



ДОСЛІДЖЕННЯ СУМІСНОСТІ РОБОТИ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБАВОК В СКЛАДІ ВИСОКОМІЦНИХ СУЛЬФАТОСТІЙКИХ БЕТОНІВ

УДК666.97(075.8)

АВТОРИ

ПРИЙМАЧЕНКО А.С., інженер ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

ШЕЙНІЧ Л.О., доктор техн. наук, професор, завідувач відділу ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій»

ПУШКАРЬОВА К.К., доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри Київського національного університету будівництва та архітектури

ГЕДУЛЯН С.І., інженер Одеської державної академії будівництва та архітектури

АНОТАЦІЯ

Показана доцільність використання комплексу активних мінеральних добавок для отримання високофункціональних бетонів, що експлуатуються в агресивному середовищі.

The expediency of application complex active mineral additions for High Performance Concrete exploited in aggressive environment is shown.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

сульфатостійкі бетони, мінеральні добавки, агресивне середовище.

Реальне будівництво сьогодні все більше потребує бетонів з високими фізико-механічними показниками та підвищеною довговічністю [1, 2]. Такі бетони за своїми показниками властивостей відомі як High Performance Concrete (HPC) [1, 2]. Одним з основних компонентів таких бетонів є тонко мелені активні мінеральні добавки (АМД) – зола-винесення, мікрокремнезем, метакаолін тощо. Ці добавки, залежно від свого складу, в тій чи іншій спосіб модифікують властивості бетону. В той же час, одночасне застосування комплексу сумісних між собою добавок може привести до синергетичного ефекту росту показників властивостей бетону. Тому були проведені дослідження по встановленню доцільності застосування комплексу АМД різної природи в бетонах. Обрано напрям дослідження стійкості бетону в агресивному корозійному середовищі, як найбільш складне випробування довговічності бетонів.

Крім того, створення ефективних високоякісних бетонів є актуальною проблемою, оскільки такі матеріали використовуються при виготовленні конструкцій, що експлуатуються в складних умовах, наприклад, при дії сульфатних ґрунтових вод. Для отримання таких бетонів застосовують змішані цементи, мінеральні добавки (наповнювачі) та ефективні суперпластифікатори. Ці положення знайшли відображення в роботі [3].

Авторами статті [3] пропонується в складі бетону застосовувати портландцемент ПЦІІ/А-Ш-400 ДСТУ Б В. 2.7-46, суперпластифікатор, суміш різних активних мінеральних добавок: метакаоліну, мікрокремнезему та золи-винесення Ладиженської ТЕС. Склади бетонів, що досліджуються, наведено в табл. 1.

В [3] показано, що з технологічної точки зору для досягнення високої міцності бетону при збереженні високої легкоукладальності бетонної суміші (Р4) у часі доцільно використовувати в складі бетонної суміші суперпластифікатор з максимальною витратою (1,8% РСЕ FK 63.30 виробництва МЦ Баухемі від маси цементу), 15% (від маси цементу) суміші наповнювачів, що складається з 70% золи винесення і 30% метакаоліну або 40...60%



Таблиця 1. Досліджувані склади бетонів

№ складу бетону	Цемент, кг	Вода, дм ³	Зола, кг	Метакаолін (Centritlit NC), кг	Мікрокремнезем (Centritlit Fume SX), кг	Суперпластифікатор РСЕ FK 63.30, %	Пісок Днепр., кг	Пісок Вознес, кг	Щебень гранітний, кг, фр.	
									5/10	10/20
1	340	140	20	20	20	1,35	280	369	276	922
2	340	160	0	0	60	0,90	272	358	269	896
3	380	160	0	0	20	1,35	272	358	269	896
4	340	160	0	0	60	1,80	272	358	269	896
5	340	175	0	60	0	0,90	266	351	263	876
6	340	152	0	60	0	1,80	291	384	288	960
7	380	154	0	20	0	0,90	274	361	271	903
8	380	148	20	0	0	1,35	277	364	273	911
9	340	145	60	0	0	0,90	278	366	275	915
10	340	145	60	0	0	1,80	278	366	275	915
11	380	145	0	10	10	1,80	278	366	275	915
12	360	180	0	20	20	0,90	264	348	261	870
13	380	155	10	0	10	0,90	274	361	271	902
14	360	150	20	0	20	1,35	276	363	273	909
15	360	140	20	20	0	1,80	280	369	276	922
Контр.	400	160	0	0	0	0,90	269	358	269	896

мікрокремнезему і 60...40% метакаоліну. Так, в цьому випадку втрата рухливості суміші за 120 хв. її зберігання складає приблизно 3 см, а міцність на стиск бетону на 28 добу досягає 78 МПа.

