УДК 666.97

Лащівський В. В., інж. (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ТЕРМІЧНА СТІЙКІСТЬ І МОРОЗОСТІЙКІСТЬ МОДИФІКОВАНИХ ЖАРОСТІЙКИХ ЗОЛОШЛАКОБЕТОНІВ

Розглянуто вплив на термічну стійкість золошлакобетонів комплексної добавки, що містить суперпластифікатор С-3 і активатор тверднення – Na_2SiF_6. Показано можливість збільшення термостійкості золошлакобетонів на 1-2 марки за рахунок пластифікації золошлакобетонних сумішей і введення добавки фтористого активатора. Доведено позитивний вплив комплексної добавки на морозостійкість золошлакобетонів, які піддаються періодичній дії нагрівання і охолодження.

Рассмотрено влияние на термическую стойкость золошлакобетонов комплексной добавки, что содержит суперпластификатор С-3 и активатор затвердеваемости – Na_2sif_6. Показана возможность увеличения термостойкости золошлакобетонов на 1-2 марки за счет пластификации золошлакобетонных смесей и введения добавки фтористого активатора. Доказано позитивное влияние комплексной добавки на морозоустойчивость золошлакобетонов, которые поддаются периодическому действию нагревания и охлаждения.

Influence of complex admixture that contains the superplasticizer of C-3 and activator of hardening - Na_2SiF_6 on thermal resistance of ash-slag concrete is considered. Possibility of heat-resistance increase of ash-slag concrete to 1-2 grades due to plasticizing of ash-slag concrete mixtures by adding of fluorine activator admixture is shown. Positive influence of complex admixture on the frost-resistance of ash-slag concrete which is exposed to the periodic action of heating and cooling is proved.

Аналіз результатів відомих досліджень жаростійких бетонів на портландцементі, досвід зведення та експлуатації споруд та агрегатів з їх використанням показує ряд переваг цих матеріалів і, в тому числі можливість широкого використання таких промислових відходів, як золи і золошлакові суміші.

Важливою вимогою до жаростійких бетонів є термічна стійкість – здатність витримувати циклічне нагрівання та охолодження. Для жаростійких золошлакобетонів характерна порівняно невисока термічна стійкість [1-4] – до 8 теплозмін нагрівання до граничної температури 800° С і охолодження до

нормальної температури (ГОСТ 20910-90).

При циклічному впливі нагрівання і охолодження порушується структура бетону, що викликає зміну його фізико-механічних та теплофізичних властивостей. В результаті температурно-вологісних напружень у бетоні з'являються мікро- і макротріщини, можливе руйнування з ефектом "вибуху".

В роботах [1-4] запропонована формула для розрахунку критичних напружень в бетоні при його нагріванні

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 E_{бt} h_{кр}^2 \ k}{12 l^2 (1-\mu^2)}, \qquad (1)$$

де $E_{бt}$ – модуль пружності бетону, μ – коефіцієнт Пуассона, k – коефіцієнт, який залежить від розмірів елементу закріплення кінців шару товщиною $h_{кр}$, виду напруження (двоосьове або одноосьове); l – найбільша довжина поверхні, яка нагрівається.

Зміна початкової пористості і міцності цементного каменю та бетону є суттєвим фактором регулювання термонапруженого стану матеріалів, які нагрівають, підвищення як абсолютного, так і відносного значення залишкової міцності, зменшення усадочних деформацій. Поряд із застосуванням швидкотверднучих алітових цементів, висока початкова міцність жаростійких бетонів може бути досягнута суттєвим зменшенням В/Ц. Для жаростійких золошлакових бетонів поряд з використанням в'яжучих з пониженою водопотребою і введенням добавок суперпластифікаторів представляє також інтерес для покращення фізико-механічних властивостей, у т.ч. і при циклічній дії нагрівання і охолодження, додаткове введення добавок активаторів, до яких відносяться фторид і кремнійфторид кальція.

