



Рисунок 2. Процесс обработки

поверхности с одновременной передачей данных на стационарно расположенный на шасси монитор и печатающее устройство. Таким образом, производится оценка состояния трубопроводов до санации и контролируется качество самого процесса санирования. При необходимости восстановления трубопровода производится облицовка цементным раствором, позволяющая предотвратить коррозионные разрушения, инкрустации, восстановить внутреннюю защиту и улучшить гидравлические свойства. Диаметр трубопровода при этом типе санации остается практически без изменений. При этом решается основная задача по защите от наростов и коррозии, а также улучшается качество воды, т.к. исключается контакт с металлом при транспортировке очищенной воды к потребителю. На рисунках 1-3 представлены этапы восстановления внутренней поверхности трубопровода.



Рисунок 3. Внутренняя поверхность трубопровода после обработки

Цементный раствор, применяемый при методе центрифугирования в области питьевой воды, состоит из цемента по DIN 1164 и минеральных веществ из природных залежей (например, кварцевого песка) после огненной сушки, в качестве добавок удовлетворяющих требованиям по DIN 4226.

Санирование старых трубопроводов методом цементного центрифугирования – одно из ведущих направлений работы нашего предприятия, выгодно отличающееся от других технологий санирования относительной простотой использования, экономичностью и универсальностью. Этот метод позволяет успешно и с минимальными затратами производить также восстановление газопроводов и канализационных труб.

УДК 621.864

ОПТИМАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ ТОРКРЕТУВАННЯ

Н. П. Водовозов

Приведено результати досліджень та оптимізації технологічних параметрів проведення торкретних робіт. Оптимізація проведена по максимуму міцності і мінімуму відскоку. Методом теоретичного аналізу визначені оптимальні склади цементно-піщаної суміші; експериментально визначені технологічні параметри торкретування. Проведено удосконалення, на рівні винаходу, технологічного обладнання для проведення торкретних робіт методом механічного торкретування. Оптимальні параметри впроваджено в технологічні процеси при зведенні і ремонті водоканалізаційних споруд на об'єктах ВАТ «Південспецбуд».

1. Вступ

Метод «сухого» торкретування є одним з найефективніших методів струменевого бетонування. За своїми властивостями торкрет відрізняється підвищеними показниками міцності, густини, водонепроникливості, антикорозійної стійкості та ін. у порівнянні з бетоном такого ж складу, але ущільненого вібрацією. Сучасна технологія торкретування ґрунтується, в основному, на емпіричному матеріалі, дані якого не завжди співпадають, тому актуальними є теоретичні обґрунтування технології на рівні сучасних уявлень теорії композитних матеріалів та структурної теорії міцності. Результати розробки та втілення технологічного процесу знайшли відображення в циклі робіт [1-8].

2. Технологічний процес торкретування

Технологічний процес торкретування може бути розглянутий як система, що складається з двох підсистем, з яких перша підсистема – підготовча, полягає в утворенні дискретного потоку з часток цементу наповнювача і води. Для створення потоку застосовуються пневма-

тичні апарати, або механічні пристрої, в яких частково зволожений наповнювач, перемішаний з цементом, розганяється до заданої швидкості руху. В останню мить перед вихідним отвором в суміш вводиться вода у вигляді аерозолі. Відокремлюючись від апарату, потік (за час дії другої підсистеми) досягає поверхні бетонування і миттю перетворюється в шар щойноукладеного бетону – торкрет. Незважаючи на велику швидкість, механізм утворення торкрету розкритий і створена модель, що інтерпретує сутність його протікання.

