

УДК 691.3

М.О.Кочевих, В.Г.Гуменюк

Київський національний університет будівництва і архітектури

ОТРИМАННЯ ДЕКОРАТИВНИХ ФІГУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ БРУКУВАННЯ ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ

В роботі розглянуто можливість отримання фігурних елементів брукування підвищеної міцності із застосуванням суперпластифікаторів різних груп, в тому числі найбільш розповсюдженого із групи нафталін формальдегідів - С-3, та нового покоління – з групи олеатів SikaPaver AE1 із застосуванням технології об'ємного вібропресування.

Ключові слова: бетон, вібропресування, суперпластифікатор, фігурний елемент брукування

Індивідуальність архітектурних рішень сучасного міста значною мірою залежить від будівельних матеріалів, які використовуються для створення інфраструктури сучасного міста, в тому числі екстер'єру вулиць й майданів, парків, скверів, присадибних територій. Важливими елементами ландшафтного дизайну є малі архітектурні форми і ландшафтна скульптура і оригінальні види елементів брукування.

Для втілення проектів найчастіше використовують цементний бетон завдяки його довговічності при відносно низькій вартості. Використання бетону для створення сучасного архітектурного середовища зумовлено можливістю його роботи в різноманітних умовах при певному рівні надійності, достатньою сировинною базою і простотою технології, відносно низькою вартістю, гармонійним сполученням з навколишнім середовищем та високою архітектурно-будівельною виразністю. [1, 2].

Однією з головних переваг сучасного декоративного бетону є можливість надання йому різноманітних форм, а також можливість отримання якісного каменю з необхідною однорідністю забарвлення та із заданою фактурою. Характерним прикладом застосування декоративного бетону є штучні вироби у вигляді елементів брукування та благоустрою [2, 3].

Отримання бетонних виробів у вигляді штучних елементів благоустрою - фігурних елементів брукування (ФЕБ) пов'язано з наступними факторами [3, 4]:

- можливістю архітектурною формоутворення навколишнього середовища, естетичністю;
- зручністю в експлуатації (що дозволяє проводити укладку доріжок і майданчиків будь-яких розмірів і конфігурацій а також можливістю проведення дорожніх робіт в будь-який час року);
- довговічністю - строк експлуатації таких матеріалів звичайно складає 25 років і більше;
- екологічністю (в порівнянні з асфальтовими покриттями – не розм'якшується і не виділяє токсичних речовин) і виключенням підйому рівня ґрунтових вод.

Сучасні технології отримання елементів благоустрою у вигляді виробів із декоративного бетону за способом формування можна поділити на дві групи – об'ємного вібропресування та вібролиття. Метод *вібролиття*, який реалізується шляхом вібрування дрібнозернистої бетонної суміші на вібростолі у формах, витримування виробів певний час у формах з послідовим їх вивільненням, характеризується меншою потужністю, практичною відсутністю можливості автоматизації, що викликає збільшення кількості обслуговуючого персоналу. В зв'язку з високим водоцементним відношенням бетонної суміші (у випадку, коли не використовують спеціальні заходи) зменшується морозостійкість, а тому й довговічність вібролитою виробів. Але слід зауважити, що вироби можуть мати складну конфігурацію, меншу товщину, достатньо гладку лицьову поверхню, більш яскравий колір [3].

Метод *об'ємного вібропресування* здійснюється віброущільненням бетонної суміші у пресформі із визначеною частотою і амплітудою з послідовним пресуванням під незначним тиском, витримування виробів певного часу для набору міцності. Такий метод отримання бетонних елементів є високопродуктивним, допускає високий ступінь автоматизації і комп'ютеризації виробництва [4]. Бетонна суміш для вібропресованих виробів характеризується низьким водоцементним відношенням, що оптимізує витрату цементу і забезпечує високі експлуатаційні властивості – міцність (клас бетону В25 та більше), морозостійкість 200...300 циклів водонепроникність W2 та більше, а тому й тривалий термін експлуатації матеріалу. Вироби мають

необхідну геометрію форми і паралельність поверхонь. Поверхню таких матеріалів для надання додаткового декоративного ефекту можна піддавати механічній обробці – шліфувати, полірувати тощо.

