

Tính chất kỹ thuật ở độ tuổi sớm của vữa bơm cường độ cao chứa các loại cát khác nhau

Nguyễn Ngọc Thành^{1,2*}

¹ Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa Tp. HCM, 268 Lý Thường Kiệt, Quận 10, Tp. HCM, Việt Nam

² Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Phường Linh Trung, Thành phố Thủ Đức, Tp. HCM, Việt Nam

TỪ KHOÁ

Cường độ chịu nén
Độ lưu động
Độ tuổi sớm
Tính co ngót khô
Vữa cường độ cao

TÓM TẮT

Nghiên cứu này chủ yếu tập trung khảo sát tính chất kỹ thuật (độ lưu động, cường độ chịu nén và tính co ngót khô) ở độ tuổi sớm của vữa cường độ cao sử dụng bốn loại cát khác nhau. Tỷ lệ thành phần của vữa cường độ cao được lựa chọn cố định, bao gồm tỷ lệ cát/xi măng là 1,5; tỷ lệ silica fume/xi măng là 10 %, tỷ lệ phụ gia siêu dẻo/xi măng là 1,5 % và tỷ lệ nước/xi măng là 29 %. Bốn loại cát với mô đun độ lớn khác nhau ($M_{dl} = 2,46; 3,66; 4,04$ và $3,16$) được lựa chọn để khảo sát. Kết quả chỉ ra rằng độ lưu động của bốn cấp phối vữa tươi nằm trong khoảng từ 235 – 290 mm và cường độ chịu nén ở 1, 3 và 7 ngày tuổi nằm trong khoảng từ 52,1 – 58,4 MPa; 80,1 – 90,3 MPa và 87,3 – 98,4 MPa. Sau 7 ngày tuổi, các mẫu vữa có giá trị co ngót khô dao động trong khoảng từ 0,031 – 0,045 % so với chiều dài ban đầu. Việc sử dụng cốt liệu nhỏ với cỡ hạt lớn (tức mô đun độ lớn cao) đã làm giảm độ lưu động của vữa tươi nhưng cải thiện cường độ chịu nén từ 6,19 – 12,71 % ở 7 ngày tuổi và làm giảm tính co ngót khô đến 7 ngày tuổi của các mẫu vữa đã đông rắn. Tóm lại, cấp phối vữa sử dụng cát có mô đun độ lớn là 3,16 được đề xuất là cấp phối vữa tối ưu do có độ lưu động phù hợp cho phương pháp thi công bơm, cường độ chịu nén tương đối cao (92,7 MPa ở 7 ngày tuổi) và tính co ngót khô thấp (0,031 % ở 7 ngày tuổi).

KEYWORDS

Compressive strength
Fluidity
Early ages
Drying shrinkage
High-strength mortar

ABSTRACT

This study mainly focused on investigating the engineering properties (i.e., fluidity, compressive strength, and drying shrinkage) at early ages of high-strength mortars using four different types of sand. The fixed composition ratios of high-strength mortars were selected, including a sand-to-cement ratio of 1.5; a silica fume-to-cement ratio of 10%; a superplasticizer-to-cement ratio of 1.5% and a water-to-cement ratio of 29%. Four types of sand with various fineness moduli ($M_{dl} = 2.46, 3.66, 4.04$, and 3.16) were selected. The results showed that the fluidity of the four fresh mortars ranged from 235 – 290 mm and the compressive strength at ages of 1, 3, and 7 d ranged from 52.1 – 58.4 MPa, 80.1 – 90.3 MPa, and 87.3 – 98.4 MPa, respectively. After aging for 7 d, the mortar samples had drying shrinkage values ranging from 0.031 – 0.045% of the initial length. The use of fine aggregates with coarse grain sizes (i.e. high fineness moduli) reduced the fluidity of the fresh mortar but improved the compressive strength from 6.19 – 12.71% at 7 d and reduced the drying shrinkage up to 7 d of the hardened mortar samples. Consequently, the mortar using sand with a fineness modulus of 3.16 was proposed as the optimal one owing to its suitable fluidity for the pumping method, relatively high compressive strength (92.7 MPa at 7 d) and low drying shrinkage (0.031% at 7 d).

1. Giới thiệu

Tốc độ dân số gia tăng cùng với nền kinh tế phát triển đã đẩy mạnh nhu cầu xây dựng các công trình dân dụng công nghiệp và cơ sở hạ tầng. Để đáp ứng nhu cầu này, kỹ thuật công nghệ cùng với các loại vật liệu mới trong ngành công nghiệp xây dựng cần được đẩy mạnh nghiên cứu và phát triển. Gần đây, tại, Việt Nam, nhiều công trình đang có tình trạng xuống cấp nghiêm trọng, các cấu kiện có hiện tượng giảm khả năng chịu lực; tuy nhiên lại không thể phá bỏ. Một trong những giải pháp để xử lý các công trình này là ứng dụng vữa

bơm cường độ cao để làm vật liệu gia cố khả năng chịu lực cho cấu kiện chính của công trình.

Vữa bơm cường độ cao là một trong các vật liệu mới đã và đang được nghiên cứu và ứng dụng trong ngành lĩnh vực xây dựng. Tương tự vữa truyền thống, hệ nguyên vật liệu để chế tạo loại vữa này thường bao gồm xi măng Portland, cốt liệu nhỏ và nước; đồng thời kết hợp phụ gia khoáng vô cơ hoạt tính (tro bay, xỉ lò cao, silica fume ...) và phụ gia siêu dẻo nhằm cải thiện tính công tác của vữa tươi và khả năng chịu lực cho vữa đã đông rắn [1,2]. Nhìn chung, cốt