Дослідження кислотостійкості бетонів різного складу, що аналізувалися в [3], проводилися згідно [4]. Для цього бетони зберігалися в розчині сульфатної кислоти з рН=3,5 та в воді з їх випробуванням у віці 3-х та 6 місяців і порівнянням результатів випробувань. Результати випробування бетонів на міцність наведені в табл. 2.

Дослідження властивостей бетонів в залежності від їх складу проводили методом планування експерименту, методика якого наведена в [3]. Оцінку кислотостійкості проводили згідно [5], вважаючи що бетон витримав випробування, якщо втрата міцності бетонних зразків, які тверділи 6 місяців в розчині сульфатної кислоти, не перевищує 10% по відношенню до міцності аналогічних зразків, що тверділи в воді.

Результати досліджень методом планування експерименту наведено на рис. 1-3.

Аналізуючи отримані результати випробувань, можна зробити наступні висновки. При твердінні бетону в воді незалежно від його складу відбувається набір міцності згідно відомим залежностям. Наприклад, чим більший відсоток суперпластифікатора знаходиться в його складі, тим більша міцність бетону. Найбільш ефективні склади бетонів (найбільша міцність – 90МПа) такі ж самі, що й на 28 добу тверднення (70% золи виносення і 30% метакаоліну або 40...60% мікрокремнезему і 60...40% метакаоліну).

Чим більше бетон містить комплексної активної мінеральної добавки (КМАД), тим більше приріст міцності. Бетони з мінімальним вмістом КМАД мають найнижчий приріст міцності.

Аналіз зміни міцності бетону, що твердів у сульфатній кислоті, показав, що чим мен-

Таблиця 2. Результати фізико-механічних випробувань бетонів

№ складу бетону	Міцність бетону на стиск, МПа, після				
	28 діб	3-х місяців твердіння у		6-ти місяців твердіння у	
		воді	розчині H ₂ SO ₄	воді	розчині H ₂ SO ₄
1	66,3	79,45	68,5	84	73,35
2	53,6	75,75	70,6	66,7	67,8
3	64,4	73	70,4	69	72,3
4	62,5	76,55	73,85	82	72,15
5	58,75	70,55	66,45	61,04	65,96
6	76,2	83,2	77	69,88	74,06
7	49,1	55,9	54,75	60,1	54,6
8	57,7	58,9	71,8	66,89	67,15
9	40	45,75	44,3	52,2	44,54
10	55,4	70,2	68,25	70,05	63,55
11	72,1	82,65	78,05	85,65	73,35
12	52,19	62	64,8	64,75	60,45
13	55,15	69,25	64,3	63,3	69,95
14	67,1	73,1	70,15	75,2	67,85
15	78,1	88,9	81,55	83,8	80,1
Контр.	51,9	47,45	51,55	66,55	62,45

