

## СТІЙКІСТЬ МОДИФІКОВАНИХ ЗОЛОШЛАКОБЕТОНІВ ПРИ ЦИКЛІЧНІЙ ЗМІНІ ТЕМПЕРАТУРИ



Доктор технічних наук, професор Дворкін Л.І.

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 тепломінів 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. У 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:

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

де  $E_{ст}$  – модуль пружності бетону,  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона,  $k$  – коефіцієнт, який залежить від розмірів елемента 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'язучих з пониженою водо-потребою 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.

Вивчали можливості збільшення термічної стійкості золошлакобетонів за рахунок введення до їхнього складу комплексної добавки, що містить суперпластифікатор С-3 і активатор тверднення –  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ . Золошлакобетонна суміш містила добавку золи-виносу в кількості 30% від маси цементу та фракціонований відповідно до вимог ГОСТ золошлаковий заповнювач. В якості в'язучого застосовували портландцемент ІІ типу ВАТ «Волинь-цемент» М500.

Попередньо визначали зміну міцності зразків золошлакобетонів, що були витримані в нормальних умовах 7 діб і піддані сушінню до повного видалення механічно зв'язаної води при 150°C. Швидкість підняття температури змінювали від 20 до 50°C за годину. Аналіз результатів приведених у табл. 1 свідчить про позитивний вплив комплексної добавки С-3+  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  на міцність золошлакобетонів як при нормальному твердінні, так і після сушіння з різною швидкістю підйома температури в широкому діапазоні Ц/В.

Для визначення термостійкості виготовляли зразки балочки дрібнозернистого золошлакобетону розмірами 40x40x160 мм, які попередньо тверднули 7 діб в нормальних умовах і піддавались сушінню при температурі 150°C зі швидкістю підняття температури 50 °С/год та ізотермічній витримці 48 год.

Висушені зразки поміщали у піч, попередньо розігріту до 800°C і витримували при цій температурі 40 хвилин. Коливання температури в печі допускалися в межах  $\pm 20^\circ\text{C}$ . По закінченню 40 хвилин зразки виймали з печі і занурювали у ванну з водою кімнатної температури. Зразки охолоджували у воді протягом 5 хвилин, після чого їх виймали з води і витримували при температурі  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  протягом 10 хвилин. Потім нагрівання повторювали. Після кожної тепломіни воду у ванні змінювали. Термічну стійкість бетону оцінювали кількістю тепломінів, які викликали руйнування зразків або втрату бетоном 20% і більше початкової маси. Через кожні дві тепломіни для зразків визначали

Таблиця 1

**Зміна міцності зразків золошлакобетонів 7- до-  
бового віку при сушінні (T=150°C)**

№ з/п	Ц/В	Вміст добавок, % маси цементу	Число теплотзмін							
			4	6	8	10	12	15	17	
			Втрати маси і водопоглинання, %							
1	1.6	-	-	2,4	21,5	-	-	-	-	
			8,8	10,5	14,4					
2	2.2	-	-	1,3	5,9	22,4	-	-	-	
			7,3	9,1	11,5	15,1				
3	1.8	C-3-1%	-	0,8	3,4	20,5	-	-	-	
			6,9	8,5	10,6	14,4				
4	1.8	Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> -1%	-	0,5	2,5	20,8	-	-	-	
			6,5	8,7	10,9	14,8				
5	1.8	C-3-1%+Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> -1%	-	0,2	1,7	17,4	22,1	-	-	
			6,8	8,3	9,2	11,4	15,8			
6	2.6	C-3-1%	-	0,6	1,5	7,7	21,4	-	-	
			6,1	7,2	8,8	12,5	16,3			
7	2.6	Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> -1%	-	-	11,2	8,2	23,4	-	-	
			6,2	7,8	10,6	11,9	15,5			
8.	2.6	C-3-1%+Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> -1%	-	-	11,4	5,3	8,1	24,4	-	
			6,3	7,5	10,5	11,5	13,1	16,2		

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

втрата маси і водопоглинання. Результати дослідів наведені в табл. 2.

Аналіз даних табл. 2 показує, що характерним критерієм термостійкості є втрата маси золошлакобетону зі збільшенням кількості водних теплотзмін. Втрати маси, які виникають за рахунок відколювань та луцення зразків, досягають критичного значення – більше 20% при деякому критичному значенні теплотзмін, 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 теплотзмін 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.

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

Морозостійкість модифікованих золошлакобетонів визначали після попереднього нагрівання їх до граничної температури (800°C). Дослідження проводили ультразвуковим методом у відповідності з 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 ( $\tau$ ) в зразках визначали за формулою:

