

## ЖАРОСТІЙКІ БЕТОНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Проаналізувавши світовий та вітчизняний досвід виготовлення жаростійких бетонів, можна зробити висновок, що в теперішній час є актуальними розробки ефективних складів жаростійких бетонів для використання їх у широкому діапазоні температур (1000-1700 °С), а також технологій виробництва жаростійких виробів на їх основі.*

**Ключові слова:** промислові відходи, жаростійкі бетони, будівельні матеріали.

### Abstract

*Having analyzed the world and domestic experience in the production of heat-resistant concrete, it can be concluded that the development of effective compositions of heat-resistant concrete for their use in a wide range of temperatures (1000-1700 °C), as well as technologies for the production of heat-resistant products based on them, are currently relevant.*

**Keywords:** industrial waste, heat-resistant concrete, building materials.

### Вступ

В теперішній час проблема одержання жаростійких бетонів тісно пов'язана як з покращенням технологічних та експлуатаційних властивостей матеріалу, так і з використанням техногенної сировини, можливість якої для цих цілей недостатньо досліджені [1]. У зв'язку з цим практичний інтерес становить розробка нових видів жаростійких бетонів, що виробляються на основі різних промислових відходів та побічних продуктів.

Що стосується виробництва жаростійких бетонів особливе місце займають алюмосилікатні сполуки каркасної структури, аналогічні природним цеолітам. З'єднання цеолітової структури, що є основою лужних і лужно-лужно-земельних в'язучих, здатні гідратуватися без руйнування жорсткого алюмосилікатного каркаса до температур 920-1100°C залежно від співвідношення  $Al_2O_3$  [2-3].

Вміст цементуючої речовини в бетоні легко піддається регулюванню шляхом дозування його компонентів, умов та режимів формування структури на основі відомих із загального бетонознавства методів. Хімічний та фазовий склад цементуючої речовини жаростійких бетонів можна регулювати, змінюючи хіміко-мінералогічний склад в'язучих [4]. Тому розробка нових видів в'язучих для отримання жаростійких бетонів має важливе наукове та прикладне значення.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз опублікованих робіт показав, що в даний час є актуальними розробки ефективних складів жаростійких бетонів для використання їх у широкому діапазоні температур (1000-1700 °С), а також технологій виробництва жаростійких виробів на їх основі [5-6].

За сучасних умов зведення та ремонту теплових агрегатів потрібний швидкий темп введення їх в експлуатацію. У зв'язку з цим найперспективнішими в'язучими для отримання жаростійкого бетону є в'язучі зі швидкими термінами твердіння [7-8]. До таких видів в'язучих можна віднести глиноземистий (ГЦ), високоглиноземний цемент (ВГЦ) та високоглиноземистий корозійностійкий цемент (ВГКЦ) [9]. При цьому високоглиноземистому цементу можуть пред'являтися досить високі вимоги щодо його складу. За даними ряду опублікованих робіт ВГКЦ повинен містити 72-75% оксиду

алюмінію та 22-25% оксиду кальцію; інших оксидів, таких як  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  та ін, має міститися мінімальна кількість [10-11].

Відомо, що після високотемпературного нагрівання міцність жаростійкого бетону істотно знижується. У дослідженнях, проведених авторами [12-13], встановлено, що найкращими жаростійкими властивостями володіє гідратований аліт, основний мінерал портландцементного клінкеру  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , який майже не знижує міцності при нагріванні до  $1200^\circ\text{C}$ .

### Основна частина

Номенклатура сировинних матеріалів для приготування жаростійких бетонів може бути розширена за рахунок використання різних промислових відходів, серед яких значне місце займають металургійні шлаки. Аналіз хіміко-мінералогічного складу та властивостей шлаків заводів нашої країни показує, що багато з них можуть бути цінною сировиною для приготування компонентів жаростійких бетонів. Використання відходів дозволить розширити сировинну базу та сприятиме оздоровленню навколишнього середовища.

Найбільш перспективними сировинними матеріалами із металургійних шлаків є феросплави. На їх основі можна отримувати в'язучі, заповнювачі, тонкомолоті добавки для жаростійких та вогнетривких бетонів з температурою нагріву  $800\text{--}1700^\circ\text{C}$ . Для в'язучих жаростійких бетонів доцільно використовувати шлаки алюмінотермічного виробництва безвуглецевого ферохрому наступного складу, мас. %:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 50–60;  $\text{CaO}$  - 13-25;  $\text{MgO}$  - 10-20;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  - 3–12;  $\text{FeO}$  - 0,1-2;  $\text{SiO}_2$  - 0,5–5 [14].

