

ШВИДКОТВЕРДУНЧІ РОЗЧИНОВІ КОМПОЗИЦІЇ

FAST-HARDENING MORTAR COMPOSITIONS

Дворкін Л.Й., д.т.н., професор, Степасюк Ю.О., к.т.н., ст. викладач, Баран О.М., магістр, Механчук В.М., студент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Dvorkin L.J., doctor of technical sciences, professor, Stepasyuk Y.O., candidate of technical sciences, senior teacher, Baran O.M., master's degree, Mehhanchuk V. M., student (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

У статті наведено результати дослідження швидкотверднучих розчинових композицій, виготовлених на гіпсоцементношлакових в'язучих, які характеризуються підвищеною міцністю та термічним опором і за своїми фізико-механічними характеристиками не поступаються звичайній керамічній цеглі. Проведені дослідження показали можливість отримання на основі гіпсоцементношлакового в'язучого модифікованого добавкою суперпластифікатора на полікорбоксилатній основі швидкотверднучих розчинових композицій, які можуть бути використані як робочі суміші для 3D принтера.

Based on the analysis of literary sources characterizing the current trends and the physical and mechanical foundations for the development of special building materials, the possibility of creating a mortar for a 3d building printer is theoretically substantiated, which provides the intensity of hardening and stability of performance indicators due to the formation of its structure using a composite binder. The obtained results indicate that on the basis of the developed gypsum cement slag binders it is possible to obtain fast-hardening mortar compositions, which are characterized by increased strength and thermal resistance and in their physical and mechanical characteristics are not inferior to ordinary ceramic bricks. Thus, the conducted studies have shown the possibility of obtaining on the basis of gypsum cement slag binder modified with the addition of a superplasticizer on a polycorboxylate basis of fast-hardening mortar compositions that can be used as working mixtures for a 3D printer. On the basis of developed mortar compositions, it is possible to perform high-speed erection of buildings and structures for civilian purposes. In the operation of buildings and structures, there is often a need for the rapid restoration of load bearing capacity and certain operational properties of damaged structures. In this

connection, another promising direction of using fast-hardening mortar compositions based on gypsum cement slag binder is repair of damaged concrete and reinforced concrete structures.

Ключові слова:

Гіпс, шлак, суперпластифікатор, міцність, цемент, розчин.

Gypsum, slag, superplasticizer, strength, cement, mortar.

Вступ. Найбільш відомими представниками швидкотверднучих в'язучих речовин, які випускаються будівельною промисловістю є гіпсові в'язучі. Проте основною проблемою даних в'язучих є низька водостійкість затверділого каменю, що суттєво обмежує область його використання. Одним з найбільш ефективних рішень в цьому напрямку можна вважати розробку під керівництвом О.В. Волженського гіпсоцементнопуцоланових (ГЦПВ) та гіпсоцементношлакових (ГЦПШ) в'язучих речовин. Основна ідея розробки полягає в отриманні продукту, який би поєднував найкращі властивості будівельного гіпсу (здатність до швидкого твердіння та набору міцності) і портландцементу (водостійкість). Дані переваги дозволяють використовувати ГЦПВ та ГЦПШ як основу для виготовлення бетонів та розчинів для будівельних 3D принтерів.

Аналіз останніх досліджень. 3D-друк дозволяє отримувати вироби різних складних форм з мінімальними часовими і матеріальними витратами. Застосування 3D-принтерів в будівництві дозволить відійти від традиційних форм будівель і створювати споруди неправильної форми, з вигнутими контурами і лініями.

В основу принципу роботи 3d принтера закладений принцип поступового (пошарового) створення твердої моделі, яка як би «вирощується» з певного матеріалу. Як відомо, головна відмінність 3D-принтера від будь-якого іншого промислового робота полягає в способі створення продукції. Зокрема, будівельний 3D-принтер має сопло або екструдер і видавлює з нього швидкотвердіючу робочу суміш. Поверхня, на якій створюється об'ємний виріб (робоча зона), має розміри, що задаються величиною ходу сопла. При цьому зведення опалубки не потрібно. Тобто, будівельна машина об'ємного друку декларується як самодостатній механізм, здатний, при підключенні електроенергії створити готову будівлю.

