

ГІПСОЦЕМЕНТНОШЛАКОВІ СУМІШІ ДЛЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

А. С. Григорчук

здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня, група ТБК-51,
навчально-науковий інститут будівництва та архітектури.

Наукові керівники – д.т.н., професор Л. Й. Дворкін,
к.т.н., доцент В. В. Марчук.

*Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна*

У статті показана можливість отримання гіпсоцементношлакових сумішей, які можуть бути використані в якості робочих сумішей для 3D-принтера. Отриманий комплекс експериментально-статистичних моделей властивостей сумішей.

Ключові слова: доменний гранульований шлак, 3D будівельний принтер, адитивні технології.

The article shows the possibility of obtaining gypsum-cement-slag mixtures and concretes, which can be used as working mixtures for a 3D printer. The resulting complex of experimental-statistical models properties of concrete.

Keywords: blast furnace slag, 3D construction printer, additive technologies.

Технологія адитивного виробництва (AM – Additive Manufacturing) в останні роки інтенсивно розвивається при зведенні будівель і споруд. Початок цієї технології можна датувати серединою 90-х років. Перша техніка, відома як Contour Crafting, була винайдена в Університеті Південної Каліфорнії. З середини 2012 року багато дослідницьких груп і компаній зацікавилися адитивним виробництвом бетону [1; 2]. 3D-друк є перспективним напрямком вирішення проблеми ресурсо- та енергозбереження, оскільки як сировину можна використовувати техногенні продукти, що накопичуються в великих обсягах на промислових підприємствах.

В даний час значна частина матеріалів для адитивних технологій у будівництві виготовляють на основі портландцементу. Однак актуальним на даний момент є використання гіпсовмісних сумішей, що придатні для 3D-друку, які характеризуються підвищеною структурною міцністю та швидшим набором міцності при стиску та розколюванні [2].

Для забезпечення термічного опору стін необхідно зниження середньої густини матеріалів, на основі яких вони зведені. В такому випадку до їх складу доцільно вводити добавки-поризатори або легкі заповнювачі, проте більш доцільним шляхом, з точки зору технології виготовлення суміші, є введення добавок-поризаторів. Також для забезпечення високих міцнісних показників доцільним є введення фібри, що виконує роль мікроармуючого компонента оптимізує структуру будівельних конгломератів на мікро- та макрорівнях [3].

Мета роботи полягала у розробці швидкотверднучих гіпсоцементношлакових сумішей придатних для 3D-друку.

В'яжуче при проведенні досліджень виготовляли шляхом спільного помелу будівельного гіпсу Г-5 – 60 %, ПЦ І М 500 – 20%, доменного гранульованого шлаку – 20%,

добавки СП Melflux 2651 F в кількості 0,3% від маси в'язучого, сповільнювача тужавлення – винної кислоти, у кількості 0,3% від маси гіпсу. В дослідженнях застосовували поліпропіленову фібру довжиною 20 мм.

Експериментальні дослідження були виконані із застосуванням математичного моделювання експериментів. При цьому було реалізовано план В₃ [4]. Змінними факторами вибрано: вміст фібри (Ф) $X_1 = 2,5 \pm 2,5 \text{ кг/м}^3$, витрата поризатора UFAPORE CC85 (П), $X_2 = 0,2 \pm 0,2 \%$, водов'язуче відношення (В/В'яз) $X_3 = 0,25 \pm 0,02$.

Під час досліджень виготовлялися зразки-балочки розміром 40x40x160 мм, що містили в'язуче та пісок у співвідношенні – 1 : 1. Вміст води для замішування визначали з умови забезпечення формованості суміші на лабораторному принтері. Термін придатності оцінювали по часу початку тужавлення в хвилинах, при якому неможливе подальше формування суміші. Структурна міцність визначалася по навантаженні на зразок без руйнування останнього. Міцність на стиск випробовували у відповідності з ДСТУ Б В.2.7-239:2010. Після обробки та статистичного аналізу експериментальних даних були побудовані адекватні рівняння регресії:

$$\text{Середня густина, кг/м}^3 \\ \rho_0 = 1796 + 5x_1 - 189,2x_2 - 38,4x_3 + 56,9x_2^2 - 7,1x_3^2 - 41x_1x_2 + 3x_1x_3 + 9x_2x_3; \quad (1)$$

Структурна міцність через 10 хв, Па

$$R_m = 4161 + 361x_1 - 358x_2 - 122x_3 + 107x_1^2 + 2x_2^2 + 72x_3^2 - 175x_1x_2 - 7x_1x_3 - 10x_2x_3; \quad (2)$$

Міцність при стиску у віці 28 діб, МПа

$$f_{cm}^{28} = 23,0 + 3x_1 - 7x_2 - 6x_3 + 2x_1^2 + 1,4x_2^2 + 2,5x_3^2 - 3,2x_1x_2 - 1,8x_1x_3 - 1,03x_2x_3. \quad (3)$$

Аналіз отриманих даних показав, що структурна міцність в основному залежить від витрати фібри, при збільшенні вмісту якої міцність зростає на 8...10%. Введення добавки-поризатора та підвищення В/В'яз дещо знижує структурну міцність. До зниження міцності розчинів як на стиск, так і на розтяг при розколюванні призводить збільшення водов'язучого відношення та збільшення вмісту поризатора, що основним чином пов'язано із різким збільшенням пористості зразків. Нівелювати даний вплив дозволяє збільшення вмісту фібри. Внаслідок дисперсного армування цементної матриці бетону волокнами фібри його міцність на розтяг при розколюванні збільшується в середньому на 25% у порівнянні з неармованими зразками. Збільшення вмісту фібри також позитивно впливає і на міцність при стиску. При цьому приріст міцності в середньому складає 15–20%.

Висновок. Отримані результати вказують на те, що на основі пропонованих гіпсоцементношлакових сумішей можна отримати швидкотверднучі дрібнозернисті бетони, які придатні для 3D-друку.

1. Дворкін Л. Й., Марчук В. В. Цементно-шлакові суміші для 3D-принтеру. *Будівельні матеріали і виробу*. № 1, 2021. С. 4–9.
2. Бетони нового покоління / Дворкін Л. Й., Житковський В. В., Бордюженко О. М., Марчук В. В., Рубцова Ю. В. Рівне, 2021.
3. Wang Yo., Wu H.C., Li V.C. Concrete reinforcement with recycled fibers. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2000. № 4–12. С. 314–319.
4. Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Житковський В. В. Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту. Рівне: НУВГП, 2011. 174 с.