Найкраще це спостерігається при бетонуванні деякої обмеженої ділянки, наприклад, поверхні металевого дна форми, що характеризується пружними властивостями. Спочатку на ній можуть утримуватись найдрібніші частинки – зволожені зерна цементу та частинки порошку із складу наповнювача. Зерна ж крупністю від 0,14 мм і вище відбиваються від поверхні, створюючи відскок. Це відбувається, поки на бетонованій поверхні не відкладається в'язко-пластичний шар із дрібних частинок, зв'язаних силами поверхневого натягу води. Утворений шар розглядається як система нульового рівня, або за теорією композитів як матриця, в яку проникають зерна наповнювача і, витративши на перемагання в'язкого опору свій запас кінетичної енергії, залишаються в ній. Так утворюється система першого рівня, або шар розчину. Цей шар, у свою чергу, також можна розглядати як матрицю, в яку проникають зерна більших за крупністю фракцій. Так створюється багаторівнева структура торкрету

Наповерхні шару з'являються нові, тепер уже локальні ділянки з пружними властивостями. Це виступаючі зовні зерна наповнювача, що проникли в шар, але ще не вкрились шаром тіста (або розчину) достатньої товщини. При зустрічі з такими ділянками зерен, що рухаються у складі потоку, відбуваються пружні зіткнення, внаслідок чого зерна обмінюються імпульсами: ті, що рухались, відбиваються у протилежну сторону, а ті, що були занурені в матрицю, зближуються між собою, аж до виникнення контакту між ними. Так реалізується один із основних елементів процесу «сухого» торкретування – створення контактної структури торкрету на всіх структурних рівнях. Отже постійний відскок – це не безкорисно витрачений матеріал, а робочі тіла, що відпрацювали, надавши торкрету ті додаткові фізико-механічні властивості, якими він відрізняється від звичайного бетону, ущільненого вібрацією.

Кількість відскоку залежить від імовірності зіткнень та параметрів процесу: ступені ущільнення, коефіцієнта, що враховує форму зерен, та складу суміші. При однофракційному наповнювачі, кількість відскоку досягає максимуму. Для врахування відскоку при зіткненні зерен менших фракцій з зернами більших, повинні бути введені відповідні поправки. Для розрахунку коефіцієнта відскоку, на ЕОМ розроблено алгоритм, реалізацією якого на ЕОМ було встановлено, що для мінімізації відскоку при багатofракційному наповнювачі окремі фракції повинні вводиться до складу суміші в рівних долях. Значення коефіцієнта відскоку, враховані на ЕОМ для наповнювача оптимального гранулометричного складу, зерна якого кулеподібної форми з гладкою поверхнею та густиною 2,5-2,6 г/см³ (що відповідає показникам кварцового піску більшості кар'єрів України), приведені в табл.1 (ліворуч).

Більш вагомим показником оптимальності в ситуації, коли існують екстремальні умови експлуатації спо-

руд, слід вважати параметр, який би враховував властивості матеріалу, пов'язані з його корозійною стійкістю та довговічністю. Згідно з теорією композитів, таким показником якості є коефіцієнт заповнення об'єму наповнювачем. Значення цього коефіцієнта в торкреті приведені в табл.1 (праворуч).

З метою вибора оптимальних значень складу «сухої» суміші, приймаючи за параметр оптимізації коефіцієнт заповнення, все поле значень його в табл.1, в межах інтервалу 0,55-0,78 (що відповідає створенню контактної структури), розділяється на три ділянки з урахуванням як структурних, так і економічних показників:

1-а ділянка задовольняє як структурним показникам по значенню коефіцієнта заповнення (0,69-0,71), так і економічним по кількості відскоку (13,0 – 21,0%);

2-а ділянка поділяється на дві частини, з яких перша має показники значення коефіцієнта заповнення 0,60-0,69 та кількість відскоку 20-27%, а друга – 0,75-0,78 та 22-26% відповідно. За своїм значенням, показники обох ділянок мало відрізняються, але умови підготовки «сухої» суміші у другому випадку значно ускладнюються, що пов'язано з необхідністю вживання багатofракційного заповнювача.

3-я ділянка задовольняє по структурним показникам по значенню коефіцієнта заповнення 0,60-0,77, але це може виявитись не рентабельним у зв'язку з підвищеним відскоком.