На початку двохтисячних років відразу кілька незалежних один від одного груп вчених (Китаю, США, Великобританії і Нідерландів) почали дослідження в області застосування технології 3D друку в будівництві. У 2004 р група вчених з Південно-Каліфорнійського університету під керівництвом професора Б. Хошневіса представила технологію «Контурного будівництва» [1]. Б. Хошневіс пропонує встановити на будівельний майданчик гігантський 3D-принтер, підключивши до нього комп'ютер з

особливим програмним забезпеченням. Після цього залишається лише забезпечити безперервну подачу на 3D-принтер бетону.

Особливість технології полягає в підключенні додаткового інструменту машини – маніпулятора, що встановлює в проектне положення несучі і підтримують елементи конструкції, інженерні комунікації (перемички, балки перекриття/покриття, елементи кроквяної конструкції, лотки, димоходи, вентиляційні канали і т.д.). Будівельний матеріал для зведення несучих елементів конструкції (стін, перекриттів) це швидкотвердіючий реакційно-здатний порошковий бетон, армований сталеву або полімерною мікрофіброю. Особливість реакційно-порошкового бетону є відсутність крупного заповнювача в його складі при забезпеченні високої рухомості суміші при мінімальному значенні водо-в'язучого відношення. Також можуть бути використані дешевші види бетонів, такі як дрібнозернистий і піщаний бетон модифіковані добавками (гіперпластифікаторів та прискорювачів твердіння).

Робоча суміш повинна мати тиксотропні і адгезійні властивості, вона повинна добре вкладатися принтером і в той же час не розтікатися під впливом наступних шарів.

Великий комплекс експериментальних досліджень, що до отримання швидкотверднучих водостійких в'язучих на основі будівельного гіпсу виконано А.В. Ферронскою, В.Ф. Коровяковим та іншими вченими. В роботі [2] наведені експериментальні результати, якими встановлено можливість отримання на основі водостійких гіпсоцементнопуцоланових в'язучих, модифікованих пластифікуючими добавками на нафталінформальдегідній основі, бетонів та розчинів з міцністю до 30 МПа.

На сучасному етапі розвитку будівельної індустрії розроблено велику кількість суперпластифікаторів нового покоління, виготовлених на основі полікарбоксилатного ефіру. Характерною особливістю цих пластифікуючих добавок є суттєве зниження водопотреби в'язучих, бетонів та розчинів і як наслідок збільшення їхньої міцності. Аналіз експериментальних досліджень наведених в [3] свідчить про можливість суттєвого підвищення міцності в'язучих виготовлених на основі будівельного гіпсу шляхом введення до їх складу суперпластифікатора полікарбоксилатного типу Melflux 2651 F.

Результати досліджень. Перший етап досліджень, на підставі аналізу представлених літературних даних, був присвячений розробці складів водостійкого гіпсоцементнопуцоланового в'язучого, як основи робочих сумішей для 3D-принтера.

В якості вихідних матеріалів для проведення досліджень було використано будівельний гіпс марки Г-4, портландцемент ПЦ-І М500 виробництва ПАТ «Волинь Цемент» та доменний гранульований шлак Криворізького металургійного заводу. В якості дрібного заповнювача для виготовлення бетонів та розчинів було використано пісок Славутського району Хмельницької області з модулем крупності $M_k=1,9$.

На першому етапі досліджень в'язуче виготовляли шляхом змішування окремо взятих компонентів (гіпсу, цементу і шлаку) у певному співвідношенні (табл.1). Для максимального зниження водопотреби та відповідного збільшення міцності до всіх складів в'язучого додатково вносилися пластифікуючі добавки в кількості 0,5% від маси в'язучого. В якості пластифікуючих добавок було використано суперпластифікатори на полікарбоксилатній основі Melflux 2651 F (BASF Construction Solutions, Німеччина) та Терміт ПТ (ПП «Терміт», Україна). Результати досліджень наведені в табл.1 і 2.

