C. Feasibility of using recycled glass in architectural cement mortars / T. C. Ling, C. S. Poon, S. C. Kou // *Cement and Concrete Composites*. – 2011. – Vol. 33(8). – Pp. 848–54.

5. Eldagal O.E.A. Study on the Behaviour of High Strength Palm Oil Fuel Ash (POFA) Concrete”. M. Engineering Thesis (Civil and Structure) / O.E.A. Eldagal. – Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia, 2008.

6. Performance of concrete made with steel slag and waste glass / Xin Yu, Zhong Tao, Tian-Yi Song, Zhu Pan // *Construction and Building Materials*. – 2016. – Vol. 114. – Pp. 737-746.

References

1. Bondarenko, O.P., Guziy, S.G., Zakharchenko, E.D., & Novosenko, E.D. (2015). Novosenko Development of protective materials based on glass- and slag-containing Portland cement compositions. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, (6/11(78)), 41-47. doi: 10.15587/1729-4061.2015.56577.

2. N. Tamanna, N. Mohamed Sutan, D. T. C. Lee and I. Yakub, Ozkan O., & Yuksel I. (2008). Studies on mortars containing waste bottle glass and industrial by-products. *Construction and Building Materials*, 22(6), 1288–98.

3. Bondarenko, O.P., Moskalenko, O.A., Zakharchenko, K.D., & Novosenko, E.D. (2016). Peculiarities of the processes of hydration and structuralization of slag Portland cements, modified by the outputs of clay battle. *Bulletin of the Odessa State Academy of Life and Architecture*, 63, 110-116.

5. Eldagal, O.E.A. (2008). Study on the Behaviour of High Strength Palm Oil Fuel Ash (POFA) Concrete [Engineering Thesis (Civil and Structure), Universiti Teknologi Malaysia].

6. Xin Yu, Zhong Tao, Tian-Yi Song, Zhu Pan (2016). Performance of concrete made with steel slag and waste glass. *Construction and Building Materials*, 114, 737-746.

Отримано 06.02.2023

UDC 691.3:691.5

Oksana Berdnyk¹, Serhii Vyhovskyi², Oleksii Larchenko³, Kateryna Vyhovska⁴

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Scientific Research Institute for Binders and Materials Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)

E-mail: kсениарезник87@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5321-3518>

Scopus Author ID: [57214230362](https://orcid.org/57214230362)

²postgraduate Scientific Research Institute for Binders and Materials, operations director «Grand Beton» Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)

E-mail: production.dep@grandbeton.com.ua. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5898-1200>

³founder «Grand Beton» (Kyiv, Ukraine)

E-mail: o.larchenko@grandbeton.com.ua. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2968-4228>

⁴Master

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)

E-mail: katrina1405@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/000-0002-5065-9618>

USE OF WASTE FLOAT GLASS IN CONCRETE PRODUCTION

The issue of resource conservation and secondary processing of raw materials is quite acute in the world. With the development of world industrialization and urbanization, the use of glassware became widespread. Glass block is not a soluble material in the natural environment, but it is a promising material for use in the production of building materials.

The objective needs of production development led to the creation of new materials with increased values of physico-mechanical and special properties. At the current stage of the country's economic development, one of the most important issues that determine the level and acceleration of scientific and technological progress in industry is the reduction of material and energy intensity, the improvement of the quality of existing materials and the development of new effective materials, subject to the wide use of industrial waste.

Rational use of blast furnace slag is an important reserve for increasing the efficiency of metallurgical and cement production. Blast furnace slags are a complete product for the production of construction materials, they are widely used in road construction and agricultural purposes. In the production of cement, granulated blast furnace slag is used as an active hydraulic additive and, in a small amount, as one of the components of the raw material mixture.

The purpose of the article is to investigate the feasibility of using glass waste in the production of concrete, check the possibilities of use in production, search for and against the use of glass waste in the construction industry, and determine the scope of application of these materials.

Based on the principles and approaches of microstructure research, the research methodology and the possibility of using glass bottle powder as an active mineral additive, which affects the kinetics of compressive strength gain and material structure formation processes are presented.

In the work, for the first time, a general approach to the functional analysis of the technological process of cement production with the addition of impurities in the form of glass bottle is proposed. The presented materials can be used for the reasonable selection or design of concrete mixes for road surfaces and building reconstruction.

Keywords: sorted glass; finely dispersed glass powder; concrete; hydroxide ions; ADM; microstructure; resource saving; curing powder.

Fig.: 2. References: 6.