*Liên hệ tác giả: ng_nhanh@hcmut.edu.vn

Nhận ngày 30/05/2025, sửa xong ngày 04/06/2025, chấp nhận đăng ngày 05/06/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2025.1023>

liệu nhỏ thường bao gồm cát thiên nhiên hoặc cát nghiền, cát nhân tạo hay các loại phế thải thay thế nguồn vật liệu thiên nhiên, đều có ảnh hưởng đáng kể đến tính chất của vữa tươi và tính chất cơ học của vữa đóng rắn [3]. Trong khi đó, hàm lượng phụ gia khoáng vô cơ hoạt tính thường được sử dụng để thay thế xi măng Portland trong phạm vi từ 10 % đến 30 % trong thành phần vữa [2], nhằm cải thiện các tính chất và đặc trưng cấu trúc của hệ nền thông qua phản ứng pozzolanic để tạo ra các sản phẩm lấp đầy lỗ rỗng và cải thiện vùng chuyển tiếp bề mặt giữa hệ nền và cốt liệu, dẫn đến nâng cao cường độ và độ bền cho vữa đã đóng rắn [4]. Không những thế, việc sử dụng các loại phụ gia khoáng vô cơ hoạt tính thay thế xi măng Portland còn góp phần vào việc giảm giá thành sản xuất vữa cường độ cao và giảm việc phát thải khí CO₂ từ ngành công nghiệp sản xuất xi măng [1]. Khi so với vữa truyền thống, vữa bơm cường độ cao là loại vữa có khả năng tự chảy dưới trọng lượng bản thân và lấp đầy khuôn, không phân tầng tách nước và đảm bảo tính đồng nhất, có khả năng chịu lực cao, có tính giãn nở thấp và có tính bám dính cao với bê tông [5]. Hơn thế, loại vữa này có khả năng bơm do tính nhớt được làm giảm [6], nhờ vào việc sử dụng phụ gia siêu dẻo giảm nước và giảm tính nhớt cho vữa tươi [7]. Dựa trên những ưu điểm này, vữa bơm cường độ cao được ứng dụng rộng rãi trong việc gia cường hệ dầm cột bê tông cốt thép trong các công trình bị xuống cấp, phục vụ gia cố sửa chữa bê tông và bê tông cốt thép ở vị trí khó sửa chữa, dùng trong các mối nối, mạch ngừng thi công hay những nơi có mật độ thép dày đặc trong các công trình xây dựng. Vữa bơm cường độ cao hiện nay trên thị trường đã được một số hãng cung cấp như Mapei với dạng sản phẩm vữa bột khô trộn sẵn gốc xi măng cường độ cao, cát trắng và sạch cùng với phụ gia giãn nở hay sản phẩm vữa rót Sika grout của hãng Sika ... Tuy nhiên, giá thành của các loại vữa trộn sẵn này còn cao do sử dụng hàm lượng xi măng lớn kết hợp với phụ gia đặc biệt của mỗi hãng, dẫn đến ứng dụng vẫn còn hạn chế. Trong khi đó, các nghiên cứu về tính chất kỹ thuật ở độ tuổi sớm của vữa bơm cường độ cao sử dụng hệ nguyên vật liệu địa phương tại Việt Nam, trong đó có sự kết hợp với phụ gia khoáng thay thế xi măng Portland, với giá thành thấp và tính chất kỹ thuật phù hợp vẫn còn rất ít.

Chính vì thế, mục tiêu của nghiên cứu này chủ yếu tập trung khảo sát tính chất kỹ thuật (độ lưu động, cường độ chịu nén và tính co ngót khô) ở độ tuổi sớm của vữa cường độ cao sử dụng bốn loại cát thiên nhiên khác nhau để tìm ra cấp phối vữa tối ưu phù hợp ứng dụng trong thi công bơm và gia cố sửa chữa bê tông và bê tông cốt thép trong các công trình xây dựng, hướng đến mở rộng ứng dụng loại vữa đặc biệt này trong ngành công nghiệp xây dựng.

2. Thực nghiệm

2.1. Hệ nguyên vật liệu

Xi măng sử dụng trong nghiên cứu này là xi măng Portland loại III có cường độ ban đầu cao, thỏa mãn theo TCVN 2682 : 2020 [8].

Các chỉ tiêu kỹ thuật của xi măng với khối lượng riêng là 3,1 g/cm³ được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của xi măng.

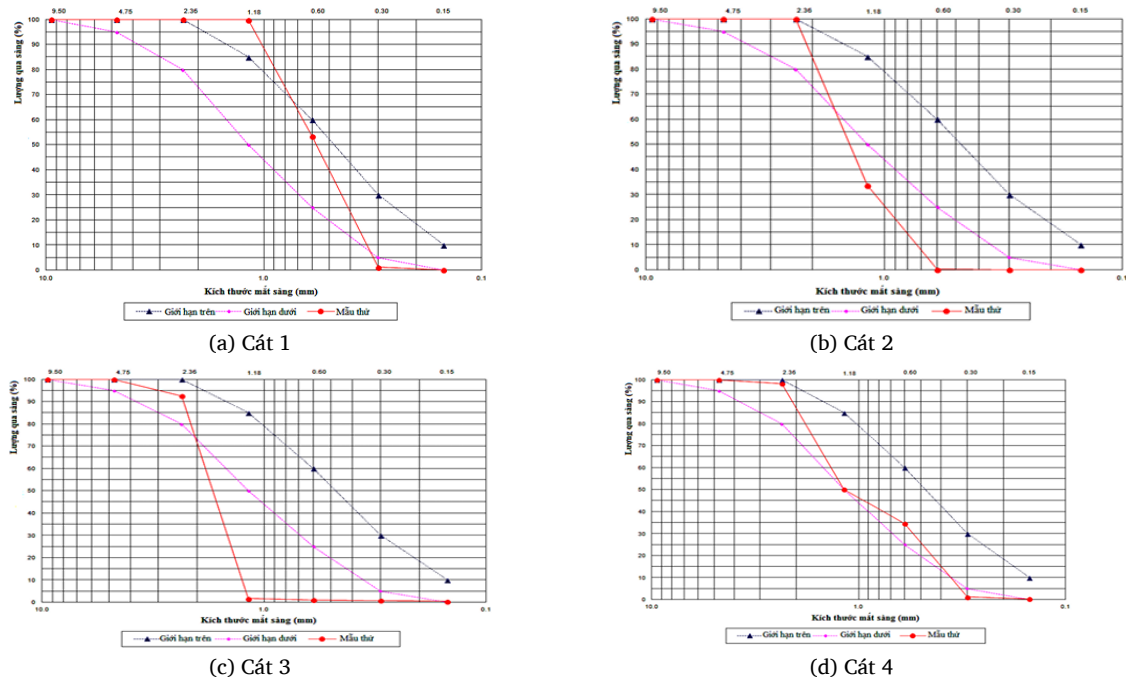
Chi tiêu kỹ thuật	Đơn vị	XM
Cường độ chịu nén ở		
- 1 ngày tuổi	MPa	34,8
- 3 ngày tuổi	MPa	45,0
- 28 ngày tuổi	MPa	54,6
Lượng nước tiêu chuẩn	%	28,2
Thời gian bắt đầu ninh kết	phút	165
Thời gian bắt đầu ninh kết	phút	195
Độ ổn định thể tích (phương pháp Le Chatelier)	mm	0,47
Độ nghiền mịn	%	0,3
- Phần còn lại trên sàng 0,09 mm		