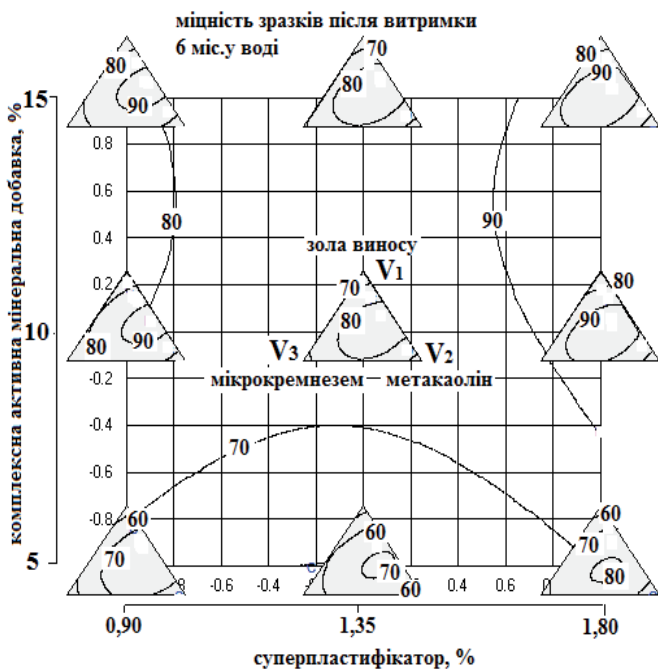


Рис. 1. Міцність бетонних зразків після 6 місяців їх твердіння у воді

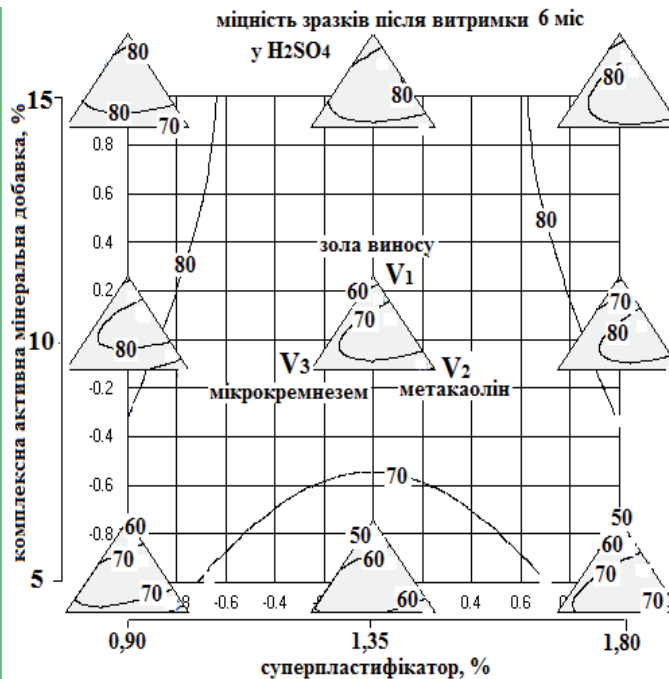


Рис. 2. Міцність бетонних зразків після 6 місяців їх твердіння у розчині сульфатної кислоти

ше бетон містить в своєму складі КМАД, тим менше набір міцності і більше її падіння. На цю залежність накладається вплив суперпластифікатора – чим більший його вміст в бетоні, тим щільніший бетон і падіння міцності менше. Крім того, дещо змінюється оптимальний склад КМАД.

Найбільшою міцністю характеризуються бетони, що містять 90...75% золи виносення і 10...25% метакаоліну. Бетони з добавкою (40...60% мікрокремнезему і 60...40%) метакаоліну вже не мають переваг по відношенню до бетонів, що в якості добавки містять суміш 90% золи виносення і 10% метакаоліну.

Аналіз рис. 3, що описує втрату міцності бетону при його твердінні в розчині сульфатної кислоти по відношенню до міцності бетону, що твердіє у воді такий же термін, показав, що найбільш корозійностійким складом бетону з КМАД є склад бетону з максимальним вмістом суперпластифікатора, причому склад добавки містить 90% золи виносення і 10% метакаоліну.

Різницю оптимальних співвідношень в складі КМАД, а саме золи виносення і метакаоліну для бетонів, що тверділи в неагресивному і агресивному сульфатному середовищах, можна пояснити наступним.

Метакаолін містить активний Al_2O_3 , який при наявності іонів кальцію (які утворюються при гідратації цементу) та аморфного кремнезему в золі, здатний гідратні кальцієві алюмосилікати типу гідрогеленіту, який стійкий до дії сульфатних іонів. В неагресивному середовищі можна допустити більший вміст метакаоліну в КМАД – до 30%.