Визначали зміну міцності та відкритої пористості, що характеризується водопоглинанням зразків золошлакобетону, які були попередньо витримані у нормальних умовах впродовж 7 та 28 діб, при сушінні до повного видалення механічно зв'язаної води при 150° С. Швидкість підняття температури (V_t) змінювали від 20 до 50° С за годину. Швидкість охолодження зразків була постійною. Зразки у вигляді призм розміром 40×40×160 мм виготовляли на портландцементі М500 із суміші з ОК=1…4 см без і з введенням добавок С-3 + Na_2SiF_6. Результати дослідів наведені в табл. 1.

Вивчали можливості збільшення термічної стійкості золошлакобетонів за рахунок введення до їхнього складу комплексної добавки, що містить суперпластифікатор С-3 і активатор тверднення – Na_2SiF_6. Золошлакобетонна суміш містила добавку золи-виносу в кількості 30% від маси цементу та фракційонований відповідно до вимог ГОСТ золошлаковий заповнювач. В якості в'яжучого застосовували портландцемент II типу ВАТ "Волинь-цемент" М500.

Зразки-балочки дрібнозернистого золошлакобетону розмірами 40×40×160 мм попередньо тверднули 7 діб в нормальних умовах і піддавались сушінню при температурі 150° С зі швидкістю підняття температури 50° С/год та ізотермічній витримці 48 год.

Таблиця 1

Зміна міцності зразків золошлакобетонів 7-добового віку при сушінні (Т=150^0 С)

№ з/п	Ц/В	Міцність, МПа при стиску			Міцність, МПа при згині		
		Нормальне твердіння 7 діб	Нагрів до 150^0 С зV_t=20^0/год	Нагрів до 150^0 С зV_t=50^0/год	Нормальне твердіння 7 діб	Нагрів до 150^0 С зV_t=20^0/год	Нагрів до 150^{0}С зV_t=50^0/год
Бетони без добавок							
1	1,35	10,3/100	18,0/175	16,5/160	3,1/100	5,0/160	4,3/140
2	1,6	21,5/100	34,4/160	28,0/130	3,5/100	4,9/140	3,9/110
3	1,85	24,5/100	36,8/150	29,4/120	3,9/100	5,5/140	3,9*/100
4	2,22	26,4/100	37,0/140	28,5/108	4,2/100	4,4/105	3,6*/85
Бетони з добавкою С-3 + Na_2SiF_6							
5	1,52	22,3/100	37,9/170	37,9/170	3,4/100	6,0/175	5,8/170
6	1,8	25,1/100	41,4/165	40,2/160	4,2/100	6,1/145	5,9/140
7	2,10	28,1/100	40,7/145	39,3/140	4,5/100	6,1/135	6,3/140
8	2,56	32,5/100	43,9/135	44,5/137	5,1/100	6,4/125	6,1/120

Примітки: 1. Під рискою значення міцності у відсотках.
2. * – після нагрівання зразків виявлені тріщини.

Висушені зразки поміщали у піч, попередньо розігріту до 800° С, і витримували при цій температурі 40 хвилин. Коливання температури в печі допускалися в межах ±20° С. По закінченню 40 хвилин зразки виймали з печі і занурювали у ванну з водою кімнатної температури. Зразки охолоджували у воді впродовж 5 хвилин, після чого їх виймали з води і витримували при температурі 20±5° С впродовж 10 хвилин. Потім нагрівання повторювали. Після кожної теплозміни воду у ванні змінювали. Термічну стійкість бетону оцінювали кількістю теплозмін, які викликали руйнування зразків або втрату бето-

ном 20% і більше початкової маси. Через кожні дві теплозміни для зразків визначали втрату маси і водопоглинання. Результати дослідів наведені в табл. 2.

