

до яких відносяться низькоцементні вогнетривкі бетони. Ефективне поєднання фізико-хімічних властивостей низькоцементних бетонів з високою адаптаційною здатністю до температурних умов експлуатації, суттєві техніко-економічні переваги використання монолітних футеровок обумовили застосування цих бетонів практично на всіх переділах металургійного виробництва [1–4].

Низькоцементні бетони представляють собою багатокомпонентну композиційну систему і містять у речовинному складі зернистий та тонкодисперсний вогнетривкий заповнювач, кальційалюмінатний цемент з вмістом оксиду алюмінію понад 70 %, хімічні, мінеральні та органо-мінеральні добавки, які за рахунок дефлокуляції цементної складової та пластифікації бетонних мас забезпечують низьку водопотребу сумішей і необхідні реологічні властивості бетонних мас, сприяють їх ущільненню і формуванню міцної структури композиту в умовах твердіння і термічного нагріву [5].

Зважаючи на поліфункціональну дію дефлокулянтів та пластифікаторів актуальним завданням щодо подальшого удосконалення і розвитку технології вогнетривких бетонів з високим експлуатаційним ресурсом є спрямоване регулювання процесів фазо- та структуроутворення цементного каменю шляхом використання ефективних модифікуючих добавок.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Прогрес у галузі матеріалознавства вогнетривких композиційних матеріалів на гідравлічних в'язучих сприяв поглибленню вивчення хімічних аспектів процесів гідратації кальційалюмінатних цементів, мінералогічний склад яких представлено моноалюмінатом кальцію $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (CA), діалюмінатом кальцію $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (CA_2), $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_{12}A_7) і корундом [6–8]. Дослідженнями системи «кальційалюмінатний цемент - вода» встановлено, що швидкість утворення тих чи інших гідратних фаз: C_3AH_6 ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), C_2AH_8 ($2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) і аморфної фази алюмогелю [9] або структур типу C – A – H [10], механізм їх подальшого перетворення у C_2AH_8 і C_3AH_6 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) та гібсит AH_3 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) [11, 12] визначається мінералогічним складом цементу і його гідравлічною активністю, водоцементним співвідношенням, рН дисперсійного середовища і температурою навколишнього середовища тощо.

Введення у бетонні суміші дефлокулюючих добавок суттєво змінює механізм та кінетику процесів гідратації клінкерних мінералів, що потребує визначення їх впливу на процеси гідратації кальційалюмінатних цементів і корегування вмісту модифікаторів для забезпечення реотехнологічних характеристик бетонних мас та заданих показників властивостей бетонів в процесі термічної обробки [7, 13, 14].

У практиці низькоцементних бетонів в якості регуляторів реологічних властивостей бетонних мас і речовин – учасників високотемпературного синтезу вогнетривких фаз використовують різноманітні хімічні добавки і мінеральні речовини: фосфати натрію [6, 15, 16], полікарбоксилатні ефіри [17], суперпластифікатори [15, 16, 18], реактивний глинозем [6, 19], мікрокремнезем [6, 13, 16, 20]. Із хімічних добавок найбільше поширення набув триполіфосфат натрію (ТПФН),

який використовується як індивідуальний дефлокулянт, так і у складі гібридних модифікаторів [6–8, 13, 15, 16, 18, 21].

Дослідженнями процесів гідратації кальційалюмінатних цементів з добавкою ТПФН встановлено уповільнення розчинення клінкерних мінералів цементу внаслідок поверхневих реакцій та змінення співвідношення $\text{Ca}^{++} : \text{Al}(\text{OH})$ у розчині за рахунок утворення осаду фосфатів кальцію, які блокують розчинення мінералів та знижують швидкість гідратації. Однак при цьому наявність у складі бетонних сумішей реакційних добавок (наприклад, мікрокремнезем) та температурні умови приготування бетонних мас і твердіння бетону, вимагають корегування кількості ТПФН у бік незначного його надлишку для запобігання рефлокуляції мас внаслідок утворення фосфатів кальцію [6–8]. Позитивний вплив ТПФН на міцність цементного каменю обумовлено утворенням в результаті хімічної реакції взаємодії між фосфат-іонами і алюмінатами кальцію клінкерних мінералів цементу алюмофосфатного гелю типу С – А – Р – Н, який знижує ефект конверсійних реакцій, ущільнює структуру та підвищує міцність цементного каменю на ранніх стадіях твердіння [22].

Доцільність використання гібридних модифікаторів, що містять триполіфосфат натрію, підтверджується покращенням реологічних властивостей бетонних мас та суттєвим зростанням механічної міцності бетону [13, 15, 16], що на думку авторів [13] обумовлено утворенням при гідратації кальційалюмінатних цементів у складі бетонів з обмеженою вологістю значної кількості наноструктур, які при висушуванні ущільнюються та утворюють міцний скелет, руйнування якого відповідає .

Але недостатня визначеність впливу гібридних модифікаторів на морфологічні особливості і характеристики наноструктур, що утворені з їх участю при гідратації кальційалюмінатних цементів, їх роль у формуванні мікроструктури низькоцементного бетону в умовах термічного нагріву обумовлюють необхідність проведення досліджень в цьому напрямку.

3. Ціль та задачі дослідження

Проведені дослідження ставили за мету визначити особливості процесів твердіння та структуроутворення цементного каменю з індивідуальним та комплексним модифікатором та формування в умовах термічної обробки структури низькоцементного корундового бетону, яка забезпечує покращення фізико-механічних властивостей композиту.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- визначити вплив триполіфосфату натрію, суперпластифікатор та комплексного модифікатору на змінення характеру процесів тужавлення, фазо- і структуроутворення цементного каменю на ранніх стадіях твердіння при різних значеннях водоцементного співвідношення;

- встановити особливості формування мікроструктури термообробленого низькоцементного корундового бетону, що містить триполіфосфат натрію і комплексний модифікатор, у взаємозв'язку з фізико-механічними показниками властивостей бетону.