Крім цих складів КМАД, що показали високу стійкість в сульфатному середовищі, є склади, наприклад 10% золи виносення і 90% мікрокремнезему, але такі склади дуже чутливі до точності дозування і, як наслідок, результати нестабільні. Тобто при незначній зміні співвідношення компонентів

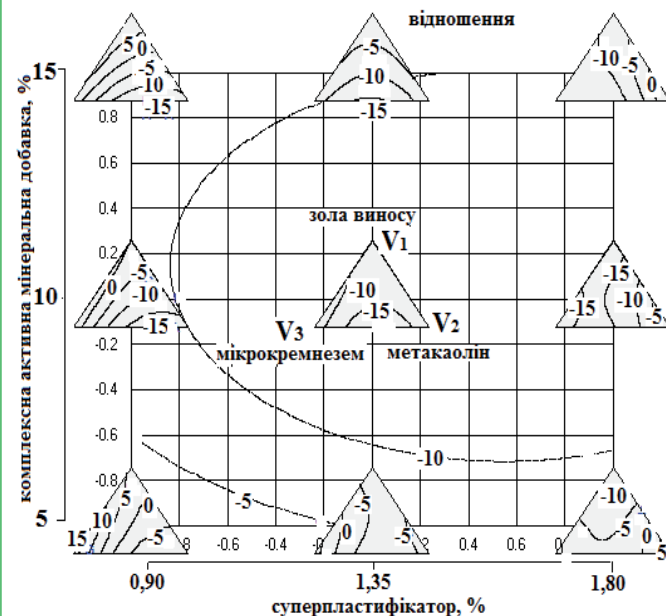


Рис. 3. Втрата міцності бетону, що зберігався в розчині сульфатної кислоти протягом 6 місяців, по відношенню до міцності бетону, що зберігався такий же термін у воді

відбувається значне падіння міцності бетону в сульфатному середовищі.

У табл. 3 наведені результати твердіння бетону протягом 1 року у воді та розчині сульфатної кислоти.

На рис. 4 показана зміна міцності бетонів, що тверділи у воді протягом 1 року. Аналіз наведених даних в цілому корелює з даними, що були отримані при твердінні бетону протягом 1-го та 6-ти місяців у воді. Найбільш доцільними складами бетону є склади, що включають максимальну кількість КМАД, але співвідношення компонентів в складі комплексної добавки змінюється.



Таблиця 3. Результати фізико-механічних випробування бетонів

№ складу бетону	Міцність бетону, МПа, після твердіння 1 рік у	
	воді	розчині H ₂ SO ₄
1	77,9	78,2
2	74,5	70,8
3	82,8	80,1
4	59,2	75
5	66,5	56
6	80	86,1
7	68,3	45,18
8	82,5	67,4
9	36,7	37,1
10	82,7	74,4
11	84,5	70,5
12	71	70,1
13	72,8	61,8
14	83,7	84,3
15	90,2	91,8
Контр.	65,61	66,3

що ущільнюють структуру цементного каменю та сприяють зростанню його міцності. Зменшення співвідношення між складовими (метакаолін : зола) в КМАД, мабуть, пояснюється тим, що більш ніж оптимальна кількість метакаоліну з активним Al₂O₃, призводить до збереження його в вільному незв'язаному стані. В цьому випадку активний глинозем взаємодіє з сульфатними іонами з утворенням добре розчинним у воді сульфату алюмінію, який за допомогою води виноситься з бетону. На рис. 5 наведена зміна міцності бетонів, що тверділи в розчині сульфатної кислоти протягом 1 року.

