

энергии и топлива при управлении микроклиматом // Водоснабжение и санитарная техника. – 1985. – № 3. – С. 11–12. 11. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений. – М.: Стройиздат, 1981. – 248 с. 10. Возняк О.Т., Ковальчук А.О., Миронюк Х.В. Повітророзподіл зустрічними неспіввісними круглими струминами // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2004. – № 495. – С. 42–47.

УДК 666.972

М.І. Мовчан

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автомобільних шляхів
79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОГО ВАКУУМУВАННЯ ВИРОБІВ НА МІЦНІСТЬ БЕТОНУ, ПРОСОЧЕНОГО РОЗПЛАВОМ СІРКИ

© Мовчан М.І., 2007

Наведено результати досліджень просочення бетону розплавом сірки після попереднього вакуумування зразків. Встановлено вплив величини попереднього вакуумування й тривалості просочення на міцність бетоносіркополімерів різного складу.

The article presents the test results of the saturation of concrete with liquid sulphur after a preliminary vacuuming of samples. The results indicated the influence of preliminary vacuuming and duration of the saturation on the strength of the concrete of different compositions.

Актуальність проблеми. Значне підвищення фізико-механічних показників і поліпшення експлуатаційних властивостей бетонних виробів може бути досягнуте просоченням бетону розплавом сірки. Підвищується щільність бетону, зменшується його водопоглинання й значно зростає міцність. При вакуумуванні виробів перед просоченням можна одержувати бетоносіркополімери з міцністю при стиску 140 і при згині 25 МПа й більше [1–3].

Фізико-хімічні властивості сірки та її розплаву задовольняють вимоги, що висуваються до композицій, які використовуються для просочення [4]. Порівняно невисока в'язкість розплаву, хороше змочування поверхні бетону, низька температура плавлення й кристалізації сірки [5] дають змогу використовувати її для просочення пористих матеріалів. Твердіння сірки в поровому просторі матриці проходить при охолодженні виробу після просочення до температури довкілля й не вимагає застосування спеціальних прийомів і обладнання.

Аналіз останніх досліджень. Загалом просочення здійснюють, зануривши попередньо висушений і прогрітий виріб у розплав сірки. Розплавлена сірка проникає в поровий простір бетону, переважно під дією капілярних сил. Тривалість обробки виробів коливається від 0,5 до 20 і більше годин залежно від структури бетону, розмірів виробу й необхідної глибини просочення. Повне просочення масивних виробів із щільного бетону без застосування спеціальних технологічних прийомів практично неможливе.

Від глибини й повноти просочення матриці значною мірою залежать фізико-механічні та експлуатаційні властивості просоченого матеріалу. Результати досліджень бетонополімерів [6–8] показують, що, за інших однакових умов, збільшення вмісту кольматувальної речовини та глибини її проникання зростає міцність і довговічність, поліпшуються інші властивості просоченого матеріалу.

Аналіз просочення бетону розплавом сірки [9] показав, що попереднє вакуумування істотно впливає на просочення бетону розплавом сірки. Зменшення тиску в поровому просторі матеріалу

приводить до підвищення швидкості просочення. Звільнення пор та капілярів від повітря сприяє ефективному насиченню бетону сіркою, особливо на початковій стадії просочення. У порах великого діаметра, які розміщені біля поверхні зразка і сполучені з поверхнею каналами достатньо великого перерізу, розплав сірки не одержує опору при русі по них. Заповнення таких пор проходить практично миттєво. Крім того, атмосферний тиск, при якому проходить просочення, відіграє роль додаткового щодо тиску в поровому просторі. Цим пояснюється такий інтенсивний приріст маси при просоченні зразків після попереднього вакуумування.

Вакуумування виробів перед просоченням істотно підвищує швидкість проникання розплаву сірки в поровий простір бетону й сприяє збільшенню ступеня заповнення матриці сіркою. Попереднє вакуумування до тиску 0,01 МПа дає змогу скоротити тривалість обробки дрібно-розмірних виробів у 15–20 разів порівняно з просоченням при атмосферному тиску. Значно зростає щільність просоченого бетону, зменшується його водопоглинання.

