

ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОСОЧЕННЯ БЕТОННИХ ВИРОБІВ РОЗПЛАВОМ СІРКИ

© Мовчан М.І., 2009

Наведено рівняння та номограма для визначення тривалості просочення бетонів розплавом сірки. Рівняння та номограму можна використовувати для проектування бетонних сумішей, управління технологічними режимами просочення виробів та якістю просочення.

The article presents an equation and a chart to determinate the duration of the concrete saturation with liquid sulphur. The equation and the chart can be used for an application of the concrete compositions, for the saturation process control, and for the saturation quality control.

Актуальність проблеми. Підвищення фізико-механічних характеристик бетону й покращання експлуатаційних властивостей бетонних виробів може бути досягнуте просоченням бетону розплавом сірки. При цьому підвищується щільність бетону, зменшується його водопоглинання й значно зростає міцність [1, 2].

Під час розв'язання практичних задач, пов'язаних з розробленням технології просочення бетонних виробів розплавом сірки, одним з основних питань є встановлення залежності між тривалістю просочення, тиском у камері і глибиною проникання сірки у бетонну матрицю. Це необхідно знати для призначення режимів оброблення виробів, що забезпечать задану глибину просочення. В іншому випадку, знаючи умови і тривалість просочення, необхідно розрахувати глибину просочення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведені дослідження [3–5] показують, що швидкість, глибина й повнота просочення значною мірою залежать від структури бетону. За збільшення радіуса капіляра просочення прискорюється. Крім того, в бетоні капіляри розрізняються не тільки розмірами, але й формою, взаємним розміщенням, способом сполучення між собою та відкритою поверхнею. Доведено, що ефективність просочення визначається не загальною, а тільки активною пористістю, тобто сукупністю пор і капілярів, які здатні заповнюватися рідиною для просочення.

Отже, змінюючи структуру бетону під час виготовлення виробу шляхом підбору оптимального складу суміші, зміни водоцементного відношення й введенням спеціальних добавок, можна управляти подальшим процесом просочення. Але цей шлях пов'язаний з технологічними ускладненнями одержання бетону з необхідною й контрольованою структурою порового простору. Крім того, збільшення радіуса капілярів призводить до збільшення пористості бетону, що в кінцевому результаті зменшує ефективність використання матеріалів.

Найвищу ефективність заповнення мають наскрізні капіляри та пори. Але бетон містить тупикові та квазітупикові пори й капіляри, особливістю яких є защемлення повітря під час просочення. При переміщенні рідини тиск повітря, яке знаходиться в таких капілярах, зростає й перешкоджає перебігу процесу. Повітря виходить по крупних капілярах і порах, капілярний тиск в яких значно нижчий від середнього. Просочення виробу, що повністю занурений в рідину, також подібне до просочення тупикових пор та капілярів.

Загалом просочення проводять, зануривши попередньо висушений і прогрітий виріб в розплав сірки. Розплавлена сірка проникає в поровий простір бетону передусім під дією капілярних

сил. Тривалість оброблення 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 фактично неможливе.

Від глибини й повноти просочення матриці значною мірою залежать фізико-механічні та експлуатаційні властивості просоченого матеріалу. За рівних інших умов збільшення вмісту кольматуючої речовини та глибини її проникання зростає міцність і довговічність, поліпшуються інші властивості просоченого матеріалу.

Аналіз процесу просочення бетону розплавом сірки [4] показав, що попереднє вакуумування істотно впливає на процес 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 знаходяться біля поверхні зразка і сполучені з поверхнею каналами достатньо великого перерізу, розплав сірки не одержує опору за руху по них. Заповнення таких пор відбувається фактично миттєво. Крім того, атмосферний тиск, за якого відбуваються просочення, відіграє роль додаткового по відношенню до тиску в поровому просторі. Цим пояснюється такий інтенсивний приріст маси під час просочення зразків після попереднього вакуумування.

Вакуумування виробів перед просоченням істотно підвищує швидкість проникання розплаву сірки у поровий простір бетону й сприяє збільшенню ступеня заповнення матриці сіркою. Попереднє вакуумування до тиску 0,01 МПа дає змогу скоротити тривалість обробки дрібнорозмірних виробів у 15–20 разів порівняно з просоченням за атмосферного тиску. При цьому значно зростає щільність просоченого бетону, зменшується його водопоглинання.

Посаднання попереднього вакуумування з просоченням під додатковим зовнішнім тиском уможливить не тільки значно скоротити тривалість оброблення виробів, але й максимально реалізувати можливості просочення як способу підвищення фізико-механічних характеристик матеріалу.

Мета роботи – розробити методику прогнозування процесів просочення бетонних виробів розплавом сірки.