Аналіз даних табл. 2 показує, що показовим критерієм термостійкості є втрата маси золошлакобетону зі збільшенням кількості водних теплозмін. Втрати маси, які виникають за рахунок відколювань та лущення зразків, досягають критичного значення – більше 20% при деякому критичному значенні теплозмін, коли практично настає руйнування. Фіксовані незначні втрати маси вже свідчать про початок процесу деструкції. Об'ємне водопоглинання, яке характеризує відкриту пористість бетону, збільшується більш плавно. В області переходу до критичного числа теплозмін спостерігається певний стрибок величини водопоглинання, обумовлений значним тріщиноутворенням. Підвищення щільності бетону за рахунок збільшення Ц/В і введення суперпластифікатора дозволяє збільшити термостійкість золошлакобетонів на 1…2 марки. Додатковий ефект дає введення в комплексі з суперпластифікатором добавки фтористого активатора.

Таблиця 2

Результати дослідження термостійкості золошлакобетонів

№ з/п	Ц/В	Вміст добавок, % маси цементу	Число теплозмін						
			4	6	8	10	12	15	17
			Втрати маси і водопоглинання, %						
1	1.6	-	- / 8.8	2.4 / 10.5	21.5 / 14.4	-	-	-	-
2	2.2	-	- / 7.3	1.3 / 9.1	5.9 / 11.5	22.4 / 15.1	-	-	-
3	1.8	С-3-1%	- / 6.9	0.8 / 8.5	3.4 / 10.6	20.5 / 14.4	-	-	-
4	1.8	Na_2SiF_6-1%	- / 6.5	0.5 / 8.7	2.5 / 10.9	20.8 / 14.8	-	-	-
5	1.8	С-3-1%+ Na_2SiF_6-1%	- / 6.8	0.2 / 8.3	1.7 / 9.2	17.4 / 11.4	22.1 / 15.8	-	-
6	2.6	С-3-1%	- / 6.1	0.6 / 7.2	1.5 / 8.8	7.7 / 12.5	21.4 / 16.3	-	-
7	2.6	Na_2SiF_6-1%	- / 6.2	- / 7.8	11.2 / 10.6	8.2 / 11.9	23.4 / 15.5	-	-
8.	2.6	С-3-1%+ Na_2SiF_6-1%	- / 6.3	- / 7.5	11.4 / 10.5	5.3 / 11.5	8.1 / 13.1	24.4 / 16.2	-

Примітка: над рискою втрати маси, %; під рискою – водопоглинання, %.

В умовах практичної експлуатації споруд зовнішні футеровки з жаростійких бетонів поряд з нагріванням та охолодженням можуть піддаватися циклічному заморожування та відтаванню [1-4].

Морозостійкість модифікованих золошлакобетонів визначали після попереднього нагрівання їх до граничної температури (800° С). Дослідження проводили ультразвуковим методом відповідно ГОСТ 26134-84, сутність якого полягала у вимірюванні часу поширення ультразвуку у зразках в процесі їхнього поперемінного заморожування та відтавання. Морозостійкість бетону визначали за критичним числом циклів заморожування та відтавання, починаючи з якого відбувається різке збільшення тривалості поширення ультразвуку для зразків, що контролюються, яке відповідає початку руйнування матеріалу.

Загальний час поширення ультразвуку (τ) в зразках визначали за формулою

$$\tau = \sum_{i=1}^{n} \tau_i \,, \qquad (2)$$

де n – число каналів вимірювання; τ_i – час поширення ультразвуку по і-му каналу вимірювання, мкс.