Bên cạnh xi măng, silica fume – một trong các phụ gia khoáng vô cơ hoạt tính cũng được sử dụng với khối lượng riêng là 2,19 g/cm³ và có chỉ số hoạt tính ở 28 ngày tuổi đạt 97,07 %, thỏa theo tiêu chuẩn ASTM C1240 [9]. Ngoài ra, nước được sử dụng để chế tạo vữa là nguồn nước thủy cục không màu, không có váng dầu và không chứa tạp chất, thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 4506 : 2012 [10]. Bên cạnh đó, bốn loại cát được sử dụng làm cốt liệu nhỏ là cát tự nhiên, sạch, màu trắng, có hàm lượng silic cao, có độ hút nước thấp và mô đun độ lớn khác nhau. Các chỉ tiêu kỹ thuật của bốn loại cát sông thiên nhiên này được trình bày trong Bảng 2. Hình 2 thể hiện thành phần hạt của bốn loại cát này so với TCVN 7570 : 2006 [11].

Bảng 2. Thông số kỹ thuật của cát sông và đá dăm.

Chi tiêu kỹ thuật	Đơn vị	Cát 1	Cát 2	Cát 3	Cát 4
Khối lượng riêng	g/cm ³	2,63	2,60	2,58	2,65
Khối lượng thể tích					
- ở trạng thái tự nhiên	kg/m ³	1560	1441	1434	1561
- ở trạng thái lèn chặt	kg/m ³	1643	1496	1503	1648
Mô đun độ lớn		2,46	3,66	4,04	3,16
Độ hút nước	%	0,17	0,43	0,78	0,52

Hơn thế, phụ gia siêu dẻo gốc polycarboxylic ether (PCE) cải tiến - là loại phụ gia thể hệ 3 ở dạng lỏng, có khối lượng riêng 1,1 kg/lít, độ pH là 8 - được sử dụng nhằm giảm lượng dùng nước trong vữa tươi từ 30 đến 40 % nhưng vẫn cải thiện tính công tác và tính chất kỹ thuật cho vữa tươi, thuận tiện cho thi công thực tế tại công trình.



Hình 1. Thành phần hạt của bốn loại cát thiên nhiên so với TCVN 7570 : 2006 [11]

2.2. Thiết kế cấp phối vữa

Dựa vào quá trình thực nghiệm tại phòng thí nghiệm, tỷ lệ thành phần của vữa cường độ cao được lựa chọn cố định, bao gồm tỷ lệ cát/xi măng (C/XM) là 1,5; tỷ lệ silica fume/xi măng (SF/XM) là 10%; tỷ lệ phụ gia siêu dẻo/xi măng (PG/XM) là 1,5% và tỷ lệ nước/xi măng (N/XM) là 29%. Để khảo sát ảnh hưởng của loại cốt liệu nhỏ đến tính chất kỹ thuật của vữa cường độ cao, bốn loại cát thiên nhiên với mô đun độ lớn khác nhau (Bảng 2) được khảo sát. Bảng 3 thể hiện tỷ lệ thành phần nguyên vật liệu theo % khối lượng so với xi măng của vữa cường độ cao trong nghiên cứu này; trong đó: HSM biểu thị vữa cường độ cao và các con số đứng phía sau HSM biểu thị loại cát (tức cát 1, cát 2, cát 3 và cát 4).

Bảng 3. Tỷ lệ thành phần nguyên vật liệu theo % khối lượng xi măng của vữa.

	Loại cát	C/XM	SF/XM	PG/XM	N/XM
HSM1	Cát 1	1,5	10%	1,5%	29%
HSM2	Cát 2	1,5	10%	1,5%	29%
HSM3	Cát 3	1,5	10%	1,5%	29%
HSM4	Cát 4	1,5	10%	1,5%	29%

C/XM: tỷ lệ cát/xi măng; SF/XM: tỷ lệ silica fume/xi măng; PG/XM: tỷ lệ phụ gia siêu dẻo/xi măng; N/XM: tỷ lệ nước/xi măng

2.3. Quy trình chế tạo mẫu vữa

Sau khi thiết kế cấp phối theo Bảng 3, hệ nguyên vật liệu bao gồm xi măng, silica fume, nước, cát và phụ gia siêu dẻo được định

lượng và được nhào trộn đồng nhất trong máy trộn vữa (Hình 2 (a)). Sau đó, vữa tươi được tiến hành thí nghiệm độ lưu động được mô tả ở mục 2.4 và sau đó, được đổ vào các khuôn với kích thước $40 \times 40 \times 160$ mm (Hình 2 (b)) và các khuôn với kích thước $25 \times 25 \times 285$ mm, theo hai lớp với mỗi lớp được đầm chặt 25 cái. Tiếp theo, các mẫu được dưỡng hộ trong khuôn trong 24 ± 4 h và sau đó, các mẫu được tháo khuôn để xác định cường độ chịu nén và tính co ngót khô ở 1 ngày tuổi. Các mẫu còn lại được đưa vào trong bể dưỡng hộ nước đến 3 và 7 ngày tuổi để xác định cường độ chịu nén ở các ngày tuổi tương ứng; trong khi đó, các mẫu khác được dưỡng hộ trong môi trường không khí ở nhiệt độ 23 ± 2 °C và độ ẩm tương đối lớn hơn 50% để xác định tính co ngót khô ở 3 và 7 ngày tuổi tương ứng.