Показники оптимізації складу цементнопіщаної суміші, що приведені в табл.1, визначені при фіксованих рівнях технологічних параметрів: швидкості руху матеріалу у стані вільного польоту та відстані між соплом і поверхнею бетонування. Ці параметри уточнювались експериментально із застосуванням сучасних методів: оптимального планування та статистичної обробки даних. Для визначення оптимальних умов було проведено круте підняття по поверхні відскоку. За основний параметр оптимізації приймалась міцність торкрету на стиск. Попереднім аналізом даних було намічено серію дослідів для руху в напрямку градієнта лінійного наближення. При цьому крок по фактору, що відповідає відстані між соплом та поверхнею торкретування для відскока має знак, протилежний значенню кроку для міцності. Отже, рухаючись в бік максимуму міцності, одночасно відбувається наближення в бік мінімуму відскоку. Найвища міцність – 51,8 МПа була досягнута при значенні швидкості близько 145 м/с і відстані від сопла до поверхні 1050 мм. Таким чином, ці дані є підстава вважати як оптимальні.

Таблиця 1.

Структурні показники торкрету

Склад «сухої» суміші	Праворуч – коефіцієнт заповнення: чисельник – доля матриці; знаменник – наповнювача. Ліворуч – коефіцієнт відскоку при таких числах фракцій у складі наповнювача:				
	1	2	3	4	5
1:1	24,9 0,57/0,43	17,5 0,55/0,45	12,1 0,53/0,47	9,5 0,53/0,47	7,9 0,52/0,48
1:2	39,9 0,45/0,55	26,9 0,40/0,60	20,4 0,38/0,62	15,4 0,37/0,63	13,0 0,36/0,64
1:3	49,9 0,40/0,60	35,2 0,34/0,66	27,0 0,31/0,69	21,8 0,30/0,70	18,4 0,29/0,71
1:4	57,0 0,37/0,63	42,1 0,30/0,70	32,5 0,27/0,73	26,3 0,25/0,75	22,2 0,26/0,76
1:5	62,4 0,35/0,65	47,6 0,28/0,72	37,5 0,27/0,73	30,3 0,23/0,77	25,0 0,22/0,78

Особливістю торкретування є спосіб зволоження. Кількість води для цього визначається із розрахунку кількості води, що потрібна на утворення цементного тіста нормальної густоти в торкреті та кількості необхідної на зволоження поверхні наповнювача. Для забезпечення швидкого і рівномірного розподілу води між частинками твердої фази, вона вводиться в струмінь у стані аерозолу в останню мить перед виходом із каналу сопла.

Створення зв'язної системи відбувається в момент зіткнення частинок твердої фази і частинок роздробленої води між ними з поверхнею бетонування. При цьому частинки води заповнюють простір, що залишається між частинками твердої фази при їх щільному упакуванні. Можливий надвишок води витісняється при цьому на поверхню, по вигляду якої оператор може контролювати подачу води в ході процесу торкретування.

Для розрахунку міцності торкрету методом кореляційного аналізу були одержані рівняння, які описують залежність міцності торкрету та стиск на вигин від активності цементу, складу цементнопіщаної суміші та водоцементного відношення.

В процесі практичної реалізації результатів проведеного дослідження було розроблено на рівні винаходу удосконалене обладнання для механічного торкретування, основною відзнакою якого є значно менша маса роторів та зменшений їх момент інерції, а також можливість провадити торкретування в будь-якому заданому напрямі: «вниз», «вгору» або на бічну поверхню. Таке обладнання може бути використане для нанесення захисних покриттів на внутрішню поверхню каналізаційних колекторів великих діаметрів.

Для підвищення антикорозійної стійкості таких покриттів, було розроблено торкретування із викорис-

танням спеціальної антикорозійної добавки, склад якої був розроблений методом оптимального планування експерименту. Оптимізований склад добавки у торкреті забезпечив міцність торкрету в точці максимуму: 42,1 МПа на стиск та 9,7 МПа на згін.