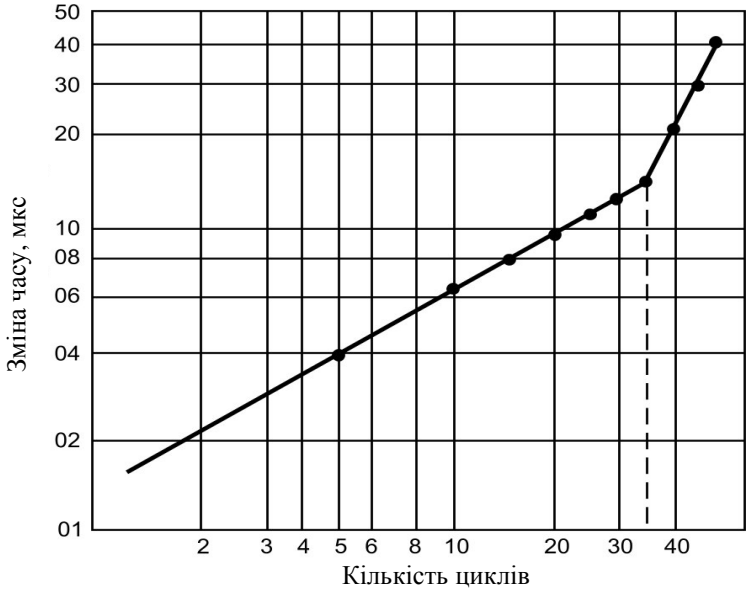

Рисунок. Залежність зміни часу проходження ультразвуку в бетоні від кількості циклів заморожування – відтавання

Результати ультразвукових вимірювань по кожному зразку при числі циклів заморожування та відтавання (N) наносили на графік в координатах: $lg(N\text{-}N_m)$ - $lg(\tau - \tau_m)$, де N_m і τ_m – відповідно найбільше значення числа циклів заморожування та відтавання при якому було зафіксоване найменше значення загального часу поширення ультразвуку τ_m (рисунок).

Ультразвукові вимірювання проводили через кожні два цикла.

Аналіз даних табл.3 підтверджує позитивний вплив комплексних добавок, що включають суперпластифікатор і фтористий активатор на морозостійкість золошлакобетонів. Характер впливу добавок на морозо- так само як і на термостійкість свідчить про суттєве модифікування порової структури золошлакобетонів при введенні разом з суперпластифікатором добавки Na_2SiF_6, що відчутно сповільнює розвиток деструктивних процесів як при нагріванні та охолодженні, так і заморожуванні та відтаванні.

Таблиця 3

Результати визначення критичного числа циклів заморожування та відтавання золошлакобетонів.

№ з/п	Ц/В	Вміст добавок, % маси цементу	Критичне число циклів	№ з/п	Ц/В	Вміст добавок, % маси цементу	Критичне число циклів
1	1.6	-	27	5	1.8	С-3-1%+ Na_2SiF_6-1%	36
2	2.2	-	33	6	2.6	С-3-1%	41
3	1.8	С-3 – 1%	32	7	2.6	Na_2SiF_6-1%	39
4	1.8	Na_2SiF_6-1%	31	8	2.6	С-3-1%+ Na_2SiF_6-1%	46

Висновки

1. Підвищення щільності золошлакобетонів внаслідок збільшення Ц/В і введення добавки суперпластифікатора дозволяє збільшити термостійкість на 1…2 марки. Додатковий ефект дає введення в комплексі з суперпластифікатором добавки фтористого активатора.

2. Ультразвукові дослідження золошлакобетонів, підданих попередньому нагріванню до граничної температури експлуатації, при поперемінному заморожуванню та відтаванню показують, що введення разом з суперпластифікатором добавки Na_2SiF_6 сповільнює розвиток деструктивних процесів і підвищує морозостійкість.

1. Некрасов К. Д. Жаростойкий бетон на портландцементе / К. Д. Некрасов, А. П. Тарасова. – Москва : Стройиздат, 1969. – 192 с. **2.** Жуков В. В. Термостойкость железобетонных конструкцій /В. В. Жуков, Э.Ф. Панюков. – К. : Будівельник, 1991 – 224 с. **3.** Жуков В. В. Сушка и первый разогрев тепловых агрегатов из жаростойкого бетона / В. В. Жуков, В. Ф. Гуляева. – Москва : Стройиздат, 1981. – 109 с. **4.** Огнеупорные бетоны. Справочник / [С. Р. Замятин, А. К. Пургин, Л. Б. Хорошавин, И. П. Цибин, В. Д. Кокшаров]. – М. : Металургія, 1982. – 190 с.

Рецензент: д.т.н., проф. Дворкін О. Л. (НУВГП)