Відомо, що основними вимогами (за ДСТУ БВ 2.7-145:2008) до бетонних елементів брукування є класи бетону за міцністю В25, В30, В35, В_{тб} 3,2 до 4,4, морозостійкістю не менше 200 циклів (для України).

Для отримання бетонних ФЕБ методом вібропресування застосовували Здолбунівський портландцемент без добавок ПЦ-І-500, колір його однаково світло-сірий і помітно не змінюється для різних партій поставки. Як заповнювач використовували пісок річковий Дніпровський з модулем крупності $M_k=1,25$, фракціонований гранітний відсів з максимальним розміром зерен до 10 мм. Гранітний відсів для поверхневого (лицьового) шару характеризується максимальним розміром зерен до 2,5 мм, для нижнього шару – не більше 10 мм (а зазвичай 5 мм). Для зменшення водопотреби бетонних сумішей і покращення властивостей готового продукту використовували суперпластифікатори у вигляді нафталінформальдегідних поліконденсатів НФ (суперпластифікатор С-3), а також пластифікатор нового покоління (групи олеатів) багатофункціонального призначення – добавку SikaPaver AE1 (фірма Sika, Швейцарія), яка пропонується для ущільнення бетонних сумішей високої жорсткості, в тому числі для кольорових та сірих бетонів з низьким вмістом води, і одночасно надає гідрофобних властивостей поверхні бетонних виробів. У разі застосування суперпластифікатора С-3 для підвищення морозостійкості бетону використовували повітровтягувальну добавку СНП (смола нейтралізована повітровтягувальна) в кількості 0,2% від маси цементу.

Для надання декоративних властивостей застосовували барвники (в основному для фактурного лицьового шару матеріалу або в разі потреби – для об'ємного забарвлення бетонних елементів) у вигляді залізооксидних пігментів фірми Байер різних кольорів. Характеристика пігментів наведена в таблиці 1. Важливим показником є адсорбційна здатність пігменту, з підвищенням якої збільшується водопотреба бетонної суміші і зменшується міцність та морозостійкість штучного каменю.

Міцність бетону при стиску та згині визначали відразу після формування, а також після твердіння бетону протягом 1, 7, 28 діб, а також після тепловологої обробки (ТВО) при температурі 60°C і вологості 90% по режиму 2+6+2.

Таблиця 1

Характеристика пігментів фірми Байер LANXESS (Bayer) (Німеччина)

| Найменування пігменту | Колір (отримуваний тон) | Основний компонент | Адсорбція води, г/100 г | Рекомендована кількість, % від маси цементу |
|-------------------------|--|--|-------------------------|---|
| Bayerferrox 130 Rot | Червоний (від жовто-червоного до синьо-червоного) | $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ | 31 | 3...5 |
| Bayerferrox 110 Rot | Світло-червоний | $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ | 35 | 2...3 |
| Bayerferrox 320 Gelb | Жовтий (від зелено-жовтого до червоно-жовтого) | FeO(OH) | 55 | 4...5 |
| Bayerferrox 420 Gelb | Жовтий | FeO(OH) | 50 | 4...5 |
| Bayerferrox 330 Schwarz | Чорний (від темно-сірого до антрациту) | Fe_3O_4 | 33 | 4...5 |
| Bayerferrox 610 Brown | Світло-коричневий | $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$ | 35 | 2...4 |
| Bayerferrox 663 Brown | Коричневий (від світло-коричневого до червоно-коричневого) | $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3+\text{MnO}_2$ | 40 | 3...5 |
| Bayerferrox 686 Brown | Темно-коричневий | $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3+\text{Fe}_3\text{O}_4$ | 42 | 4...6 |
| Chromooxidgrun Gn | Зелений | Cr_2O_3 | 35 | 2...4 |