Методика досліджень. Під час проведення досліджень був використаний ротатабельний центральний композиційний план, який дає можливість одержати математичну модель залежності досліджуваного параметра від чинників, які варіюються, у вигляді полінома другого порядку. Інтервали і рівні варіювання чинників наведені в таблиці. Обчислення коефіцієнтів рівняння регресії, їх статистичний аналіз і перевірку адекватності одержаних моделей проводили, враховуючи рекомендації із застосування методів математичного планування експериментів у технології бетону [6].

Інтервали і рівні варіювання чинників

Чинники		Інтервал варіювання	Рівні варіювання				
натуральний вигляд	кодований вигляд		-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

Фізико-механічні характеристики бетоносіркополімерів вивчали на зразках з розмірами 7,07x7,07x7,07 см. Після виготовлення їх зберігали 28 діб в нормальних тепловологісних умовах. Перед просоченням зразки висушували за температури 150 ± 5 °C до постійної маси. У розплав сірки їх занурювали попередньо прогрітими до температури розплаву.

Склад бетонної суміші характеризувався трьома чинниками: об'ємною концентрацією цементного тіста (C), яка визначає макроструктуру бетону; істинним цементно-водним відношенням (C/V_i), яке впливає на мікроструктуру цементного каменю; співвідношенням за масою між піском і щебенем (r). З метою узагальнення результатів досліджень були використані бетонні зразки різних складів, які охоплюють усю 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 величину тиску в капілярах і порах бетону (P_o , МПа) перед зануренням в розплав сірки та тривалість просочення (τ , год) за атмосферного тиску.

Просочення зразків розплавом сірки проводили за температури 150 ± 3 °С в лабораторній установці, яка складалася з камери просочення, вакуумного обладнання й контрольно-виміральної апаратури. Основу установки становила термовакуумна шафа з електричним підгрівом, обладнана пристроєм автоматичного підтримання заданої температури розплаву.

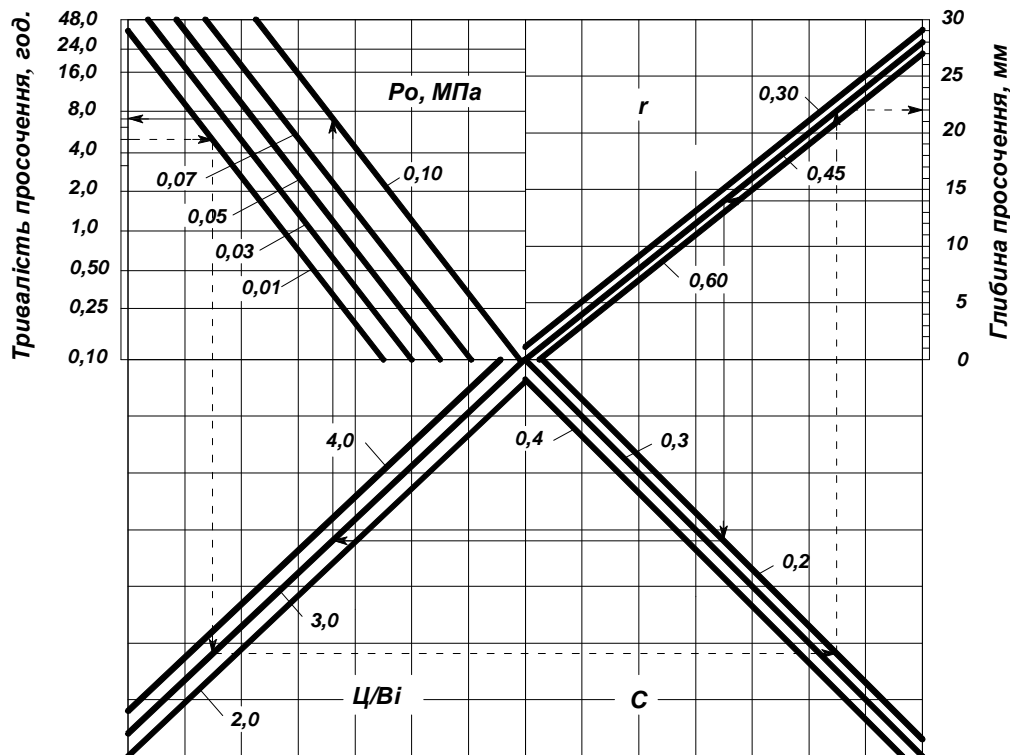
Вихідним параметром була прийнята глибина просочення зразків сіркою (h , мм).