Таблиця 1

Вплив добавки суперпластифікатора Melflux 2651 F на міцність гіпсоцементношлакового в'язучого

| № | Вміст компонентів у в'язучому, % | | | В/В'яз | Міцність в'язучого у віці | | | |
|---|----------------------------------|--------|------|--------|---------------------------|---------|--------|---------|
| | Гіпс | Цемент | Шлак | | 2 год, | 1 доба, | 7 діб, | 28 діб, |
| | | | | | МПа | МПа | МПа | МПа |
| 1 | 50 | 25 | 25 | 0,3 | 7,2 | 13,2 | 14 | 24,6 |
| 2 | 60 | 20 | 20 | 0,3 | 11,4 | 17,2 | 17,6 | 30,2 |
| 3 | 70 | 15 | 15 | 0,3 | 13,8 | 14,2 | 16,6 | 26,4 |

Вміст води у в'язучому (водопотребу) призначали із умови досягнення тістом гіпсового в'язучого нормальної консистенції, тобто розпливу 180 мм. Отримане в'язуче випробовували на міцність у відповідності з ДСТУ Б.В.2.7-82-99 після витримання на повітрі на протязі двох годин, та через 28 діб твердіння у нормальних умовах ($t=20^{\circ}\text{C}$, $\phi=90\text{...}100\%$).

Таблиця 2

Вплив добавки суперпластифікатора Терміт ПТ на міцність гіпсоцементношлакового в'язучого

| № | Вміст компонентів у в'язучому, % | | | В/В'яз | Міцність в'язучого у віці | | | |
|---|----------------------------------|--------|------|--------|---------------------------|---------|--------|------|
| | Гіпс | Цемент | Шлак | | 2 год, | 1 доба, | 7 діб, | 28 |
| | | | | | МПа | МПа | МПа | діб, |
| | | | | | МПа | | МПа | |
| 1 | 50 | 25 | 25 | 0,27 | 10,4 | 14,2 | 24,2 | 25,6 |
| 2 | 60 | 20 | 20 | 0,27 | 13,0 | 17,6 | 25,2 | 30,8 |
| 3 | 70 | 15 | 15 | 0,27 | 15,6 | 18,8 | 20,6 | 21,4 |

Отримані результати вказують на те, що найбільша міцність гіпсоцементношлакового в'язучого забезпечується при наступному його компонентному складі: будівельний гіпс – 60%, портландцемент – 20%, доменний гранульований шлак – 20%. При цьому міцність в'язучого на другу годину твердіння складає 11,4 МПа та 30,2 МПа на 28 добу при

використанні в якості пластифікуючої добавки гіперпластифікатора Melflux 2651 F. При використанні добавки Терміт ПТ відповідні показники міцності складають 13 МПа та 30,8 МПа відповідно. Підвищення міцності зразків при використанні добавки суперпластифікатора Терміт ПТ пояснюється її більш сильним водоредуруючим ефектом.

При змішуванні суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу з портландцементом відбувається модифікація полікарбоксилатного ефіру шляхом заміщення в активних радикалах цієї сполуки іонів Na^+ на іони Ca^{2+} . При відсутності лужного середовища, яке виникає внаслідок утворення гідроксиду кальцію в процесі гідратації цементу, вищевказана модифікація неможлива. Введення до складу гіпсового в'язучого портландцементу, доменного гранульованого шлаку та суперпластифікатора полікарбоксилатного типу забезпечує інтенсивну водоредууючу дію за рахунок сумісної дії як електростатичного так і стеричного (просторового) ефекту молекул модифікованого полікарбоксилатного ефіру.