Аналізуючи показники, що наведені на рис. 5, можна

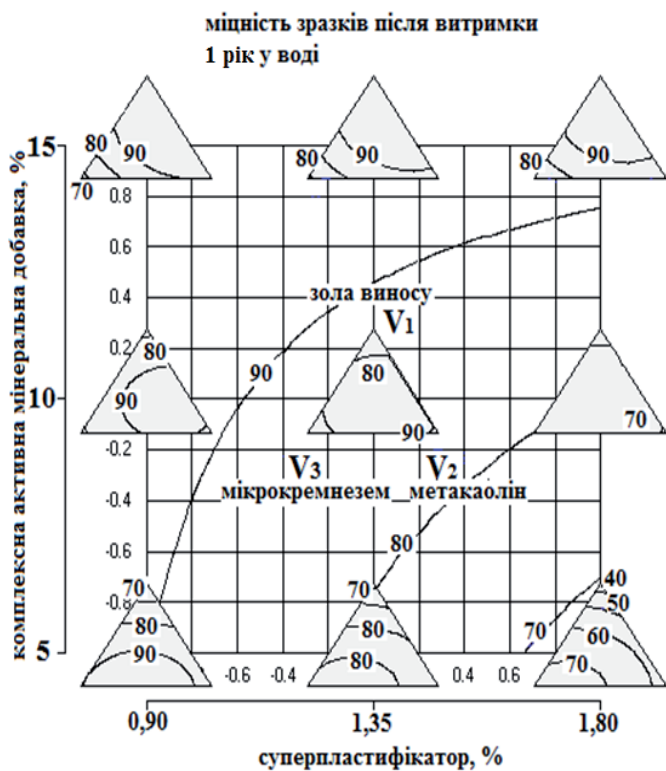


Рис. 4. Міцність бетонних зразків після їх твердіння у воді 1 рік

Найбільш ефективною є комплексна добавка з максимальним вмістом суперпластифікатора та співвідношенням між мінеральними складовими: 75% золи виносення і 25% метакаоліну; або 40...60% мікрокремнезему і 60...40% метакаоліну; або 40...60% мікрокремнезему і 60...40% золи.

Отримані результати в останньому випадку пояснюються відсутністю деструктивних корозійних процесів та позитивним структуроутворюючим внеском метакаоліну та мікрокремнезему з формування фаз, типу кальцієвих гідроалюмосилікатів, а також низькоосновних гідросилікатів кальцію,

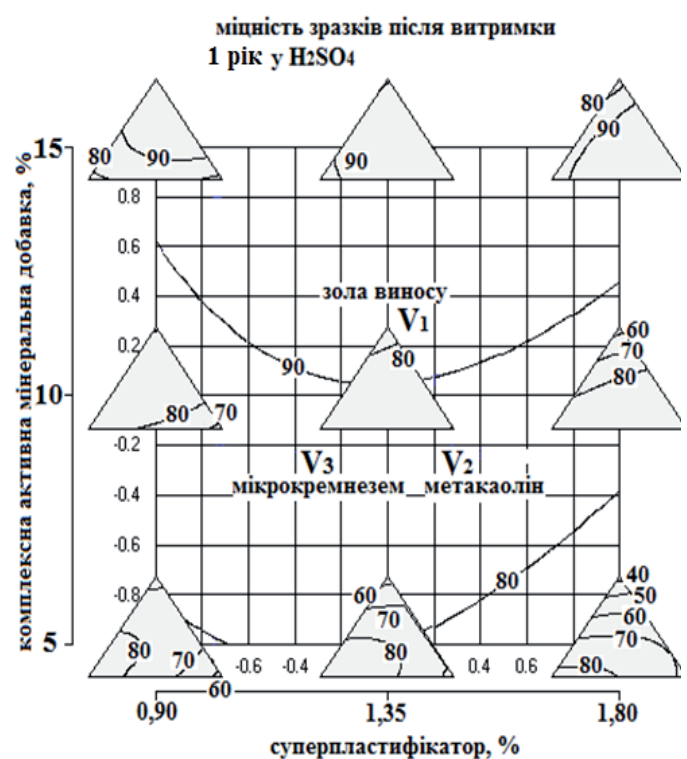


Рис. 5. Вплив комплексної добавки на зміну міцності бетонних зразків після 1 року твердіння у розчині сульфатної кислоти

відмітити, що найбільшу міцність при зберіганні у розчині сульфатної кислоти мають бетони з максимальним вмістом КМАД, але оптимальне співвідношення між компонентами КМАД залежить від вмісту суперпластифікатора. Так, при мінімальній кількості суперпластифікатора кращим складом є добавка, в якій співвідношення між мінеральними складовими становить 40...60% мікрокремнезему і 60...40% золи. З підвищенням вмісту суперпластифікатора співвідношення дещо змінюються. Так, вже найбільш ефективною є до-