(a) Máy nhào trộn vữa



(b) Thao tác đổ vữa tươi vào khuôn

Hình 2. Quy trình nhào trộn và chế tạo mẫu vữa.

2.4. Quy trình thí nghiệm

Các tính chất kỹ thuật của vữa trong nghiên cứu này được khảo sát bao gồm độ lưu động của vữa tươi, cường độ chịu nén và tính co ngót khô của vữa đã đóng rắn. Độ lưu động được định nghĩa là khả

năng chảy tràn của vữa tươi, đặc trưng cho tính công tác và điều kiện tạo hình sản phẩm. Độ lưu động của vữa xây dựng thường được xác định theo ASTM C230/C230M [12] và TCVN 3121-3 : 2022 [13]; tuy nhiên, do nghiên cứu này tiến hành khảo sát vữa bơm cường độ cao nên độ lưu động được xác định có tham khảo theo tiêu chuẩn [12,13] và có điều chỉnh kết hợp việc sử dụng một tấm kính phẳng có đường kính tối thiểu 400 mm. Quy trình thí nghiệm độ lưu động của vữa tươi được thực hiện như sau: (1) định lượng hệ nguyên vật liệu theo Bảng 3 và nhào trộn tạo thành vữa tươi; (2) lau ẩm mặt tấm kính, khâu hình côn và chày đầm; (3) đặt khâu hình côn vào giữa tấm kính; (4) đổ vữa tươi vào khâu hình côn theo hai lớp với mỗi lớp đầm 20 cái; (5) gạt phẳng mặt côn và từ từ nhấc côn theo phương thẳng đứng (Hình 3 (a)) để vữa tươi chảy tràn trên tấm kính; (6) dùng thước đo (Hình 3 (b)) đường kính mà vữa tươi đã chảy tràn theo hai chiều vuông góc; (7) xác định độ lưu động của vữa tươi là kết quả trung bình cộng của hai lần thử tương ứng với mỗi cấp phối vữa.



(a) Thao tác nhấc khâu hình côn (b) Thao tác đo đường kính
Hình 3. Quy trình thí nghiệm độ lưu động của vữa tươi.

Cường độ chịu nén của vữa xây dựng thường được xác định theo TCVN 3121-11 : 2022 [14] với giá trị trung bình của 6 mẫu vữa sau khi uốn mẫu lăng trụ với kích thước $40 \times 40 \times 160$ mm. Quy trình thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của vữa đã đóng rắn được thực hiện như sau: (1) đặt tấm nén vào thớt nén dưới của máy nén; (2) đặt mẫu vào bộ nén; (3) khởi động máy và tiến hành nén mẫu với tốc độ tăng tải từ 100 N/s đến 300 N/s cho đến khi mẫu bị phá hủy (Hình 4); (4) ghi lại tải trọng gây phá hủy mẫu.



Hình 4. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của mẫu vữa.

Cường độ chịu nén của vữa đã đóng rắn được tính toán theo công thức (1).

$$R_n = \frac{P_n}{A} \quad (1)$$

Trong đó:

R_n : Cường độ chịu nén của mẫu vữa (N/mm² hay MPa)

P_n : Lực nén cực đại gây phá hủy mẫu (N)

A : Diện tích tiết diện nén của mẫu vữa (mm²)

Tính co ngót khô của vữa đã đóng rắn được định nghĩa là hiện tượng thay đổi chiều dài của vữa trong môi trường làm việc. Tính co ngót khô của vữa đã đóng rắn được xác định theo ASTM C490 [15] nhằm đánh giá mức độ ổn định của vữa trong điều kiện làm việc. Trong nghiên cứu này, môi trường làm việc của mẫu vữa đã đóng rắn là môi trường phòng bảo dưỡng được duy trì ở nhiệt độ 23 ± 2 °C và độ ẩm tương đối lớn hơn 50%. Quy trình thí nghiệm xác định tính co ngót khô của vữa đã đóng rắn được thực hiện như sau: (1) chuẩn bị khuôn đo co ngót với kích thước $25 \times 25 \times 285$ mm (Hình 5 (a)); (2) sau quá trình nhào trộn, vữa tươi được đổ vào khuôn theo hai lớp và đầm chặt mỗi lớp; (3) hoàn thiện bề mặt mẫu và đặt mẫu vào phòng bảo dưỡng trong 24 ± 4 h (Hình 5 (b)); (4) tháo khuôn và ngâm mẫu trong nước ở nhiệt độ 23 ± 2 °C trong 30 phút; (5) tiến hành đo chiều dài ban đầu của mẫu (L_0); (6) tiếp tục đặt mẫu trong môi trường không khí ở nhiệt độ 23 ± 2 °C và độ ẩm tương đối lớn hơn 50% đến 3 và 7 ngày tuổi để đo tính co ngót khô trong từng thời điểm tương ứng (L_i với $i = 3$ và 7 ngày tuổi).



(a) Khuôn đo co ngót



(b) Mẫu vữa và thiết bị đo

Hình 5. Khuôn, mẫu và thiết bị đo chiều dài trong phòng bảo dưỡng.

Tính co ngót khô của vữa đã đóng rắn được tính toán theo công thức (2).

$$\Delta L = \frac{L_i - L_0}{L_g} \quad (2)$$

trong đó :

ΔL : sự thay đổi chiều dài của thanh mẫu (%)

L_i : chiều dài thanh mẫu tại thời điểm i ($i = 3$ và 7 ngày tuổi) (mm)

L_0 : chiều dài ban đầu của thanh mẫu (mm)

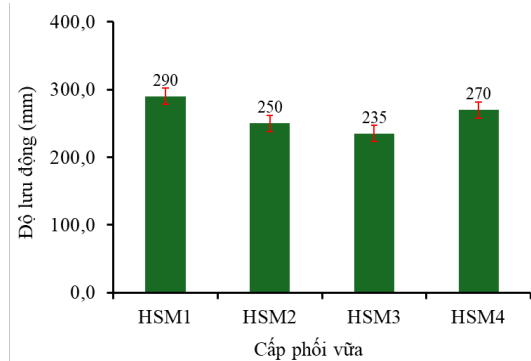
L_g : chiều dài đo danh nghĩa của thanh mẫu (= 285 mm)