Таблиця 2

**Результати дослідження термостійкості  
золошлакобетонів**

№ з/п	Ц/В	Вміст добавок, % маси цементу	Число теплотзмін							
			4	6	8	10	12	15	17	
			Втрати маси і водопоглинання, %							
1	1.6	-	-	2,4	21,5	-	-	-	-	
			8,8	10,5	14,4					
2	2.2	-	-	1,3	5,9	22,4	-	-	-	
			7,3	9,1	11,5	15,1				
3	1.8	C-3-1%	-	0,8	3,4	20,5	-	-	-	
			6,9	8,5	10,6	14,4				
4	1.8	Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> -1%	-	0,5	2,5	20,8	-	-	-	
			6,5	8,7	10,9	14,8				
5	1.8	C-3-1%+Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> -1%	-	0,2	1,7	17,4	22,1	-	-	
			6,8	8,3	9,2	11,4	15,8			
6	2.6	C-3-1%	-	0,6	1,5	7,7	21,4	-	-	
			6,1	7,2	8,8	12,5	16,3			
7	2.6	Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> -1%	-	-	11,2	8,2	23,4	-	-	
			6,2	7,8	10,6	11,9	15,5			
8.	2.6	C-3-1%+Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> -1%	-	-	11,4	5,3	8,1	24,4	-	
			6,3	7,5	10,5	11,5	13,1	16,2		

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

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

де  $n$  – число каналів вимірювання;  $\tau_i$  – час поширення ультразвуку по  $i$ -му каналу вимірювання, мкс.

Результати ультразвукових вимірювань по кожному зразку при числі циклів заморожування та відтавання ( $N$ ) наносили на графік в координатах:

$\lg(N-N_m) - \lg(\tau - \tau_m)$ , де  $N_m$  і  $\tau_m$  – відповідно найбільше значення числа циклів заморожування та відтавання, при якому було зафіксоване найменше значення загального часу поширення ультразвуку  $\tau_m$  (рис.1).

Ультразвукові вимірювання проводили через кожні два цикла.

Аналіз даних табл. 3 підтверджує позитивний вплив комплексних добавок, що включають суперпластифікатор і фтористий активатор на

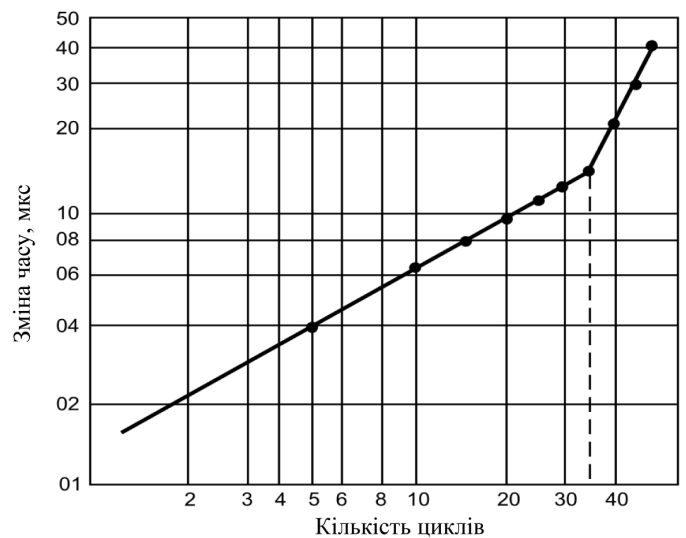


Рис.1. Залежність зміни часу проходження ультразвуку в бетоні від кількості циклів заморожування-відтавання

**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	C-3-1%+ Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> -1%	36
2	2.2	-	33	6	2.6	C-3-1%	41
3	1.8	C-3 – 1%	32	7	2.6	Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> -1%	39
4	1.8	Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> - 1%	31	8	2.6	C-3-1%+ Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> -1%	46

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<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>, що відчутно сповільнює розвиток деструктивних процесів як при нагріванні та охолодженні, так і заморожуванні та відтаванні.

#### 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 за-

морозуванню та відтаванню показують, що введення разом з суперпластифікатором добавки Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> сповільнює розвиток деструктивних процесів і підвищує морозостійкість.

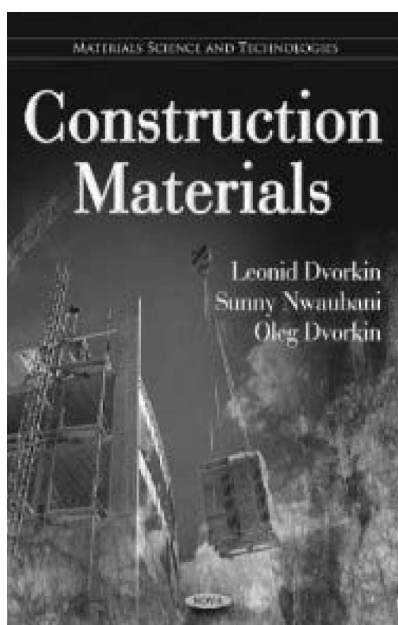
#### ЛІТЕРАТУРА

1. Некрасов К.Д. Жаростойкий бетон на портланд-цементе / К.Д. Некрасов, А.П. Тарасова. – Москва: Стройиздат, 1969. – 192 с.

2. Жуков В.В. Термостойкость железобетонных конструкций / 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.: Металлургия. – 1982. – 190 с.



В 2010р. у видавництві Nova Science Publishers (Нью-Йорк, США) вийшов у світ підручник “Construction Materials” (Будівельні матеріали) авторами якого є проф. Дворкін Л.Й. і проф. Дворкін О.Л. (НУВГП, Рівне, Україна), а також проф. Санни Нваубані (Anglia Ruskin University, Essex, UK).

Тверда обкладинка, 409 с., мова англійська.

В підручнику наведений курс з будівельного матеріалознавства, розроблений в Національному університеті водного господарства та природокористування.