Фазовий склад металургійних шлаків представлений алюмінатами складу  $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  та  $12\text{CaO}\cdot7\text{Al}_2\text{O}_3$  та алюмомагнезійною хромовмісною шпинеллю. При вмісті в шлаках  $\text{SiO}_2$  більше 4% вони при охолодженні можуть розпадатися за рахунок утворення  $\gamma\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  [15]. За вмістом основних оксидів ці шлаки близькі до деяких видів вапняно-магнезійних глиноземистих цементів, що широко застосовуються в зарубіжній практиці. Перевагою цих цементів є підвищений вміст шпинелі, що надає бетонам на їх основі високу вогнетривкість, стійкість в агресивних середовищах та малу усадку після нагрівання.

Встановлено, що після помелу шлаки безвуглецевого ферохрому набувають властивостей швидкотвердіючого гідралічного в'язучого з міцністю у тридобовому віці 20–35 МПа. При вивченні жаростійких властивостей гідратованого шлакового в'язучого встановлено, що мінімальна залишкова міцність отриманого цементного каменю зразків після впливу температури  $1200^\circ\text{C}$  становить 35-60%; усадка 1,3-1,6%; вогнетривкість  $1520\text{--}1540^\circ\text{C}$ ; температура деформації під навантаженням 0,2 МПа: початок розм'якшення  $1220\text{--}1230^\circ\text{C}$ ; руйнування при  $1400\text{--}1500^\circ\text{C}$  [16-17]. В якості тонкомолотих добавок до жаростійких бетонів на портландцементі необхідно використовувати шлаки від виплавки феромолібдену, феромарганцю і силікомарганцю та ферохромові шлаки, що саморозпадаються [18]. Ферромолібденовий шлак, що утворюється в результаті силікотермічного виплавлення феромолібдену, являє собою безлужне скло. Хімічний склад таких шлаків представлений переважно оксидами:  $\text{SiO}_2$  – до 68%;  $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$  – до 20%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – до 15% та у невеликих кількостях  $\text{CaO}$  та  $\text{MgO}$ . Це визначає їхню високу реакційну здатність щодо зв'язування вільного оксиду кальцію при нагріванні. Тонкомолотий шлак (з питомою поверхнею  $350\text{ м}^2/\text{кг}$ ), введений у портландцемент у кількості 30–50% за масою забезпечує термічну стійкість цементного каменю в інтервалі температур  $110\text{--}1000^\circ\text{C}$ , як і тонкомолотий шамот. Вогнетривкість отриманого жаростійкого в'язучого становить  $1030\text{--}1040^\circ\text{C}$  [19].

Проведені дослідження, в результаті яких на основі фосфатного в'язучого та хромглиноземистого шлаку розроблено високовогнетривкий бетон. Встановлено, що в якості зв'язки можна застосовувати ортофосфорну кислоту 30-70% концентрації, а як заповнювачі шлак з максимальною крупністю зерен 10 мм. Бетон на 30% кислоті має здатність твердіти в природних умовах. Міцність цього бетону становить 35-50 МПа, а залишкова міцність після нагрівання до  $1700^\circ\text{C}$  знаходиться в межах 80-100% [20]. У процесі нагрівання до  $1300^\circ\text{C}$

такий бетон характеризується сталим об'ємом, а при вищій температурі має незначне розширення. Максимальна температура експлуатації бетону 1700°C. Шлаки феросплавного виробництва можуть застосовуватися для приготування не тільки важких, але й легких жаростійких бетонів.

Розроблено технологію виготовлення жаростійкого газобетону на фосфатному в'язучому та різних вогнетривких наповнювачах. При використанні тонкомолотого вогнетривкого наповнювача шлаку виплавки металевого хрому отримано фосфатний газобетон із середньою щільністю 400-800 кг/м<sup>3</sup>, міцністю на стиск 1-6 МПа, температурою застосування 1350-1400°C [21-22]. З такого бетону можна виготовляти вироби будь-якої конфігурації. Також можна отримати заповнювач типу керамзиту фракції 0,14-20 мм з насипною щільністю 500-850 кг/м<sup>3</sup>, вогнетривкістю вище 1700°C [23], а основі такого заповнювача легкі бетони вогнетривкістю 1200-1500°C.