3. Kết quả và thảo luận

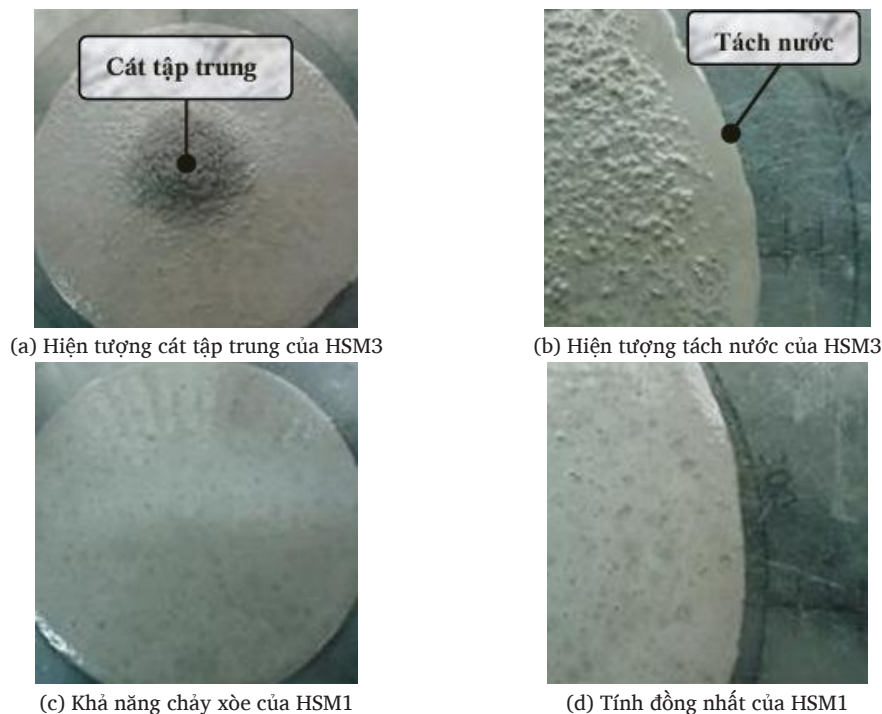
3.1. Độ lưu động

Hình 6 thể hiện độ lưu động của vữa tươi sử dụng bốn loại cát khác nhau. Từ Hình 6, nhận thấy rằng độ lưu động của HSM1 sử dụng cát 1 có độ lưu động đạt 290 mm, tức cao nhất so với ba cấp phối vữa còn lại. Khi so với cấp phối HSM1, cấp phối HSM2 với độ lưu động đạt 250 mm, cấp phối HSM3 với độ lưu động đạt 235 mm và cấp phối HSM4 với độ lưu động đạt 270 mm, tức thấp hơn lần lượt 13,79 %; 18,97 % và 6,90 %. Nguyên nhân được giải thích là do cát 2, cát 3 và cát 4 có độ hút nước cao hơn gấp 2,53 lần; 4,59 lần và 3,06 lần so với cát 1 (Bảng 2), dẫn đến các loại cát này có khả năng đã hút một phần lượng nước nhào trộn của cấp phối vữa và làm giảm độ lưu động của vữa tươi. Mặc dù cát 2, cát 3 và cát 4 có cỡ hạt lớn hơn (thông qua mô đun độ lớn được trình bày ở Bảng 2), tức nhu cầu lượng nước bao bọc các hạt cát thấp hơn, nhưng tác động này có thể đã xảy ra không đáng kể. Trong khi đó, các hạt cát với cỡ hạt lớn (cát 3) lại dẫn đến hiện tượng tập trung tại một vị trí, kéo theo hiện tượng phân tầng, tách nước

nhẹ và không đồng nhất trong cấp phối HSM3 như quan sát ở Hình 7 (a) và (b) khi so với cấp phối HSM1 với độ lưu động tốt hơn và đồng nhất (Hình 7 (c) và (d)). Tuy nhiên, cấp phối HSM4 có độ lưu động đạt 270 mm, có tính đồng nhất và phù hợp cho vữa bơm trong thi công.



Hình 6. Độ lưu động của các cấp phối vữa tươi sử dụng bốn loại cát khác nhau.



Hình 7. Độ lưu động của HSM3 và HSM1.

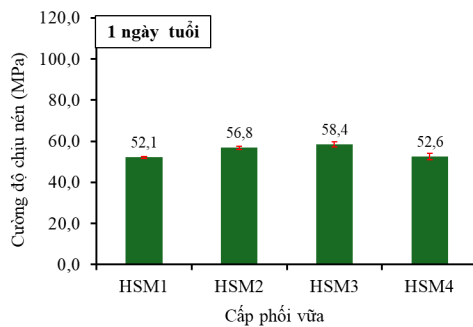
3.2. Cường độ chịu nén và tốc độ phát triển cường độ chịu nén

Hình 8, Hình 9 và Hình 10 thể hiện cường độ chịu nén lần lượt ở 1, 3 và 7 ngày tuổi của vữa đã đóng rắn sử dụng bốn loại cát khác nhau. Từ Hình 8, nhận thấy rằng cường độ chịu nén ở 1 ngày tuổi của các mẫu HSM1, HSM2, HSM3 và HSM4 lần lượt đạt 52,1 MPa; 56,8 MPa; 58,4 MPa và 52,6 MPa. Trong đó, mẫu HSM1 có cường độ chịu nén ở 1 ngày tuổi thấp nhất mặc dù có độ lưu động (290 mm) tốt nhất