Зменшення вмісту гіпсу в складі в'язучого менше 60 % призводить до суттєвого зниження міцності в'язучого, особливо в ранні терміни твердіння (на протязі перших 2 годин). Це пояснюється тим, що зменшується вміст найбільш активної складової (гіпсу), яка забезпечує активне наростання міцності системи саме на протязі перших двох годин твердіння. Збільшення ж вмісту гіпсу і відповідне зменшення вмісту портландцементу і доменного гранульованого шлаку в масі в'язучого призводить до деякого збільшення міцності в'язучого у віці 2 годин, проте це призводить до зниження міцності у віці 28 діб.

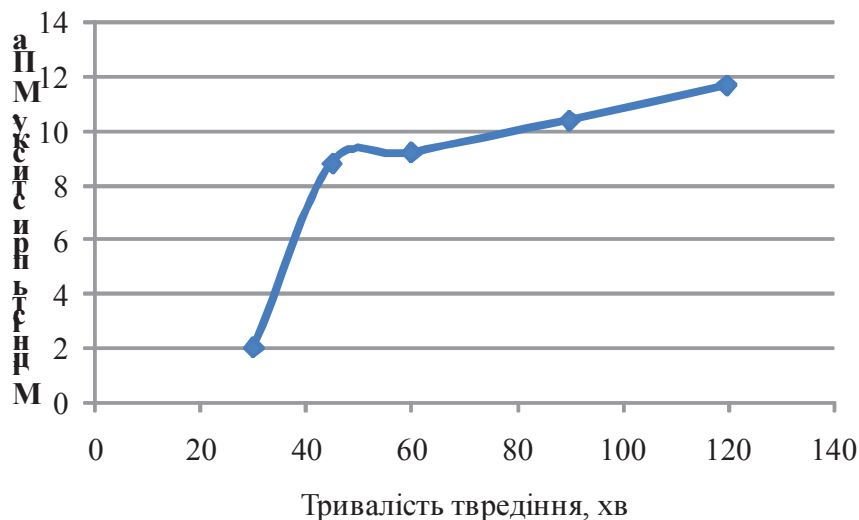


Рис.1 Кінетика твердіння розчинів на ГЦШВ

Для перевірки можливості використання даного виду в'язучого для приготування швидкотверднучих розчинових композицій, було виготовлено зразки розчину зі співвідношенням в'язуче:заповнювач - 1:1. В якості в'язучого було використано ГЦШВ оптимального компонентного складу (будівельний гіпс – 60%, портландцемент – 20%, доменний гранульований

шлак – 20%). Для зменшення водопотреби та збільшення міцності розчинів була використана добавка суперпластифікатор Терміт ПТ в кількості 0,5 % від маси в'язучого. Кінетика твердіння даного розчину наведена на рис.1.

Отриманий розчин, як видно із наведеної графічної залежності, характеризується досить інтенсивним ростом міцності. Вже через 30 хвилин твердіння він характеризується міцністю 2 МПа, через 45 хвилин - більше 8 МПа, а через 2 години - більше 11 МПа. На 28 добу твердіння даний розчин характеризується міцністю більше 30 МПа.

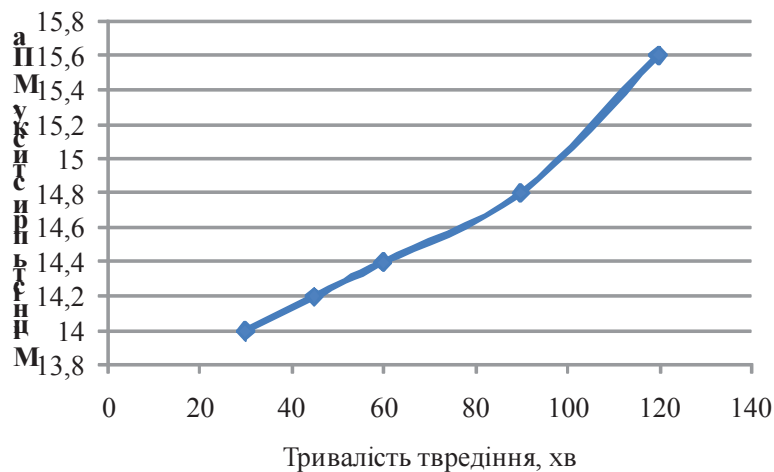


Рис.2 Кінетика твердіння розчинів на ГЦШВ, яке отримано шляхом сумісного помелу компонентів в'язучого