Мета роботи. Вивчення впливу технологічних параметрів просочення бетонів різного складу на міцність бетоносіркополімерів.

Методика досліджень. Фізико-механічні характеристики бетоносіркополімерів вивчали на зразках з розмірами 7,07×7,07×7,07 см. Після виготовлення їх зберігали 28 днів в нормальних тепловологісних умовах. Перед просоченням зразки висушували при температурі (150±5) °С до постійної маси. В розплав сірки їх занурювали попередньо прогрітими до температури розплаву.

Просочення зразків розплавом сірки здійснювали при температурі (150±3) °С в лабораторній установці, яка складалася з камери просочення, вакуумного обладнання й контрольно-вимірної апаратури. Основу установки становила термовакуумна шафа з електричним підігріванням, обладнана пристроєм автоматичного підтримання заданої температури розплаву.

Склад бетонної суміші характеризувався трьома чинниками: об'ємною концентрацією цементного тіста (C), яка визначає макроструктуру бетону; істинним цементно-водним відношенням (C/B_i), яке впливає на мікроструктуру цементного каменю; співвідношенням за масою між піском і щебенем (r). Для узагальнення результатів досліджень були використані бетонні зразки різних складів, які охоплюють всю зону існування цементних систем: об'ємну концентрацію цементного тіста змінювали від 0,2 до 1, істинне цементно-водне відношення – від 2,2 до 4, а співвідношення між піском і щебенем – від 0,3 до 0,6. З технологічних чинників варіювали тиск в капілярах і порах бетону (P_o , МПа) перед зануренням в розплав сірки та тривалість просочення (τ , год) за атмосферного тиску.

Вихідними параметрами були: міцність просочених зразків при стиску (R_b , МПа) та при згині (R_{btb} , МПа); коефіцієнти зміцнення бетону, які визначалися як відношення міцності просочених зразків до міцності контрольних, (K_b , K_{btb}) відповідно при стиску та при згині; приріст міцності на 1 % за масою поглинутої бетоном сірки при стиску ($\Delta R_b/\Delta S$, МПа/%) та при згині ($\Delta R_{btb}/\Delta S$, МПа/%).

Для досягнення поставленої мети був використаний ротатбельний центральний композиційний план, який дає змогу одержати математичну модель залежності досліджуваного параметра від факторів, які варіюються, у вигляді полінома другого порядку. Інтервали і рівні варіювання факторів наведено в таблиці. Обчислення коефіцієнтів рівняння регресії, їхній статистичний аналіз і перевірку адекватності одержаних моделей здійснювали, враховуючи рекомендації щодо застосування методів математичного планування експериментів у технології бетону [12].

Інтервали і рівні варіювання факторів

Фактори		Інтервал варіювання	Рівні варіювання				
Натуральний вид	Кодований вид		-2	-1	0	+1	+2
C	X_1	0,05	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
C/B_i	X_2	0,45	2,20	2,65	3,10	3,55	4,00
r	X_3	0,075	0,300	0,375	0,450	0,525	0,600
P_o	X_4	0,015	0,030	0,045	0,060	0,075	0,090
lgt	X_5	0,3	-0,6	-0,3	0	0,3	0,6

Результати виконаних досліджень. Після обробки результатів експериментів одержали математичні моделі, які дають можливість оцінити вплив прийнятих факторів на показники міцності бетоносіркополімеру:

$$R_b = 68,6 - 2,3 \frac{C-0,3}{0,05} + 7,1 \frac{Ц/B_i - 3,1}{0,45} - 2,3 \frac{r-0,45}{0,075} - 7,1 \frac{P_o - 0,06}{0,015} + 8,2 \frac{\lg \tau}{0,3} + 2,7 \left(\frac{C-0,3}{0,05} \right) \left(\frac{r-0,45}{0,075} \right), \quad (1)$$