Характерною рисою нового покоління вискоєфективних суперпластифікаторів є те, що тільки незначна частина цементного зерна покривається полімером, і вільної поверхні зерна достатньо для доступу води і протікання реакції гідрації також під час пластифікації. При цьому ефективна пластифікація протікає до моменту початку виділення теплоти гідрації. Також перевагою таких суперпластифікаторів є те, що різні структури молекул сполучаються між собою, створюючи комбінації полімерів із різними властивостями, що надає можливість модифікації необхідних властивостей бетону [5,6]. Суперпластифікатори дозволяють знизити тривалість вібрування (в 3...4 рази) з поліпшенням розподілу бетонної суміші у формі, зменшити енерговитрати і працемісткість, а також підвищити якість готового продукту – його міцність, морозостійкість, водонепроникність при зниженні деформацій усадки [7]. При цьому також існує можливість виключення тепловологої обробки матеріалу.

Склад бетонної суміші для отримання ФЕБ за двошаровою технологією наведено в таблиці 2. Причому введення до складу суміші найбільш розповсюдженого і дешевого суперпластифікатора С-3 дозволяє зменшити водоцементне відношення і обумовлює отримання бетону з необхідними властивостями: клас за міцністю не менше В25. Підвищення кількості червоного залізооксидного барвника у складі бетонної суміші від 3 до 5% з адсорбційною здатністю 31 г води на 100 г пігменту істотно не впливає на показники міцності бетону.

Таблиця 2

Склади бетонних сумішей БС В30 Ж1 F200 W2 ДСТУ Б.В. 2.7-43-96 для отримання двохшарових ФЕБ з використанням технології вібропресування

| Бетонна суміш | Витрата компонентів, кг на 1 м ³ | | | | | Вода, л В/Ц |
|-------------------------------|---|-------------------|-------|--|------------------------|--------------------|
| | ПЦ I -500 | Гранітний відсів* | Пісок | Барвник червоний Bayerferrox 130 Rot | Суперпластифікатор С-3 | |
| Фактурний (лицьовий) шар | 400 | 1280 | 700 | 18 | 2,8 | <u>152</u> 0,38 |
| Конструкційний (основний) шар | 360 | 1300 | 630 | - | 2,52 | <u>130</u> 0,36 |

*Примітка:**Максимальний розмір фракції гранітного відсіву для фактурного шару ФЕБ становить 2,5 мм, для конструкційного – 5 мм.

Вміст повітрявтягувальної добавки СНП (смола нейтралізована повітровтягувальна) становить 0,2% від маси цементу (0,8 та 0,72 кг відповідно), вміст пігменту – 4% від маси цементу (16 кг), вміст С-3 0,7% від маси цементу

Отримання бетонів із поліпшеними властивостями: класу за міцністю В35 і вище та морозостійкістю більше 200 циклів, водопоглинанням менше 5% з поліпшеною поверхнею виробу, а також гідрофобними властивостями досягається використанням суперпластифікатора нового покоління на основі олеатів SikaPaver AE1 [8]. SikaPaver AE1 є ущільнюючою добавкою, що знижує можливість утворення висолів. Введення її в кількості 0,2...0,4% від маси цементу є ефективним для кольорових і сірих бетонів з низьким водоцементним відношенням і миттєвим розпалубленням виробів. Вона покращує процес формування виробів, забезпечуючи рівномірний розподіл цементу, добавок, пігментів в об'ємі бетонної суміші, скорочує виробничий цикл, знижує адгезію верхнього шару бетону до формоутворювальної поверхні, збільшує початкову міцність виробів, сприяє отриманню більш щільної текстури, гладкої і гомогенної поверхні виробу, покращує гідрофобність і зменшує адсорбцію води, забезпечує стійкість кольору, знижує можливість висолоутворення. Властивості бетону, отриманого з використанням добавки SikaPaver AE1 після 1 доби твердіння, наведено в таблиці 3. Відомо, що основні складності при отриманні бетону з низьким вмістом цементу є погане ущільнення, низьке повітровтягування, схильність до швидкої зміни вологості. Обраний вид добавки дозволяє вирішити ці проблеми.