Для отримання більш гомогенного в'язучого і підвищення його міцності на наступному етапі досліджень його виготовляли шляхом спільного помелу будівельного гіпсу, портландцементу ПЦ І М500, доменного гранульованого шлаку та порошкоподібного суперпластифікатора полікарбоксилатного типу Терміт ПТ у вищевказаних співвідношеннях. Величина питомої поверхні в'язучого складає 600 м²/кг. Отримане в'язуче характеризується міцністю більше 20 МПа у віці 2 годин та більше 40 МПа у віці 28 діб, що в 1,5 рази перевищує показники в'язучого виготовленого шляхом змішування окремо взятих компонентів. Розчини виготовлені на даному ГЦШВ із співвідношенням в'язуче:заповнювач-1:1 по масі характеризуються міцністю 14 МПа через 30 хвилин твердіння, 15,6 МПа - через 2 години та більше 30 МПа через 28 діб.

Основним недоліком попередньо описаних розчинів виготовлених на основі ГЦШВ є їх висока середня густина, і як наслідок високі тепловтрати через огорожуючу конструкцію виготовлену з них. Для зменшення теплопровідності розчинів до їх складу вводять легкі заповнювачі (спучений перлітовий чи вермикулітовий пісок), або застосовують добавки-поризатори. Останній шлях, як правило, більш доцільний як з економічного, так і з технологічного боку, враховуючи підвищену вартість легкого піску та складності з перемішуванням розчинів на легких заповнювачах.

Для зниження середньої густини та відповідного підвищення термічного опору огорожуючих конструкцій до складу розчинів на основі

запропонованого ГЦШВ було додатково введено добавку поризатор UFAPORE CC85. Результати досліджень наведені в табл.3.

Таблиця 3

Вплив вмісту добавки поризатора на властивості розчинів на ГЦШВ

| № | ГЦШВ:З | В/В'яж | Вміст ufapore cc85, % | Міцність 2 год, МПа | Міцність 1 доба, МПа | Міцність 7 діб, МПа | Міцність 28 діб, МПа | Середня густина, кг/м ³ |
|---|--------|--------|-----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|
| 1 | 1:1 | 0,23 | 0 | 15,6 | 19,2 | 24,8 | 33,8 | 2161 |
| 2 | 1:1 | 0,23 | 0,1 | 7,8 | 12,4 | 17,6 | 29,4 | 1992 |
| 3 | 1:1 | 0,23 | 0,2 | 7,2 | 9,4 | 16,2 | 25,3 | 1956 |
| 4 | 1:1 | 0,23 | 0,3 | 6,4 | 11,6 | 16,0 | 22,1 | 1736 |
| 5 | 1:1 | 0,23 | 0,4 | 5,0 | 8,7 | 12,3 | 18,1 | 1605 |

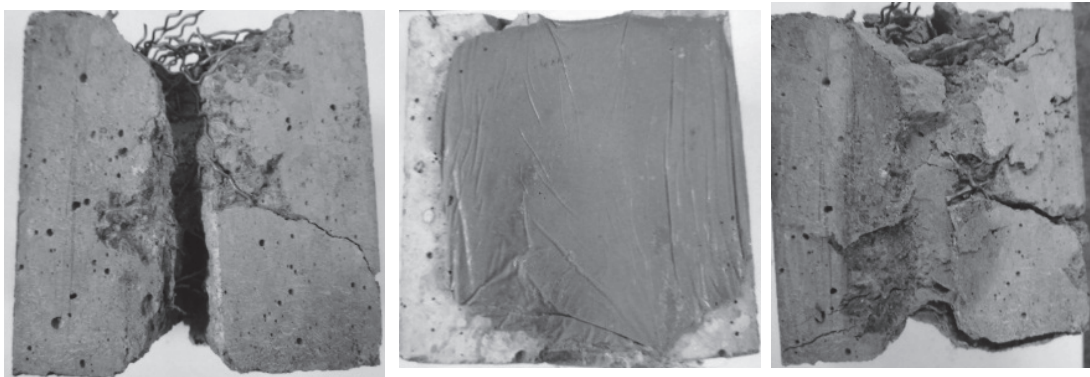
Отримані результати вказують на те, що на основі розроблених гіпсоцементношлакових в'яжучих можна отримати швидкотверднучі розчинові композиції, які характеризуються підвищеною міцністю та термічним опором і за своїми фізико-механічними характеристиками не поступаються звичайній керамічній цеглі.