$$R_{btb} = 10,09 - 0,67 \frac{C-0,3}{0,05} - 0,68 \frac{P_o - 0,06}{0,015} + 0,99 \frac{\lg \tau}{0,3} - 0,27 \left(\frac{r-0,45}{0,075} \right)^2, \quad (2)$$

$$K_b = 1,49 - 0,12 \frac{C-0,3}{0,05} - 0,24 \frac{Ц/B_i - 3,1}{0,45} - 0,17 \frac{P_o - 0,06}{0,015} - 0,18 \frac{\lg \tau}{0,3} + 0,07 \left(\frac{Ц/B_i - 3,1}{0,45} \right)^2 + 0,09 \left(\frac{C-0,3}{0,05} \right) \left(\frac{r-0,45}{0,075} \right) + 0,08 \left(\frac{Ц/B_i - 3,1}{0,45} \right) \left(\frac{P_o - 0,06}{0,015} \right) - 0,07 \left(\frac{P_o - 0,06}{0,015} \right) \frac{\lg \tau}{0,3}, \quad (3)$$

$$K_{btb} = 2,05 - 0,31 \frac{C-0,3}{0,05} - 0,42 \frac{Ц/B_i - 3,1}{0,45} - 0,14 \frac{P_o - 0,06}{0,015} - 0,20 \frac{\lg \tau}{0,3} + 0,14 \left(\frac{Ц/B_i - 3,1}{0,45} \right)^2, \quad (4)$$

$$\frac{R_b}{\Delta S} = 3,18 - 0,67 \frac{C-0,3}{0,05} - 0,6 \frac{P_o - 0,06}{0,015} + 0,71 \frac{\lg \tau}{0,3}, \quad (5)$$

$$\frac{R_{btb}}{\Delta S} = 0,72 - 0,16 \frac{C-0,3}{0,05} - 0,04 \frac{P_o - 0,06}{0,015} - 0,06 \frac{\lg \tau}{0,3} + 0,06 \left(\frac{C-0,3}{0,05} \right) \left(\frac{Ц/B_i - 3,1}{0,45} \right) - 0,04 \left(\frac{C-0,3}{0,05} \right) \left(\frac{r-0,45}{0,075} \right) - 0,04 \left(\frac{Ц/B_i - 3,1}{0,45} \right) \left(\frac{r-0,45}{0,075} \right). \quad (6)$$

Аналіз рівнянь (1)–(6) показує, що попереднє вакуумування зразків істотно впливає на міцність бетону, просоченого сіркою. Зменшення тиску в поровому просторі матеріалу сприяє збільшенню швидкості проникання розплаву в бетон і повнішому заповненню пор і капілярів сіркою. З урахуванням відомого положення, що зменшення пористості на 1 % призводить до збільшення міцності бетону приблизно на 5%, можна було очікувати зміцнення просоченого бетону всього на 60–80 %. Результати досліджень показують збільшення міцності зразків у декілька разів. За аналогією з бетонополімерами, це можна пояснити створенням додаткового каркасу в порах та капілярах і ліквідацією дефектів у матриці матеріалу. У такому бетоні напруження розподіляються рівномірніше, зменшується ймовірність руйнування по внутрішніх дефектах матриці, і, як наслідок, зростає опір матеріалу зовнішнім навантаженням.

Результати досліджень показують, що ступінь зміцнення просочених сіркою зразків на розтяг при згині перевищує ступінь зміцнення їх при стиску. Міцність бетону при згині для контрольних зразків становила близько 1/9 від їхньої міцності при стиску. Для бетону, просоченого сіркою, це співвідношення становило приблизно 1/7. Одержані дані дають змогу зробити допущення про більшу тріщиностійкість бетоносіркополімеру.

Вакуумування бетону перед просоченням сприяє ефективнішому використанню сірки. Рівняння (5), (6) однозначно вказують на збільшення питомого приросту міцності просочених зразків при зменшенні тиску в поровому просторі бетону.