Широке впровадження результатів дослідження було проведено при омонолічуванні стиків збірних резервуарів для води. Була удосконалена форма стика та схема його заповнення, а також розроблена технологічна схема провадження робіт по омонолічуванню збірного залізобетонного резервуара для води. Техніко-економічне порівняння способів омонолічування (пневматичним чи механічним торкретуванням) по трудозатратам та енерговитратам довело, що отримані дані свідчать про значну перевагу механічного торкретування, особливо щодо енерговитрат.

3. Висновки

На основі проведених досліджень розроблено нове (на рівні винаходу) технологічне обладнання, що дозволяє здійснити процес торкретування на механічній основі зі застосуванням роторних металевих пристроїв удосконаленого зразку. При тому досягається висока продуктивність, а енерговитрати знижуються до звичайного рівня 0,4-0,8 квт.ч/м³, як це має місце в загальноприйнятих технологіях бетону. Захисні властивості торкрету, що розроблений, посилюються введенням комплексної антикорозійної розширювальної добавки, оптимальний склад якої враховує особливості технології механічного торкретування. Розроблена ефективна технологія нанесення захисного покриття на поверхні споруд, що в процесі експлуатації контактує з агресивним середовищем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Водовозов Н.П., Дюженко М.Г., Райгородский А.И. Ремонт и реконструкция стыков в сооружениях коммунального хозяйства из сборного железобетона.// Республиканский межведомственный научно-технический сборник «Коммунальное хозяйство городов», вып.4, Київ, «Техніка», 1995, с.5-6.
2. Бабиченко В.Я., Водовозов Н.П., Дюженко М.Г., Райгородский А.И. Формование сталефибробетонных изделий и конструкций по ротационной технологии. Тез. докладов XXVIII научно-техн. конференции ХГАГХ.- Харьков, 1996, с.7-8.
3. Дюженко М.Г., Водовозов Н.П., Мусин С.О., Райгородский А.И. Проведение ускоренных испытаний бетона и сталефибробетона на морозостойкость. Тез. дкл. XXVIII научн.-техн. конф. ХГАГХ.- Харьков, 1996, с.5-6.
4. Дюженко М.Г., Доронин Е.В., Водовозов Н.П. и др. Проектирование состава цементно-песчаной смеси для формирования армоцементных изделий и конструкций. Материалы к XXXV международному семинару по проблемам моделирования и оптимизации композитов. Одесса, 1996, с.62.
5. Бабиченко В.Я., Водовозов Н.П., Дюженко М.Г., Кириченко А.Г. и др. Проблемы Харьковских канализационных коллекторов.// Республиканский межведомственный научно-технический сборник «Коммунальное хозяйство городов». вып.8, Київ, «Техніка», 1997, с.56-60.
6. Водовозов Н.П., Дюженко М.Г., Мчедлов-Петросян О.П. Распределение цементно-песчаной смеси при формировании плоских изделий малой толщины методом ротационно-силового уплотнения. Материалы к XXXVI международному семинару по проблемам моделирования и оптимизации композитов. Одесса, 1997, с.124-125.
7. Водовозов Н.П., Дюженко М.Г. Повышение коррозионной стойкости канализационных коллекторов. Материалы к 37-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов, Одесса, 1998, с.130-132.
8. Водовозов Н.П., Дюженко М.Г., Шутенко Л.Н., Немерцев В.С. Оптимизация торкретных работ на объектах водоканализационного строительства.// Республиканский межведомственный научно-технический сборник «Коммунальное хозяйство городов», вып.15, Київ, «Техніка», 1998, с.14-24.

Н. П. Водовозов, кандидат технических наук, заслуженный строитель Украины.
ул. Новгородская, 3а, Харьков, 61145, УКРАИНА
E-mail: ussi@kharkov.com