Результати проведених досліджень. Після обробки результатів експериментів одержали математичну модель, яка дає можливість оцінити вплив прийнятих чинників на глибину проникання сірки в бетонну матрицю:

$$h = 11,01 - 0,59 \frac{C - 0,3}{0,05} - 0,70 \frac{C/V_i - 3,1}{0,45} - 0,47 \frac{r - 0,45}{0,075} - 1,53 \frac{P_o - 0,06}{0,015} + 2,03 \frac{\lg \tau}{0,3}. \quad (1)$$

Встановлено, що вакуумування виробів перед просоченням істотно підвищує швидкість проникання розплаву сірки у поровий простір бетону, сприяє збільшенню ступеня заповнення порового простору матриці сіркою. При цьому зростає щільність просоченого бетону, зменшується його водопоглинання. Попереднє вакуумування до тиску 0,01 МПа дає змогу скоротити тривалість оброблення дрібнорозмірних виробів у 15–20 разів порівняно з просоченням за атмосферного тиску.

Для проведення розрахунків за наведеною формулою розроблено номограму (рисунок), приклади користування якою наведено нижче.



Номограма для прогнозування процесу просочення бетонних виробів розплавом сірки: P_o – величина залишкового тиску в капілярах і порах бетону; r – співвідношення за масою між щебенем і піском; C/V_i – істинне цементно-водне відношення; C – об'ємна концентрація цементного тіста

Приклад 1. Необхідно визначити глибину просочення бетонної плитки розплавом сірки після попереднього вакуумування до залишкового тиску у поровому просторі бетону 0,01 МПа. Витрата матеріалів на 1 м³ суміші становить: портландцемент марки 400 – 310 кг; гранітний щебінь – 1307 кг; кварцовий пісок – 588 кг; вода – 188 л. Водопотреба щебеню становить 3,7 %, піску – 6,7 %. Просочення проводиться за атмосферного тиску упродовж 5 год.

Розраховуємо об'ємну концентрацію цементного тіста в суміші, істинне цементно-водне відношення та співвідношення за масою між щебенем і піском за формулами:

$$C = \frac{V_{\text{ц}} + B_i}{1000} = \frac{100 + 100,2}{1000} = 0,2; \quad (2)$$

$$Ц/B_i = \frac{Ц}{B_3 - (Щw_{\text{щ}} + Пw_{\text{п}})}, \quad (3)$$

$$r = \frac{П}{Щ}, \quad (4)$$

де $V_{\text{ц}}$ – абсолютний об'єм цементу, л; B_i – „істинний” об'єм води, л; $Ц$ – маса цементу в 1 м³ суміші, кг; B_3 – витрата води на 1 м³ суміші, л; $Щ$ – маса щебеню в 1 м³ суміші, кг; $П$ – маса піску в 1 м³ суміші, кг; $w_{\text{щ}}$ – водопотреба щебеню, в частках від одиниці; $w_{\text{п}}$ – водопотреба щебеню, в частках від одиниці.

При цьому

$$V_{\text{ц}} = \frac{Ц}{\rho_{\text{ц}}}, \text{ а } B_i = B_3 - (Щw_{\text{щ}} + Пw_{\text{п}}),$$

де $\rho_{\text{ц}}$ – густина цементу (в нашому випадку $\rho_{\text{ц}} = 3,1$ кг/л).

Після проведення розрахунків одержимо: $C = 0,2$; $Ц/B_i = 3,1$; $r = 0,45$.

Користуючись номограмою (рисунок), визначаємо, що глибина просочення становитиме 22 мм (хід рішення показаний штриховими лініями зі стрілками).

Приклад 2. Для цих самих виробів визначити необхідну тривалість просочення до досягнення проникання сірки на глибину 14 мм без попереднього вакуумування за атмосферного тиску ($P_0 = 0,1$ МПа).

Користуючись номограмою, одержуємо, що просочення необхідно проводити упродовж 7 год (хід рішення показаний суцільними лініями зі стрілками).

Висновки. Номограма (рисунок), яка пов'язує тривалість і глибину просочення, величину тиску в поровому просторі матриці й структурні характеристики бетону, дає змогу прогнозувати процес просочення бетонних виробів. Її можна використовувати для призначення й корегування складу бетонних сумішей, управління технологічними режимами просочення виробів і якістю просочення.

1. Орловский Ю.И., Манзий В.П. Исследование свойств бетонов, пропитанных расплавом серы // Изв. вузов. Стр-во и архит. – 1980. – № 1. – С. 78. 2. Серные бетоны и бетоны, пропитанные серой / В.В. Патуроев, А.Н. Волгушев, Ю.И. Орловский. – М.: ВНИИС, 1985. – 58 с. 3. Баженов Ю.М. Бетнополимеры. – М.: Стройиздат, 1983. – 472 с. 4. Мовчан М.І. Вплив вакуумування виробів на інтенсивність просочення бетону розплавом сірки // Вісн. НУ “Львівська політехніка” “Теорія і практика будівництва”. 2005. – № 545. – С. 123–128. 5. Касимов И.К. Бетоны, модифицированные мономерами. – Ташкент: Фан, 1982. – 120 с. 6. Рекомендации по применению методов математического планирования эксперимента в технологии бетона. – М.: НИИЖБ, 1982. – 103 с.