### Висновки

Таким чином, використання шлакових складових дозволяє розширити сировинну базу, знизити вартість жаростійких бетонів, заощадити значну кількість цементу, у ряді випадків отримувати бетони з кращими показниками ніж на традиційних складових.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Glovyn, N., et al. Technical, agricultural and physical sciences as the main sciences of human development. International Science Group, 2024.
2. Hladyshev, D., et al. Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions. International Science Group, 2023.
3. Beresjuk, O., et al. Theoretical and scientific foundations in research in Engineering. Vol. 1. International Science Group, 2022.
4. Demchyna, B., L. Vozniuk, and M. Surmai. "Scientific foundations of solving engineering tasks and problems." (2021).
5. Kornylo, I., O. Gnyp, and M. Lemeshev. "Scientific foundations in research in Engineering." (2022).
6. Lemeshev, M., O. Bereziuk, and K. Sivak. "Features of the use of industrial waste in the field of building materials." Scientific foundations in research in Engineering. 1.2: 25–32. (2022).
7. Wójcik, Waldemar, and Małgorzata Pawłowska, eds. Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals. Routledge, 2021.
8. Hladyshev, D., et al. Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture. International Science Group, 2023.
9. Sokolovskaya, O. "Scientific foundations of modern engineering/Sokolovskaya O., Ovsiannykova L. Stetsiuk V., etc–International Science Group." Boston: Primedia eLaunch 528 (2020).
10. Лемешев, М. С., Сивак, К. К., Стаднийчук, М. Ю. (2021). Сучасні підходи комплексної переробки промислових техногенних відходів. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 31(2), 37-44.
11. Bereziuk, O., M. Lemeshev, and A. Cherepakha. "Ukrainian prospects for landfill gas production at landfills." Theoretical aspects of modern engineering: 58-65. (2020).
12. Лемешев, М. С., М. Ю. Стаднийчук "Жаростойкое вяжущее на основе промышленных отходов." Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: 168-171. (2019).
13. Сердюк, В. Р., et al. "Пути использования дисперсных металлических шламов." (2004).
14. Lemeshev, M., O. Bereziuk, and K. Sivak. "Features of the use of industrial waste in the field of building materials." Scientific foundations in research in Engineering. 1.2: 25–32. (2022).
15. Лемешев, М. С., О. В. Христинч, and О. В. Березюк. "Дрібнозернистий бетон з модифікованим заповнювачем техногенного походження." Materiały XI Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Naukowa przestrzeń Europy–2015». Sp. z oo «Nauka i studia», 2015.
16. Медведь, Я. О. Спеціальні жаростійкі бетони з використанням промислових відходів. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021.
17. Іванов, О. А. Композиційний жаростійкий бетон з використанням відходів виробництва. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021.
18. Лемешев М. С. Ніздрюваті бетони з використанням промислових відходів / М. С.

Лемешев, О. В. Березюк // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте '2017 : материалы международной научно-практической Интернет-конференции. – Москва : SWorld, 2017. – 7 с.

19. Kalafat, K., L. Vakhitova, and V. Drizhd. "Technical research and development." International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 616 p. (2021).

20. Hnes, L., S. Kynytskyi, and S. Medvid. "Theoretical aspects of modern engineering." International Science Group: 356 p. (2020).

21. Лемешев, М. С., et al. "Перспективи використання техногенної сировини при виробництві композиційних в'язучих." Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. № 2: 36-45. (2022).

22. Sivak, K., Use of industrial waste for increased experimental properties in construction. Львів: Національний університет "Львівська політехніка", 2023.

23. Лемешев, М. С., О. В. Христинч, and О. В. Березюк. "Комплексна переробка техногенних відходів хімічної промисловості та металообробних виробництв." Materiály XI Mezinárodní vědecko-praktická konference «Aktuální vymoženosti vědy–2015». Publishing House «Education and Science» sro, 2015., 2015.

*Лемешев Михайло Степанович, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mlemeshev@i.ua*

*Lemeshev Mikhail - Ph.D., associate professor of urban planning and architecture, Vinnytsia National Technical University, e-mail: mlemeshev@i.ua*