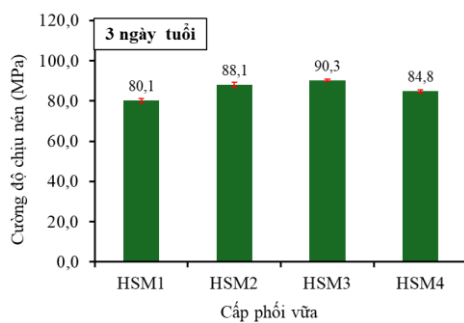
so với các mẫu còn lại (Hình 6). Mặc dù mẫu HSM3 có độ lưu động thấp nhất và có xảy ra hiện tượng cát tập trung tại một vị trí và phân tầng tách nước nhẹ (Hình 7 (a) và (b)) nhưng cấp phối này lại có cường độ chịu nén ở 1 ngày tuổi cao nhất (Hình 8). Khi so với mẫu HSM1, các mẫu HSM2, HSM3 và HSM4 có cường độ chịu nén cao hơn lần lượt 9,02 %; 12,09 % và 0,96 %, chứng tỏ rằng việc sử dụng cát có cỡ hạt thô hơn (tức mô đun độ lớn cao hơn) và cấp phối hạt tốt hơn (Hình 1) đã cải thiện cường độ chịu nén ở 1 ngày tuổi của các mẫu vữa đã đóng

rắn mặc dù có làm giảm độ lưu động của vữa tươi (Hình 6).

Từ Hình 9, quan sát thấy rằng cường độ chịu nén ở 3 ngày tuổi của các mẫu HSM1, HSM2, HSM3 và HSM4 lần lượt đạt 80,1 MPa; 88,1 MPa; 90,3 MPa và 84,8 MPa. Tương tự ở độ tuổi 1 ngày, mẫu HSM1 có cường độ chịu nén ở 3 ngày tuổi thấp nhất và mẫu HSM3 có cường độ chịu nén ở 3 ngày tuổi cao nhất (Hình 9). Khi so với mẫu HSM1, các mẫu HSM2, HSM3 và HSM4 có cường độ chịu nén cao hơn lần lượt 9,98 %; 12,73 % và 5,87 %.



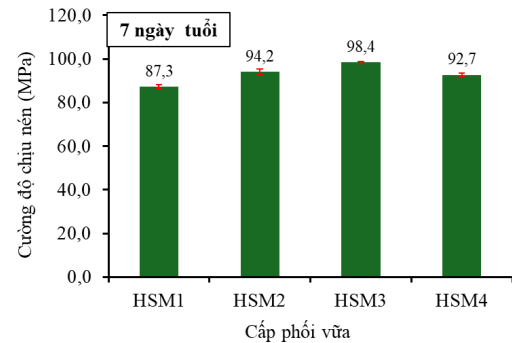
Hình 8. Cường độ chịu nén ở 1 ngày tuổi của các mẫu vữa sử dụng bốn loại cát.



Hình 9. Cường độ chịu nén ở 3 ngày tuổi của các mẫu vữa sử dụng bốn loại cát.

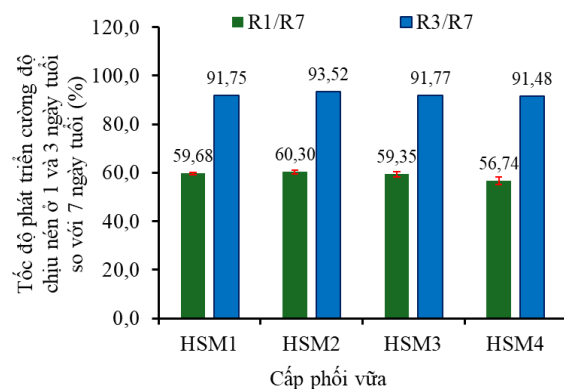
Từ Hình 10, quan sát thấy rằng cường độ chịu nén ở 7 ngày tuổi của các mẫu HSM1, HSM2, HSM3 và HSM4 lần lượt đạt 87,3 MPa; 94,2 MPa; 98,4 MPa và 92,7 MPa. Tương tự, mẫu HSM1 có cường độ chịu nén ở 7 ngày tuổi thấp nhất và mẫu HSM3 có cường độ chịu nén ở 7 ngày tuổi cao nhất (Hình 10). Khi so với mẫu HSM1, các mẫu HSM2, HSM3 và HSM4 có cường độ chịu nén cao hơn lần lượt 7,90%; 12,71% và 6,19 %. Điều này cũng khẳng định rằng việc sử dụng cát có cỡ hạt thô hơn (tức mô đun độ lớn cao hơn) và thành phần hạt tốt hơn (Hình 1) đã cải thiện cường độ chịu nén ở tất cả ngày tuổi (tức 1, 3 và 7 ngày tuổi) của các mẫu vữa đã đóng rắn. Xu hướng làm gia tăng cường độ chịu nén khi sử dụng cốt liệu với cỡ hạt lớn và cấp phối hạt tốt hơn cũng được quan sát trong các nghiên cứu trước [3,16,17]. Nguyên nhân có thể là do khi sử dụng cốt liệu với cỡ hạt lớn, lượng xi măng cần dùng để bao bọc các hạt cốt liệu giảm; tuy nhiên, tỷ lệ cát/xi măng lại được giữ cố định trong tất cả cấp phối nên lượng xi măng trong các cấp phối vữa sử dụng cát với cỡ hạt lớn nhiều, chi phối đáng kể vào sự

hình thành các sản phẩm hydrat hóa lấp đầy lỗ rỗng và làm tăng độ đặc chắc trong vữa đã đóng rắn [17]. Tóm lại, mẫu HSM1 có cường độ chịu nén ở tất cả ngày tuổi thấp nhất mặc dù có độ lưu động (290 mm) tốt nhất so với các mẫu còn lại (Hình 6). Mặc dù mẫu HSM3 có độ lưu động thấp nhất và có xảy ra hiện tượng cát tập trung tại một chỗ và phân tầng tách nước nhẹ (Hình 7 (a) và (b)) nhưng mẫu này lại có cường độ chịu nén ở tất cả ngày tuổi cao nhất (Hình 8, Hình 9 và Hình 10).



Hình 10. Cường độ chịu nén ở 7 ngày tuổi của các mẫu vữa sử dụng bốn loại cát.