При просоченні бетонних виробів розплавом сірки важливим моментом є вибір оптимального складу бетонної суміші, який дасть змогу максимально реалізувати переваги просочення. Аналіз рівнянь (1)–(6) показує, що, змінюючи склад бетонної суміші, можна в широких межах регулювати міцність і коефіцієнт зміцнення бетоносіркополімеру. Можна підібрати суміші, які дають змогу при мінімальній витраті сірки одержати матеріал з необхідними механічними властивостями. Формули (1)–(6) дають змогу прогнозувати міцність бетоносіркополімерів.

Висновки. Міцність бетону, просоченого розплавом сірки при залишковому тиску в поровому просторі 0,01 МПа, збільшується в 1,4–3 рази порівняно з просоченням без вакуумування. Витрата сірки зростає тільки на 10–25 %.

Збільшення істинного цементно-водного відношення бетонної суміші з 2,2 до 4 сприяє підвищенню міцності бетоносіркополімеру в 1,2–1,8 рази. Співвідношення між піском та щебенем в бетонній суміші рекомендується приймати з урахуванням об'ємної концентрації цементного тіста. Оптимальними є склади сумішей з $C = 0,2$ і $r = 0,3$.

1. Серные бетоны и бетоны, пропитанные серой / В.В. Патуроев, А.Н. Волгушев, Ю.И. Орловский. – М.: ВНИИС, 1985. – 58 с. 2. Мовчан Н.И. Пропитка изделий для дорожного строительства расплавом серы // Повышение качества строительства автомобильных дорог в Нечерноземной зоне РСФСР: Тез. докл. научно-техн. конф. – Владимир, 1985. – С. 105–106. 3. Орловский Ю.И., Манзий В.П. Исследование свойств бетонов, пропитанных расплавом серы // Изв. вузов. Стр-во и архит. – 1980. – № 1. – С. 78. 4. Никонов М.Р., Сазонова Л.М. Выбор материалов для эффективной пропитки бетона // Коррозионная стойкость бетона и стальной арматуры. – М.: Стройиздат. 1974. 5. Лекае В.М., Елкин Л.Н. Физико-химические и термодинамические константы элементарной серы. – М., 1964. 6. Баженов Ю.М. Бетонополимеры. – М.: Стройиздат, 1983. – 472 с. 7. Исследование бетонов с применением полимеров: Сб. научн. трудов. – М.: Стройиздат, 1980. – 105 с. 8. Касимов И.К. Бетоны, модифицированные мономерами. – Ташкент: Фан, 1982. – 120 с. 9. Мовчан М.І. Вплив вакуумування виробів на інтенсивність просочення бетону розплавом сірки // Вісн. Нац. ун-ту. “Львівська політехніка”. – 2005. – № 545. – С. 123–128.

УДК 624.131.64

А.Я. Мурин

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра мостів та будівельної механіки
79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

МІЦНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПРИ РІЗНИХ ПРОЦЕНТАХ ПІДСИЛЕННЯ ЗОВНІШНЬОЮ КОМПОЗИТНОЮ АРМАТУРОЮ

© Мурин А.Я., 2007

Подано результати експериментальних випробувань залізобетонних балок, підсиленних зовнішньою композитною арматурою. Показано ефективність підсилення експериментальних зразків стосовно непідсиленних, а також оптимізацію витрати композитної арматури за показниками міцності.

In this article scientifically proved results of experimental tests of RC beams, strengthened an external composite reinforcement. Efficiency of strengthening of experimental beams is shown in relation to unstrengthened and optimization of expense composite reinforcement on the parameters of durability.

Постановка питання. Протягом останніх років значна увага приділяється питанням підсилення конструкцій для підвищення їхніх механічних та експлуатаційних характеристик. У багатьох країнах ведуться дослідження та застосування неметалевої арматури як альтернативи традиційним методам підсилення металевими елементами. Основні переваги неметалевої арматури: висока міцність, корозійна стійкість, легкість і простота використання, відсутність необхідності стикування по довжині, висока втомна міцність, зручний та простий спосіб застосування. Особливо перспективним є застосування неметалевої арматури у великорозмірних конструкціях покриття будівель різного призначення, а також у конструкціях мостів і естакад.