

УДК 691.32

**ПЛИВ ТРИВАЛОСТІ ТВЕРДІННЯ НА МІЦНІСТЬ І ПОРИСТІСТЬ  
ЦЕМЕНТНИХ КАМЕНІВ НА ЦЕМЕНТАХ  
З ЗАЛІЗОВМІСНИМИ ШЛАКАМИ**

*к.т.н., доц. Голубничий А.В.*

*Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ*

Постановка проблеми. Проблема застосування залізовмісних шлаків, у тому числі кольорових, в теперішній час відноситься до актуальних з наукової, технічної і екологічної точок зору. Поряд з тим, що вони являють собою цінну сировину, їх розміщення і зберігання призводить до значних фінансових витрат і забруднення оточуючого середовища.

Зв'язок з науковими і практичними завданнями і аналіз останніх досліджень та публікацій. В Україні та інших державах СНД проведені значні наукові роботи по вирішенню питання комплексного використання цих залізовмісних речовин[1...5]. Внаслідок їх виконання розроблені технології виробництва мінеральної вати, литих виробів і деяких інших матеріалів, що дозволяє частково їх використовувати. Цьому також повинно сприяти широке впровадження цих речовин у технології цементів і бетонів різного функціонального призначення.

Мета роботи. Метою цієї роботи є дослідження впливу тривалості твердіння на міцність і пористість цементних каменів на цементах з застосуванням кольорових шлаків.

Дослідження виконані по стандартним методикам.

Хімічний склад застосованих при проведенні досліджень кольорових шлаків наведено у табл.1.

Портландцементний клінкер характеризувався таким мінеральним складом, мас.%. C<sub>3</sub>S - 58.00, C<sub>2</sub>S - 17.00, C<sub>3</sub>A - 8.20, C<sub>4</sub>AF - 13.00.

При проведенні досліджень застосовані помелені до питомої поверхні 300 м<sup>2</sup>/кг цементи з вмістом, мас.%.: портландцементний клінкер - 58, кольоровий шлак – 38 (цементи №1); портландцементний клінкер - 78, кольоровий шлак – 18 (цементи №2).

*Табл. 1*

*Хімічний склад кольорових шлаків*

п/п	Вид шлаків	Вміст основних оксидів , мас.%				
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO
1	Побужський	51.95	6.65	11.60	22.85	6.55
2	Константинівський	29.95	8.25	31.80	13.85	8.10

*Примітка: вміст Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, мас.%.: 1.65 (шлак №2)*

Виклад основного матеріалу. Встановлено, що при подовженні терміну твердіння цементних каменів на застосованих цементах у нормальних умовах від 1-ї до 3650 діб їх загальна пористість стабільно зменшується. Це

обумовлено підвищенням у цементних каменях вмісту гідратних новоутворень. При збільшенні у залізовмісних шлаках концентрації оксидів заліза пористість цементних каменів збільшується. Це особливо виразно спостерігається при зростанні такої вище за 30 мас.%. Пористість цементних каменів на цементах із залізовмісними шлаками, модельні склади яких розташовуються у елементарних трикутниках „S – CF'S<sub>2</sub> – CS”, „CS – CF'S<sub>2</sub> – C<sub>2</sub>F'S<sub>2</sub>”, „S – CF'S<sub>2</sub> – F'S”, менша, ніж у таких на цементах із залізовмісними шлаками, модельні склади яких знаходяться у елементарних трикутниках „F'S – CF'S<sub>2</sub> – F<sub>2</sub>'S”, „F<sub>2</sub>'S – CF'S<sub>2</sub> – C<sub>2</sub>F'S<sub>2</sub>”, „F<sub>2</sub>'S – C<sub>2</sub>F'S<sub>2</sub> – CF'S”.

По впливу на зменшення пористості цементних каменів на цементах із залізовмісними шлаками оксиди системи „FeO – CaO – SiO<sub>2</sub>” розташовуються у ряду: CaO > SiO<sub>2</sub> > FeO. Пористість зменшується при наближенні складів стекло залізовмісних шлаків до кристалічних фаз у ряду: CS > S > CF'S<sub>2</sub> > CF'S > F'S > F<sub>2</sub>'S. При введенні ПАР (ПФС, УПБ) пористість цементних каменів зменшується як у початкові, так і тривалі строки твердіння суттєвіше, ніж у таких без добавок. (табл. 2).