Таким чином, проведені дослідження показали можливість отримання на основі гіпсоцементношлакового в'яжучого модифікованого добавкою гіперпластифікатора на полікорбоксилатній основі швидкотверднучих розчинових композицій, які можуть бути використані як робочі суміші для 3D принтера. На основі розроблених розчинових композицій можна виконувати швидкісне зведення будівель та споруд різного призначення.

При експлуатації будівель та споруд, досить часто виникає потреба у швидкісному відновленні несучої здатності та певних експлуатаційних властивостей пошкоджених конструкцій. У зв'язку з цим ще одним перспективним напрямком використання швидкотверднучих розчинових композицій виготовлених на основі гіпсоцементношлакового в'яжучого є ремонт та відновлення пошкоджених бетонних та залізобетонних конструкцій.

Для визначення можливості використання, запропонованих вище, швидкотверднучих розчинових композицій для відновлення та ремонту бетонних зразків було виконано експеримент, щодо до відновлення зруйнованого, шляхом випробування на міцність при розколюванні, фібробетонного зразка (рис.1а.).

Для відновлення було використано розчин із співвідношенням в'яжуче:пісок 1:1 за масою. В якості в'яжучого було використано гіпсоцементношлакове в'яжуче отримане шляхом сумісного помелу будівельного гіпсу марки Г-4 (60 %), портландцементу ПЦ І М 500 (20%) та доменного гранульованого шлаку (20%). Додатково при помелі вводилась добавка суперпластифікатор на полікарбоксилатній основі «Терміт ПТ» в кількості 0,5% від маси в'яжучого.



а)

б)

в)

Рис.3. Фото зразка: а) зруйнованого; б) відновленого; в) після випробування

Відновлення пошкодженого зразка здійснювалось шляхом заповнення дефектів запропонованим розчином. Міцність при стику пошкодженого зразка через 2 години після відновлення складала 33 МПа, що свідчить про можливість використання запропонованих швидкотверднучих розчинових композицій для відновлення та ремонту бетонних та залізобетонних конструкцій. Слід також відмітити високу адгезію розчинів до бетонної поверхні (немає викришування ремонтного розчину рис 3в.), що сприяє сумісній роботі ремонтного розчину із бетоном пошкодженої конструкції.

Висновок. Таким чином за результатами проведених експериментальних досліджень було встановлено можливість використання розроблених швидкотверднучих розчинових композицій виготовлених на основі гіпсоцементношлакового в'язучого, як робочих сумішей для 3D принтера, так і ремонтних розчинів для відновлення пошкоджених бетонних та залізобетонних елементів.

1. Khoshnevis B. Automated construction by Contour-grafting – related robotics and information technologies// Journal of Automation in Construction. – 2004. – V. 13. – № 1. – P. 5-19.

2. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник. Под общей ред. А.В. Ферронской. – М.: Издательство АСВ. – 488 с.

3. Патент України № 43242 С04В 28/14 (2009.01)

1. Khoshnevis B. Automated construction by Contour-grafting – related robotics and information technologies// Journal of Automation in Construction. – 2004. – V. 13. – № 1. – P. 5-19.

2. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник. Под общей ред. А.В. Ферронской. – М.: Издательство АСВ. – 488 с.

3. Патент України № 43242 S04V 28/14 (2009.01).