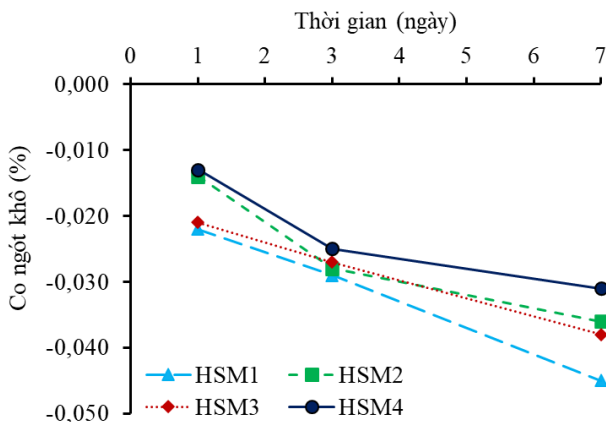
Hình 11 thể hiện tốc độ phát triển cường độ chịu nén ở 1 và 3 ngày tuổi so với 7 ngày tuổi của các cấp phối vữa sử dụng bốn loại cát khác nhau. Nhìn chung, cường độ chịu nén của bốn mẫu vữa đã đóng rắn ở 1 ngày tuổi đạt khoảng 56,74 – 60,30 %, tức hơn 55 % so với cường độ chịu nén ở 7 ngày tuổi; trong khi, cường độ chịu nén của bốn mẫu vữa đã đóng rắn ở 3 ngày tuổi đạt khoảng 91,48 – 93,52 %, tức hơn 90 % so với cường độ chịu nén ở 7 ngày tuổi. Điều này chứng tỏ rằng các mẫu vữa này có cường độ ban đầu cao và phát triển nhanh dẫn đến từ việc sử dụng xi măng Portland loại III – đây là loại xi măng đóng rắn nhanh và phát triển cường độ sớm. Tốc độ phát triển cường độ chịu nén ở 1 và 3 ngày tuổi so với 7 ngày tuổi của các cấp phối vữa gần như tương đồng, chứng tỏ rằng quá trình hydrat hóa của xi măng Portland loại III trong các mẫu vữa đã đóng rắn vẫn đang tiếp diễn như nhau theo thời gian, không phụ thuộc vào loại cát với các mô đun độ lớn khác nhau.



Hình 11. Tốc độ phát triển cường độ chịu nén ở 1 và 3 ngày tuổi so với 7 ngày tuổi của các mẫu vữa sử dụng bốn loại cát.

3.3. Tính co ngót khô

Tính co ngót khô là kết quả của sự mất nước từ hệ nền của các mẫu vữa đã đóng rắn trong môi trường làm việc, phụ thuộc đáng kể vào loại và hàm lượng, tỷ lệ hệ nguyên vật liệu sử dụng, điều kiện dưỡng hộ và môi trường làm việc [18]. Hình 12 thể hiện tính co ngót khô theo thời gian của các mẫu vữa sử dụng bốn loại cát khác nhau. Sau 7 ngày tuổi, các mẫu vữa có giá trị co ngót khô dao động trong khoảng từ 0,031 – 0,045 % so với chiều dài ban đầu. Điều này cho thấy các cấp phối vữa trong nghiên cứu này đều thỏa yêu cầu về tính co ngót của sản phẩm vữa gia cường. Từ Hình 12, quan sát thấy rằng mẫu HSM1 có giá trị co ngót khô cao nhất so với ba mẫu còn lại, chứng tỏ rằng việc sử dụng cát có cỡ hạt thô hơn (tức mô đun độ lớn cao hơn) đã làm giảm tính co ngót khô đến 7 ngày tuổi của các mẫu vữa đã đóng rắn. Xu hướng này cũng được quan sát trong nghiên cứu trước [19]. Nguyên nhân được giải thích là do cát cỡ hạt thô có độ hút nước lớn (Bảng 2) nên đã hút một phần nước nhào trộn trong vữa tươi, làm giảm lượng nước tự do trong vữa, dẫn đến độ lưu động của vữa tươi thấp (Hình 6) và tính co ngót giảm (Hình 12). Hay nói cách khác, tính co ngót khô của vữa đã đóng rắn phụ thuộc đáng kể vào tỉ diện tích bề mặt của cốt liệu. Bên cạnh đó, mẫu HSM4 có giá trị co ngót khô thấp nhất so với ba mẫu còn lại (Hình 12) đồng thời có độ lưu động đạt 270 mm (Hình 6) phù hợp với phương pháp bơm và có cường độ chịu nén tương đối cao ở 7 ngày tuổi đạt 92,7 MPa (Hình 10); do đó, cấp phối HSM4 sử dụng cát loại 4 với mô đun độ lớn là 3,16 được đề xuất là cấp phối vữa cường độ cao phù hợp cho phương pháp thi công bơm thực tế tại công trường.



Hình 12. Tính co ngót khô theo thời gian của các cấp phối vữa sử dụng bốn loại cát.

4. Kết luận

Dựa trên kết quả thực nghiệm đánh giá tính chất kỹ thuật của vữa bơm cường độ cao sử dụng bốn loại cát với mô đun độ lớn khác nhau, một số kết luận chính bao gồm:

- Độ lưu động của bốn cấp phối vữa tươi nằm trong khoảng từ

235 – 290 mm. Việc sử dụng cốt liệu nhỏ với cỡ hạt lớn (tức mô đun độ lớn cao) đã làm giảm độ lưu động của vữa tươi, dẫn đến hiện tượng cát tập trung tại một vị trí và có hiện tượng phân tầng, tách nước nhẹ.

- Cường độ chịu nén của bốn cấp phối vữa đã đóng rắn ở 1, 3 và 7 ngày tuổi nằm trong khoảng từ 52,1 – 58,4 MPa; 80,1 – 90,3 MPa và 87,3 – 98,4 MPa. Việc sử dụng cát có cỡ hạt thô hơn (tức mô đun độ lớn cao hơn) và thành phần hạt tốt hơn đã cải thiện cường độ chịu nén từ 0,96 – 12,09 % ở 1 ngày tuổi; 5,87 – 12,73 % ở 3 ngày tuổi và 6,19 – 12,71 % ở 7 ngày tuổi của các mẫu vữa đã đóng rắn.