Табл.2

Залежність загальної пористості цементних каменів від виду цементів і тривалості їх твердіння

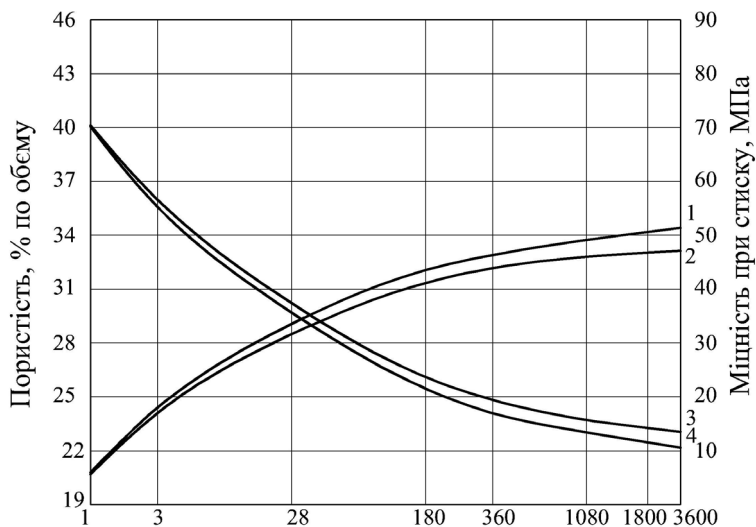
№ п/п	Вид цементів і шлаків (табл.1)	Загальна пористість цементних каменів, % по об'єму/ відносно 28 діб, % після твердіння на протязі, діб				
		3	28	360	1800	3650
1	1.1	<u>35.7</u>	<u>30</u>	<u>24.5</u>	<u>22.5</u>	<u>22.2</u>
		119	100	81.6	75	74
2	1.2	<u>36.0</u>	<u>30.4</u>	<u>25.0</u>	<u>23.4</u>	<u>23.2</u>
		119	100	82.2	77.0	76.3
3	2.1	<u>35.1</u>	<u>28.8</u>	<u>22.4</u>	<u>20.2</u>	<u>19.7</u>
		122	100	77.7	70.1	68.4
4	2.2	<u>35.4</u>	<u>29.0</u>	<u>22.7</u>	<u>21.2</u>	<u>20.9</u>
		122	100	78.3	73.1	72.1
5	1.1 +ПФС	<u>34.6</u>	<u>27.9</u>	<u>22.1</u>	<u>20.3</u>	<u>19.9</u>
		124	100	79.2	72.7	71.3

Примітки: вміст ПАР – 1 мас.%;

У цементних каменів, що тверділи у нормальних умовах, із збільшенням концентрації оксидів заліза у шлаках, знижується об'єм пор з розмірами радіусів у межах 0.01...0.001 мкм і менше. Це особливо виразно спостерігається при зростанні концентрації таких оксидів у залізовмісних речовинах вище за 30 мас.%. Подібне характерно і при зменшенні концентрації SiO<sub>2</sub> нижче за 35 мас.%. Об'єм пор таких розмірів вищий у цементних каменях на цементах із залізовмісними шлаками, модельні склади яких розташовуються у елементарних трикутниках „S – CF'S<sub>2</sub> – CS”, „CS – CF'S<sub>2</sub> – C<sub>2</sub>F'S<sub>2</sub>”, „S – CF'S<sub>2</sub> – F'S”, ніж у таких на цементах із залізовмісними шлаками, модельні склади яких знаходяться у елементарних трикутниках „F'S – CF'S<sub>2</sub> – F<sub>2</sub>'S”, „F<sub>2</sub>'S – CF'S<sub>2</sub> – C<sub>2</sub>F'S<sub>2</sub>”, „F<sub>2</sub>'S – C<sub>2</sub>F'S<sub>2</sub> – CF'S”.

По впливу на підвищення об'єму таких пор у цементних каменях на цементах із залізовмісними шлаками оксиди системи „FeO – CaO – SiO<sub>2</sub>” розгашовуються у ряду: CaO > SiO<sub>2</sub> > FeO. Об'єм таких пор зменшується при наближенні складів стекол залізовмісних шлаків до кристалічних фаз у ряду: CS > S > CF'S<sub>2</sub> > CF'S > F'S > F<sub>2</sub>'S. Пори з такими розмірами відносяться до гелевих і мають у своєму складі такі з діаметром близько 0.002 мкм, що є середнім розміром частинок CSH (I).

Міцність цементних каменів на цементах з залізовмісними шлаками як при згині, так і стиску стабільно зростала при їх твердінні у нормальних умовах на протязі 10 років (табл. 3). При підвищенні концентрації оксидів заліза у шлаках міцність цементних каменів після їх тривалого твердіння зменшується. Це особливо виразно спостерігається при зростанні концентрації таких оксидів у шлаках вище за 30 мас. %.