Таблиця 3

Міцність вібропресованого бетону з добавкою SikaPaver AE1 після 1 доби твердіння

| Витрата компонентів, кг/м ³ | | | | | В/Ц | Середня густина бетонної суміші, кг/м ³ | Міцність бетону на стиск МПа | Міцність бетону на розтяг, МПа |
|--|------------------|----------------------------|------|-----------------------------|------|--|------------------------------|--------------------------------|
| ПЦ І -500 | Гранітний відсів | Пісок М _к =1,25 | Вода | Добавка (0,3% маси цементу) | | | | |
| 330 | 1100 | 880 | 122 | 1,00 | 0,34 | 2420 | 6,8 | 3,3 |

Використання добавки SikaPaver AE1 дозволяє отримати достатню міцність щойно відформованих виробів, що коливається в межах 0,5...2 МПа. Цей показник є дуже важливим для технологічного процесу укладання щойно відформованих виробів пошарово для здійснення наступного дозрівання.

Зазвичай міцність бетону, що твердне, збільшується з підвищенням середньої густини, але внаслідок утворення капілярних пор міцність бетону може знижуватись. Причому чим менше розмір частинок цементу і чим більше тонкомелених компонентів в його складі, тим частіше спостерігається цей ефект, навіть при низькому В/Ц. При використанні добавки SikaPaver AE1 (0,3% від маси цементу) коливання міцності може бути зведено до мінімуму. При цьому бетонні суміші є більш однорідними, тому властивості готового продукту також є більш стабільними за рахунок повітрявтягувальної дії добавки (таблиця 4).

Таблиця 4

Залежність міцності при стиску вібропресованих бетонів через 28 діб твердіння від водоцементного відношення

| Міцність при стиску через 28 діб твердіння, МПа | Водоцементне відношення | | | | |
|---|-------------------------|------|------|------|------|
| | 0,28 | 0,30 | 0,32 | 0,34 | 0,36 |
| Бетон без добавки | 30 | 34 | 37 | 37 | 32 |
| Бетон з добавкою SikaPaver AE1 | 46 | 55 | 52 | 48 | 43 |

В таблиці 5 наведено вплив добавки SikaPaver AE1 в кількості 0,3% від маси цементу на властивості вібропресованого бетону. Слід відмітити підвищення міцності при стиску бетону відразу після формування в 2,5 рази (на 150%), а на 28 добу твердіння – в 1,7 рази (на 40%). Міцність при згині при цьому збільшується в 1,5...1,7 разів.

Таблиця 5

Вплив суперпластифікатора SikaPaver AE1 на властивості вібропресованого бетону

| Показник | Одиниці виміру | Кількість добавки, % від маси цементу | |
|--|----------------|---------------------------------------|------|
| | | 0 | 0,3 |
| Водоцементне відношення | - | 0,36 | 0,30 |
| Міцність при стиску відразу після формування | МПа | 1,0 | 2,5 |
| | | 3,5 | 6,5 |
| | | 20 | 35 |
| | | 34 | 45 |
| | | 30 | 40 |
| Міцність при згині | МПа | 2,5 | 4,6 |
| | | 4,4 | 6,8 |
| | | 4,2 | 5,7 |

Ефективність дії цієї добавки обумовлена можливістю відмовлення від пропарювання, навіть при температурі навколишнього середовища менше 10°C. Використання добавки SikaPaver AE1 сприяє підвищенню міцності бетону при низьких температурах і дозволяє здійснювати нормальне

витримування бетону для набору міцності у приміщенні цеху взимку. Використання такої добавки сприяє зниженню необхідній кількості води при прискореному формуванні механічних властивостей бетону на ранніх стадіях затвердіння. Для декоративних бетонів важливим показником є колір та насиченість тону. Відомо, що на колір цементу істотний вплив чинить водоцементне відношення, яке можна регулювати за допомогою пластифікуючої добавки. З підвищенням водоцементного співвідношення від 0,3 до 0,4 інтенсивність забарвлення зменшується приблизно на 70%. Вплив кількості пігменту на властивості бетону наведено у таблиці 6. Вироби з бетону класу В25, які можуть бути отримані з використанням більш доступних добавок-суперпластифікаторів, призначені переважно для влаштування покриттів садово-паркових і пішохідних доріжок, тротуарів у внутрішньо-квартирних проїздах, а вироби з бетону класів В30 і В35, отримані за допомогою більш якісних компонентів і вдосконалених технологій – для покриттів тротуарів у місцях зупинок громадського транспорту.