- Cường độ chịu nén của bốn mẫu vữa đã đóng rắn ở 1 ngày tuổi đạt hơn 55 % so với cường độ chịu nén ở 7 ngày tuổi; trong khi, cường độ chịu nén của bốn mẫu vữa đã đóng rắn ở 3 ngày tuổi đạt hơn 90 % so với cường độ chịu nén ở 7 ngày tuổi.

- Sau 7 ngày tuổi, các mẫu vữa đã đóng rắn có giá trị co ngót khô dao động trong khoảng từ 0,031 – 0,045 % so với chiều dài ban đầu. Hơn thế, việc sử dụng cát có cỡ hạt thô hơn (tức mô đun độ lớn cao hơn) đã làm giảm tính co ngót khô đến 7 ngày tuổi của các mẫu vữa đã đóng rắn.

Trong bốn cấp phối vữa, cấp phối HSM4 sử dụng cát loại 4 có mô đun độ lớn là 3,16 được đề xuất là cấp phối vữa tối ưu do có độ lưu động phù hợp cho phương pháp thi công bơm, cường độ chịu nén tương đối cao đạt 92,7 MPa ở 7 ngày tuổi và tính co ngót khô thấp với giá trị 0,031 % ở 7 ngày tuổi. Nghiên cứu ảnh hưởng của loại và tỷ lệ thành phần của hệ nguyên vật liệu cùng với việc sử dụng phụ gia chống co ngót đến độ lưu động, khối lượng thể tích, thời gian ninh kết và khả năng giữ độ lưu động của vữa tươi và các tính chất cơ lý (cường độ chịu kéo trực tiếp, cường độ chịu kéo khi uốn, cường độ chịu nén, độ bám dính và độ hút nước), cấu trúc và độ bền của vữa đã đóng rắn cần được triển khai nghiên cứu sâu hơn để đánh giá thêm chất lượng của loại vữa bơm cường độ cao nhằm mở rộng hơn việc ứng dụng của loại vữa này vào trong ngành công nghiệp xây dựng.

Tài liệu tham khảo

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này. Tôi cũng xin cảm ơn Lê Quốc Thái và Đặng Ngọc Mai đã hỗ trợ một phần thực nghiệm của nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1]. B. Lothenbach, K. Scrivener, R.D. Hooton, "Supplementary cementitious materials," *Cement and Concrete Research*, vol. 41, 1244–1256, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.12.001>.
- [2]. M. Saridemir, A. Yildirim, "Effect of elevated temperatures on properties of high strength mortars containing ground calcined diatomite with limestone sand," *Journal of Building Engineering*, vol. 56, 104748, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104748>.
- [3]. R. Vandhiyan, T.J. Vijay, M. Manoj Kumar, "Effect of fine aggregate properties on cement mortar strength," *Materials Today: Proceedings*, vol. 37, Part 2, pp. 2019–2026, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.498>.

- [4]. M. Heikal, O. Al-Duaij, N. Ibrahim, "Microstructure of composite cements containing blast-furnace slag and silica nano-particles subjected to elevated thermally treatment temperature," *Construction and Building Materials*, vol. 93, pp. 1067–1077, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.042>.
- [5]. M. Hu, Z. Jia, X. Jia, J. Yu, Q. Han, "Behavior deterioration and compressive model of high-strength mortar subjected to coupling freeze-thaw cycles and sulfate attack," *Journal of Building Engineering*, vol. 107, 112788, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.112788>.
- [6]. J.H. Kim, S.H. Han, B.I. Choi, "Influence of pumping pressure on the viscosity curve and rheological stability of mortar incorporating polycarboxylate," *Cement and Concrete Composites*, vol. 105, 103419, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103419>.
- [7]. J. Plank, E. Sakai, C.W. Miao, C. Yu, J.X. Hong, "Chemical admixtures-chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability," *Cement and Concrete Research*, vol. 78, pp. 81–99, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.05.016>.
- [8]. Bộ Khoa học và công nghệ, "TCVN 2682 : 2020 Xi măng Poóc Lăng - Yêu cầu kỹ thuật," 17 trang, 2020.
- [9]. American Society for Testing and Materials (ASTM) International, "ASTM C1240 Standard specification for silica fume used in cementitious mixtures," 7 trang, 2020.
- [10]. Bộ Khoa học và công nghệ, "TCVN 4506:2012 Nước cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật," 17 trang, 2012.
- [11]. Bộ Khoa học và công nghệ, "TCVN 7570 : 2006 Cốt liệu cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật," 14 trang, 2006.
- [12]. American Society for Testing and Materials (ASTM) International, "ASTM C230/C230M Standard specification for flow table for use in tests of hydraulic cement," 7 trang, 2020.
- [13]. Bộ Khoa học và công nghệ, "TCVN 3121-3 : 2022 Vữa xây dựng – Phương pháp thử - Phần 3: Xác định độ lưu động của vữa tươi (phương pháp bàn dần)," 7 trang, 2022.
- [14]. Bộ Khoa học và công nghệ, "TCVN 3121-11 : 2022 Vữa xây dựng – Phương pháp thử - Phần 11: Xác định cường độ uốn và nén của vữa đã đóng rắn," 9 trang, 2022.
- [15]. American Society for Testing and Materials (ASTM) International, "ASTM C490 Standard practice for use of apparatus for the determination of length change of hardened cement paste, mortar, and concrete," 5 trang, 2021.
- [16]. L.K. Gupta, A.K. Vyas, "Impact on mechanical properties of cement sand mortar containing waste granite powder," *Construction and Building Materials*, vol. 191, pp. 155–164, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.203>.
- [17]. N.U. Kockal, "Investigation about the effect of different fine aggregates on physical, mechanical and thermal properties of mortars," *Construction and Building Materials*, vol. 124, pp. 816–825, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.008>.
- [18]. American Concrete Institute, "ACI 209R-92, Prediction of creep, shrinkage and temperature effects in concrete structures," 1997. doi:10.1201/9780203882955.ch168.
- [19]. K.I.S.A. Kabeer, A.K. Vyas, "Utilization of marble powder as fine aggregate in mortar mixes," *Construction and Building Materials*, vol. 165, pp. 321–332, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.061>.