### Тривалість твердіння, діб

Рис. 1. Залежність міцності і пористості цементних каменів від тривалості їх твердіння.

Склад цементів, мас. %: клінкер Балаклійський – 58,0, шлак гранульований кольоровий – 38,0. Концентрація оксидів заліза у кольорових шлаках, мас. %: FeO – 11,60 (1, 4), FeO – 31,80 і Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,65 (2, 3).

1, 2 – міцність цементних каменів при стиску, МПа; 3, 4 – загальна пористість цементних каменів, % по об'єму;

Подібне характерно і при зменшенні концентрації  $\text{SiO}_2$  нижче за 35 мас.%. Міцність цементних каменів вище на цементах із залізовмісними шлаками, модельні склади яких розташовуються у елементарних трикутниках „S –  $\text{CF}'\text{S}_2$  – CS”, „CS –  $\text{CF}'\text{S}_2$  –  $\text{C}_2\text{F}'\text{S}_2$ ”, „S –  $\text{CF}'\text{S}_2$  – F'S”, ніж у таких на цементах із залізовмісними шлаками, модельні склади яких знаходяться у елементарних трикутниках „F'S –  $\text{CF}'\text{S}_2$  –  $\text{F}_2'\text{S}$ ”, „ $\text{F}_2'\text{S}$  –  $\text{CF}'\text{S}_2$  –  $\text{C}_2\text{F}'\text{S}_2$ ”, „ $\text{F}_2'\text{S}$  –  $\text{C}_2\text{F}'\text{S}_2$  –  $\text{CF}'\text{S}$ ”.

По впливу на підвищення міцності цементних каменів на цементах із залізовмісними шлаками оксиди системи „FeO – CaO –  $\text{SiO}_2$ ” розташовуються у ряду: CaO >  $\text{SiO}_2$  > FeO. Міцність цементних каменів змінюється при наближенні складів стоків залізовмісних шлаків до кристалічних фаз у ряду: CS > S >  $\text{CF}'\text{S}_2$  >  $\text{CF}'\text{S}$  > F'S >  $\text{F}_2'\text{S}$ . (табл. 3, рис. 1)

Залежність міцності цементних каменів на цементах із залізовмісними шлаками від тривалості їх твердіння характеризуються наявністю таких етапів: найбільшої швидкості збільшення міцності (до 3-х діб твердіння), великої швидкості її збільшення (4...28 діб), посередньої швидкості її збільшення (29...180 діб), малої швидкості її збільшення (181...1080 діб), дуже малої швидкості збільшення міцності - тривалість твердіння в нормальних умовах перевищує 1081 добу. (табл. 3, рис. 1)

Табл. 3

Залежність міцності цементних каменів від виду цементів і тривалості їх твердіння

№ п/п	Вид цементів (табл.2)	Міцність, МПа при згині/стиску/при стиску відносно 28 діб, %				
		Тривалість твердіння, діб				
		3	28	360	1080	3650
1	1.1.	2.92	5.08	6.21	6.36	6.47
		18.1	32.6	46.4	49.4	51.4
		55.5	100	142.3	151.5	157.7
2	1.2.	2.74	4.93	6.06	6.20	6.28
		17.1	31.1	43.6	46.2	47.8
		55.0	100	140.3	148.5	153.7
3	2.1.	3.88	5.97	6.79	6.95	7.04
		24.0	42.1	57.9	61.5	64.0
		57.0	100	137.5	146.0	152.0
4	2.2.	3.76	5.91	6.69	6.85	6.94
		23.2	41.1	55.9	59.2	61.2
		56.5	100	136.0	144.0	149.0
5	1.1.+ 1 мас.% ПФС	3.28	5.50	6.42	6.59	6.68
		20.4	36.5	50.4	53.7	55.9
		56.0	100	138.0	147.0	153.0

Це пов'язано з тим, що у перші 28 діб, а особливо 3 доби гідратації з водою переважно хімічно взаємодіють мінерали портландцементного клінкеру. У цей період на активних ділянках поверхні шлаків конденсуються продукти гідратації клінкерних мінералів, а в лужному середовищі - стекла

шлаків, склади яких наближуються до метасилікату кальцію або кварцу, взаємодіють з конструкційними іонами, які утворюються внаслідок гідратації клінкерних мінералів. Це незначно впливає на підвищення міцності цементних каменів у зв'язку з невеликою кількістю виникаючих внаслідок такої взаємодії новоутворень.

При подовженні терміну твердіння від 29 до 180 діб вплив продуктів гідратації шлаків на зростання міцностей цементних каменів значно посилюється. Це пов'язано із уповільненням взаємодії клінкерних мінералів з водою внаслідок утворення навколо частинок клінкеру щільних плівок із гідратних новоутворень.