Таблиця 6

Вплив вмісту залізооксидного пігменту на міцність бетону, отриманого вібропресуванням

| № п/п | Склад бетону, кг на 1 м ³ | | | Вміст пластифікатора% від маси цементу | Кількість пігменту, % від маси цементу | Водоцементне відношення | Міцність при стиску, МПа | Віднос--на міцність* |
|-------|--------------------------------------|-------|------------------|--|--|-------------------------|--------------------------|----------------------|
| | Цемент | Пісок | Гранітний відсів | | | | | |
| 1 | 330 | 880 | 1100 | 0,3 | 0 | 0,34 | 46,9 | 1,0 |
| 2 | 330 | 880 | 1100 | 0,3 | 2 | 0,36 | 44,6 | 0,95 |
| 3 | 330 | 880 | 1100 | 0,3 | 4 | 0,38 | 43,7 | 0,93 |
| 4 | 330 | 880 | 1100 | 0,3 | 6 | 0,40 | 39,3 | 0,83 |
| 5 | 330 | 880 | 1100 | 0,3 | 8 | 0,46 | 35,2 | 0,75 |
| 6 | 330 | 880 | 1100 | 0,3 | 10 | 0,48 | 33,0 | 0,7 |

*Примітка. Наведено відношення міцності при стиску кольорового бетону до міцності при стиску аналога без пігменту.

Висновки. Підвищення міцності вібропресованих бетонних фігурних елементів брукування може досягатись використанням певного виду суперпластифікатора. Вибір конкретного виду суперпластифікатора обумовлюється не тільки основним ефектом дії, але й конкретними умовами виробництва: вартістю добавки, особливістю сировинної бази, умовами виготовлення і застосування бетонних сумішей, а також вимогами до експлуатаційних властивостей декоративного бетону. Використання суперпластифікатора С-3 в кількості до 1% від маси цементу дозволяє підвищити міцність бетону на 5...15%, а добавки SikaPaver AE1 в кількості 0,3...0,6 % від маси цементу сприяє підвищенню міцності бетону при твердінні його як у нормально-повітряних умовах, так й в умовах ТВО приблизно на 20% і більше. Для надання декоративних властивостей слід використовувати залізооксидні пігменти в кількості 3...5%, що не чинить істотного впливу на показники міцності і довговічності бетону і дозволяє отримати достатню інтенсивність забарвлення, а використання сучасного суперпластифікатора сприяє підвищенню інтенсивності забарвлення, в тому числі і внаслідок зменшення водоцементного відношення.

1. Фаликман В.Р., Денискин В.В., Башлыков Н.Ф. Архитектурный бетон: новые подходы к обеспечению качества/ Бетон и железобетон, №5, 2002. – с.10-14
2. Декоративный бетон /Инновационные системы и материалы для бетона – 10 с.
3. Баженов Ю.М. Новому веку – новые эффективные бетоны и технологии /Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, №1, 2001. – с.12-13.
4. Производство тротуарной плитки и стеновых блоков методом объемного вибропрессования / Строительные материалы, №12, 2000. – с.16-17.
5. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – М., 1998. – 768 с.
6. Фаликман В.Р., Вайнер А.Я., Башлыков Н.Ф. Новое поколение суперпластификаторов /Бетон и железобетон, №5, 1999, с.5-7.
7. Мащенко К.Г. Модификаторы бетона – шаг к высококачественным бетонам и растворам / «СтройПРОФИль», №2, ноябрь, 2003 – 2 с.
8. Справочник по бетонам Sika /Т.Хирши, М.Ланц, Й Шлумпф и др./ пер. под ред. А.Г.Синякина.