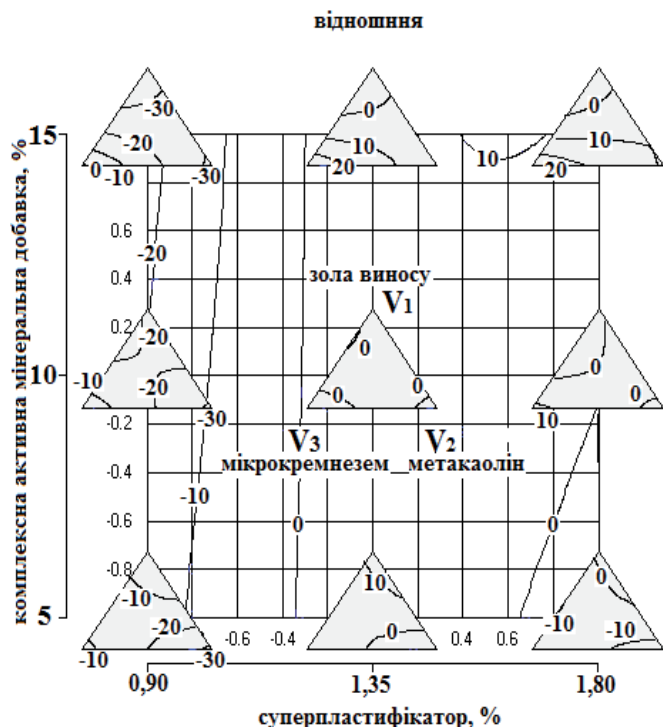


Рис. 6. Втрата міцності бетону, що зберігався в розчині сульфатної кислоти протягом 1 рік, по відношенню до міцності бетону, що зберігався такий же термін у вод

бавка, що містить 75% метакаоліну і 25% золи. Отримані результати пояснюються відомими залежностями, що були викладені вище.

На рис. 6 наведена залежність втрати міцності бетону, що зберігався в розчині сульфатної кислоти протягом 1 року, по відношенню до міцності бетону, що зберігався такий же термін у воді.

Аналіз даних, наведених на рис. 6, дозволяє зазначити, що найменшими втратами міцності характеризуються бетони з максимальним вмістом суперпластифікатора та КМАД. При максимальному вмісту суперпластифікатора спостерігається вже навіть приріст міцності бетону, що зберігався в сульфатні кислоті по відношенню до такого ж складу бетону, який твердів у воді. Тому, найбільш оптимальним в КМАД є співвідношення 75% золи і 25% метакаоліну або 30...40% мікрокремнезему і 70...60% метакаоліну. Ці співвідношення майже співпадають з раніш отриманими при випробуванні бетонів в ранні терміни тверднення бетону. Виходячи з вартісного показника КМАД найбільш оптимальним складом КМАД є склад, що містить 75% золи і 25% метакаоліну. Отримані склади дозволяють отримувати високоміцні кислотостійкі бетони в протилежність кислотостійкому бетону на портландцементі без КМАД.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зайченко Н.М. Высокопрочные тонкозернистые бетоны с комплексно модифицированной микроструктурой: дис. ... доктора техн. наук / Зайченко Н.М. - Макеевка, 2009. - 356 с.
2. Шейнич Л.А. Новые тенденции развития технологии бетона / Шейнич Л.А. // Дни современного бетона-Хортица 2012: сб. докладов. - Запорожье, 2012. - С. 7-9.
3. Вплив комплексної активної мінеральної добавки різного складу на міцність бетону / [Пушкарьова К.К., Приймаченко А.С., Шейніч Л.О., Гедулян С.І.]// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. - Вип. 26. - Рівне, 2013. - С. 97-99.
4. Захист від корозії у будівництві. Бетони. Загальні вимоги до проведення випробувань (ГОСТ 27677-88, ІДТ): ДСТУ Б ГОСТ 27677: 2011. - [Чинний від 2012-12-01]. - К.: Мінрегіон України, 2012. - IV, 9 с. - (Національний стандарт України).
5. Бутт Ю.М. Практикум по химической технологии вяжущих веществ / Бутт Ю.М., Тимашев В.В. - М.: Высшая школа, 1973. - 504 с.