Активізація взаємодії конструкційних іонів і води з стеклами шлаків, склад яких наближується до кварцу або  $CS$ , у цей період твердіння цементних каменів підтверджується тим, що кількість гідроксиду кальцію у останніх після 180 діб їх твердіння менша за таку після 28 діб, але більша, ніж після 3-х діб. Те, що гідроксид кальцію переважно взаємодіє тільки із стеклами шлаків, склади яких наближуються до кварцу або  $CS$  підтверджується результатами досліджень гідратаційної активності цементів з застосуванням цих залізовмісних речовин.

При подовженні терміну твердіння цементних каменів від 361 до 1080 діб швидкість підвищення їх міцності подовжує уповільнюватись (табл.3). При цьому має місце подальше переважне зв'язування гідроксиду кальцію стеклами шлаків, склади яких наближуються до кварцу і  $CS$ . Це підтверджується меншою кількістю у цементних каменях після 1080 діб їх твердіння вільного гідроксиду кальцію у порівнянні з такою після 3-х діб. У цей період твердіння цементних каменів  $FeO$  у залізовмісних стеклах, близький порядок структур яких наближується до таких у піроксенів (геденбергіту, діопсиду), фаяліту, залізистих монтічеліту і акерманіту і однойменних кристалічних фазах є також хімічно стійкими по відношенню до води і продуктів гідратації клінкерних мінералів.

При подовженні термінів твердіння цементних каменів понад 1080 діб швидкість підвищення їх міцності суттєво уповільнюється. Це пов'язано з утворенням щільних плівок із гідратних новоутворень не тільки навколо клінкерних, а і частинок шлаків. Але вплив залізовмісних стеклових шлаків на міцність цементних каменів подібний такому, який спостерігається при їх твердінні у межах 180...1080 діб (табл.3).

#### Висновки.

1. У нормальних умовах твердіння на протязі 10 років  $FeO$  у залізовмісних стеклах, близький порядок структур яких наближується до таких у піроксенів (геденбергіту, діопсиду), фаяліту, залізистих монтічеліту і акерманіту і однойменних кристалічних фазах, є стійким.

2. Міцність цементних каменів на цементах з застосованими залізовмісними шлаками і добавками ПАР (ПФС, УПБ), при їх твердінні на протязі до 10 років стабільно підвищується, а пористість змінюється зворотно. Це особливо виразно спостерігається при введенні ПФС.

3. Між міцністю і пористістю цементних каменів на цементах з різними залізовмісними шлаками при їх твердінні на протязі до 10 років, спостерігаються визначені експоненціальні залежності.

### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Шелудяков Л.Н., Косьянов Э.А. Комплексная переработка шлаков цветной металлургии. - Алма-Ата: Наука, 1990. - 168 с.
2. Горшков В.С., Александров С.Е., Иващенко С.И., Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве.- М.: Стройиздат. 1985.-273с.
3. Лакерник М.М., Мазурчук Э.Н., Петкер С.Я., Шабалина Р.И. Переработка шлаков цветной металлургии.- М.: Металлургия, 1977.- 160с.
4. Голубничий А.В. Строительные материалы из шлаков свинцового производства. - Цветная металлургия. - М.: 1994, №7 -С.30-32.
5. Голубничий А.В. Особливості властивостей бетонів на цементах з залізовмісними шлаками. Теорія і практика будівництва. – Київ, №5,2009.-с.24-29.

УДК 624.046.2

### ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ МІЖПОВЕРХОВОГО ПЕРЕКРИТТЯ ВЕЛИКИХ РОЗМІРІВ З УРАХУВАННЯМ ТЕМПЕРАТУРНОГО ВПЛИВУ

*канд. техн. наук Гурківський О.Б.*

*Державне підприємство „Державний науково-дослідний інститут  
будівельних конструкцій”, м. Київ*

В останні роки зводиться усе більше будівель, що мають значні розміри у плані – торгові та розважальні центри, офісні будівлі тощо. В залежності від застосованих конструктивних схем, такі будівлі вимагають поділення на деформаційні та температурні блоки.

У випадках, коли бажані розміри температурних блоків перевищують рекомендовані чинними нормативними документами, необхідно виконувати розрахункове обґрунтування прийнятого розміру блоку.

Головним чинником при такому обґрунтуванні є температурний режим існування конструкцій будівлі на стадіях зведення та експлуатації.

Як відомо, найбільші зусилля у конструкціях каркасних будівель при дії температур виникають внаслідок деформування при нагріванні – охолодженні дисків перекриттів. Тому, на стадії зведення будівель,