Жаростійкі та вогнетривкі бетони на основі промислових відходів

Михайло Лемешев, Олег Березюк

Вінницький національний технічний університет
м. Вінниця, Україна

I. Вступ

В даний час проблема одержання жаростійких бетонів тісно пов'язана як з покращенням технологічних та експлуатаційних властивостей матеріалу, так і з використанням техногенної сировини, можливості 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'яжучих, здатні гідратуватися без руйнування жорсткого алюмосилікатного каркаса до температур 920-1100ºС 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 склади цементуючої речовини жаростійких бетонів можна регулювати, змінюючи хіміко-мінералогічний склад в'яжучих [4]. Тому розробка нових видів в'яжучих для отримання жаростійких бетонів має важливе наукове та прикладне значення.

II. 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 ºС), 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’яжучими для отримання жаростійкого бетону є в'яжучі зі швидкими термінами твердіння [7-8]. До таких видів в'яжучих 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 SiO_2, Fe_2O_3, 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 $3CaO\ SiO_2$, який майже не знижує міцності при нагріванні до 1200ºС.

III. Виклад основного матеріалу

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 феросплавні. На їх основі можна отримувати в'яжучі, заповнювачі, тонкомолоті добавки для жаростійких та вогнетривких бетонів з температурою нагріву 800–1700°С. Для в'яжучих жаростійких бетонів доцільно використовувати шлаки алюмінотермічного виробництва безвуглецевого ферохрому наступного складу, мас. %: Al_2O_3 – 50–60; CaO - 13-25; MgO - 10-20; Cr_2O_3 – 3–12; FeO - 0,1-2; SiO_2 – 0,5–5 [14].

Фазовий склад металургійних шлаків представлений алюмінатами складу $CaO{\bullet}Al_2O_3$ та $12CaO{\bullet}7Al_2O_3$ та алюмомагнезіальною хромовмісною шпинеллю. При вмісті в шлаках SiO_2 більше 4% вони при охолодженні можуть розпадатися за рахунок утворення γ-$2CaO{\bullet}SiO_2$ [15]. За вмістом основних оксидів ці шлаки близькі до деяких видів вапняно-магнезіальних 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 гідравлічного в'яжучого з міцністю у тридобовому віці 20–35 МПа. При вивченні жаростійких властивостей гідратованого шлакового в'яжучого встановлено, що мінімальна залишкова міцність отриманого цементного каменю зразків після впливу температури 1200°С становить 35-60%; усадка 1,3-1,6%; вогнетривкість 1520-1540°С; температура деформації під навантаженням 0,2 МПа: початок розм'якшення 1220-1230°С; руйнування при 1400-1500°С [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: SiO_2 – до 68%; $FeO+Fe_2O_3$ – до 20%; Al_2O_3 – до 15% та у невеликих кількостях CaO та MgO. Це визначає їхню високу реакційну здатність щодо зв'язування вільного оксиду кальцію при нагріванні. Тонкомолотий шлак (з питомою поверхнею 350 $м^2$/кг), введений у портландцемент у кількості 30–50% за масою забезпечує термічну стійкість цементного каменю в інтервалі температур 110–1000°С, як і тонкомолотий шамот. Вогнетривкість отриманого жаростійкого в'яжучого становить 1030-1040°С [19].

Проведено дослідження, в результаті яких на основі фосфатного в'яжучого 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°С знаходиться в межах 80-100% [20]. У процесі нагрівання до 1300°С такий бетон характеризується сталим об’ємом, а при вищій температурі має незначне розширення. Максимальна температура експлуатації бетону 1700°С . Шлаки феросплавного виробництва можуть застосовуватися для приготування не тільки важких, але й легких жаростійких бетонів.

Розроблено технологію виготовлення жаростійкого газобетону на фосфатному в'яжучому та різних вогнетривких наповнювачах. При використанні тонкомолотого вогнетривкого наповнювача шлаку виплавки металевого хрому отримано фосфатний

газобетон із середньою щільністю 400-800 кг/м^3, міцністю на стиск 1-6 МПа, температурою застосування 1350-1400°С [21]. 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^3, вогнетривкістю вище 1700°С [22], а на основі такого заповнювача легкі бетони вогнетривкістю 1200-1500°С.

IV. 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.

Література

[1] Hladyshev, D., et al. Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions. International Science Group, 2023.

[2] Лемешев М.С. В'яжучі з використанням промислових відходів Вінниччини / М.С. Лемешев // Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології : наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я", Харків, 18-20 травня 2016 р. – Харків : НТУ "ХПІ". – С. 381

[3] Demchyna, B., L. Vozniuk, and M. Surmai. "Scientific foundations of solving engineering tasks and problems." (2021).

[4] Kornylo, I., O. Gnyp, and M. Lemeshev. "Scientific foundations in research in Engineering." (2022).

[5] 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).

[6] Христич, О. В., Черепаха, Д. В. (2019). Радіозахисний металонасичений бетон поліфункціонального призначеня. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві.№ 2: 37-45.

[7] Hladyshev, D., et al. Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture. International Science Group, 2023.

[8] Sokolovskaya, O. "Scientific foundations of modern engineering/Sokolovskaya O., Ovsiannykova L. Stetsiuk V., etc–International Science Group." Boston: Primedia eLaunch 528 (2020).

[9] Лемешев, М. С., Сівак, К. К., Стаднійчук, М. Ю. (2021). Сучасні підходи комплексної переробки промислових техногенних відходів. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 31(2), 37-44.

[10] Лемішко, К. К. Жаростійке в'яжуче з використанням відходів промисловості. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, 2019.

[11] Лемешев, М. С., М. Ю. Стаднийчук "Жаростойкое вяжущее на основе промышленных отходов." Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: 168-171. (2019).

[12] Lemeshev, M., et al. "Complex binder based on industrial man-made waste." Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions: 51–59. (2023).

[13] Березюк, О. В. Фосфогіпсозолоцементні та металофосфатні в'яжучі з використанням відходів виробництва. Київський національний університет будівництва і архітектури, 2011

[14] Лемешев, М. С., О. В. Христич, and О. В. Березюк. "Дрібнозернистий бетон з модифікованим заповнювачем техногенного походження." Materiały XI Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji «Naukowa przestrzeń Europy–2015». Sp. z oo «Nauka i studia», 2015.

[15] Лемешев М. С. Особливості використання промислових техногених відходів в галузі будівельних матеріалів / М. С. Лемешев, К. К. Сівак, М. Ю. Стаднійчук // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2020. – № 2.

[16] Медведь, Я. О. Спеціальні жаростійкі бетони з використанням промислових відходів. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021.

[17] Стаднійчук, М. Ю. Використання відходів металургійної промисловості для отримання жаростійких бетонів. ВНТУ, 2024.

[18] Іванов, О. А. Композиційні вогнетривкі бетони. Національний університет цивільного захисту України, 2024.

[19] Hnes, L., S. Kunytskyi, and S. Medvid. "Theoretical aspects of modern engineering." International Science Group: 356 p. (2020).

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

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

[22] Лемешев, М. С., О. В. Христич, 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.