

ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG CENOSPHERE VÀ SỢI GỐM ĐẾN TÍNH CHẤT CỦA VỮA PHỦ CHỐNG CHÁY - CÁCH NHIỆT BẢO VỆ KẾT CẤU THÉP

EFFECTS OF CENOSPHERE AND CERAMIC FIBER CONTENTS ON THE PROPERTIES OF FIRE-RESISTANT THERMAL-INSULATING MORTAR FOR STEEL STRUCTURE PROTECTION

HOÀNG VĨNH LONG^{a,*}, PHẠM MINH ĐỨC^a

^aTrường Đại học Xây dựng Hà Nội

*Tác giả đại diện: Email: longhv@huce.edu.vn

Ngày nhận 25/7/2026, Ngày sửa 05/8/2026, Chấp nhận 10/8/2026

<https://doi.org/10.59382/j-ibst.2026.vi.vol3-5>

Tóm tắt: Trong những năm gần đây, an toàn cháy cho nhà và công trình ngày càng được quan tâm. Vữa chống cháy phun phủ là một trong những giải pháp hiệu quả để bảo vệ kết cấu trước tác động của hỏa hoạn. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng hạt vi cầu rỗng từ tro bay (cenosphere) và sợi gốm đến các tính chất của vữa chống cháy – cách nhiệt. Các cấp phối chứa 50–70% cenosphere theo thể tích được nghiên cứu; trong đó, cấp phối chứa 60% cenosphere được lựa chọn để đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng sợi gốm 0,25 và 0,5% theo thể tích vữa. Các tính chất được khảo sát gồm độ lưu động, khối lượng thể tích, độ co ngót khi nung, cường độ chịu nén, cường độ bám dính, hệ số dẫn nhiệt và tính không cháy. Kết quả cho thấy hàm lượng cenosphere ảnh hưởng rõ rệt đến khối lượng thể tích và cường độ của vữa. Việc bổ sung sợi gốm làm giảm độ lưu động nhưng cải thiện cường độ chịu nén, cường độ bám dính và khả năng hạn chế co ngót khi nung. Với hàm lượng 0,5% sợi gốm, cường độ chịu nén sau nung đạt 10,09 MPa, cường độ bám dính trên nền thép và bê tông lần lượt đạt 0,14 MPa và 0,19 MPa, trong khi độ co thể tích giảm còn 4,96%. Các mẫu nghiên cứu đáp ứng các yêu cầu đánh giá về tính không cháy và có hệ số dẫn nhiệt thấp, đạt 0,136–0,139 W/(m·°C). Kết quả cho thấy cenosphere có nguồn gốc trong nước có tiềm năng thay thế cốt liệu nhẹ nhập khẩu trong chế tạo vữa chống cháy – cách nhiệt nhẹ.

Từ khóa: Vữa chống cháy – cách nhiệt; cenosphere; sợi gốm; độ lưu động; cường độ bám dính; hệ số dẫn nhiệt; tính không cháy.

Abstract: In recent years, fire safety in buildings and structures has received increasing attention. Spray-applied fire-resistant mortar is one of the effective solutions for protecting structural elements against the effects of fire. This paper presents the results of an investigation into the effects of the

contents of fly ash-derived hollow microspheres (cenospheres) and ceramic fibers on the properties of fire-resistant and thermal-insulating mortar. Mixtures containing 50–70% cenosphere by volume were investigated, among which the mixture containing 60% cenosphere was selected to evaluate the effects of ceramic fiber contents of 0.25% and 0.5% by mortar volume. The investigated properties included flowability, density, firing shrinkage, compressive strength, bond strength, thermal conductivity, and non-combustibility. The results showed that the cenosphere content significantly affected the density and strength of the mortar. The addition of ceramic fibers reduced flowability but improved compressive strength, bond strength, and resistance to shrinkage during heating. With a ceramic fiber content of 0.5%, the compressive strength after heating reached 10.09 MPa, while the bond strengths on steel and concrete substrates reached 0.14 MPa and 0.19 MPa, respectively; meanwhile, the volumetric shrinkage decreased to 4.96%. The investigated mixtures satisfied the requirements for non-combustibility and exhibited low thermal conductivity, ranging from 0.136 to 0.139 W/(m·°C). The results demonstrate the potential of domestically sourced cenosphere to replace imported lightweight aggregates in the production of lightweight fire-resistant and thermal-insulating mortar.

Keywords: Fire-resistant and thermal-insulating mortar; cenosphere; ceramic fiber; flowability; bond strength; thermal conductivity; non-combustibility.

1. Giới thiệu

Ở Việt Nam, trong những năm gần đây, yêu cầu về chống cháy đã trở nên bức thiết. Các nhà máy, xí nghiệp tại các khu công nghiệp, khu chế xuất, khu công nghệ cao và nhà cao tầng (chung cư, cao ốc văn phòng, khách sạn, trung tâm thương mại...), công tác phòng cháy, chữa cháy càng cần phải hết sức quan tâm. Do đây là nơi tập trung đông người,

nơi diễn ra các hoạt động sản xuất, kinh doanh, có nhiều tài sản, hàng hóa, máy móc thiết bị... nên tiềm ẩn nguy cơ cháy, nổ rất cao. Đặc biệt là lĩnh vực chống cháy cho các kết cấu thép trong các công trình dầu khí, các kho xăng dầu, chất đốt, vật liệu dễ cháy... và một số công trình xây dựng công nghiệp khác.

Theo QCVN 06:2022/BXD và Sửa đổi 1:2023 QCVN 06:2022/BXD, giới hạn chịu lửa yêu cầu của cấu kiện xây dựng được xác định theo loại cấu kiện, bậc chịu lửa của nhà, công trình hoặc khoang cháy. Đối với cột, dầm, khung, giàn và các cấu kiện thép chịu lực, yêu cầu chủ yếu được biểu thị theo tiêu chí R, thể hiện khả năng duy trì khả năng chịu lực của cấu kiện trong thời gian chịu tác động của lửa. Các tiêu chí E và I được xem xét đối với các cấu kiện có chức năng ngăn cháy, trong đó REI áp dụng cho cấu kiện đồng thời phải bảo đảm khả năng chịu lực, tính toàn vẹn và khả năng cách nhiệt. Vì vậy, tính năng bảo vệ cháy cần được đánh giá đối với hệ cấu kiện thép kết hợp với lớp phủ bảo vệ, phù hợp với yêu cầu giới hạn chịu lửa của từng công trình.

Các giải pháp bảo vệ chống cháy cho kết cấu thép thường gồm: bọc cấu kiện bằng tấm chống cháy; phun hoặc trát vữa chống cháy – cách nhiệt; và phủ sơn chống cháy trương nở để tạo lớp cách nhiệt khi chịu nhiệt độ cao. Vữa phun phủ thường phù hợp với các cấu kiện có yêu cầu giới hạn chịu lửa từ trung bình đến cao, nhờ khả năng tạo lớp phủ dày, hạn chế truyền nhiệt và thích hợp cho thi công trên các cấu kiện có hình dạng phức tạp. Đối với một số cấu kiện có yêu cầu giới hạn chịu lửa thấp hơn hoặc có yêu cầu cao về thẩm mỹ, sơn chống cháy trương nở có thể là giải pháp phù hợp. Việc lựa chọn giải pháp cần căn cứ vào yêu cầu giới hạn chịu lửa, điều kiện khai thác, dạng cấu kiện, điều kiện thi công và hiệu quả kinh tế của công trình.

Các nghiên cứu về vật liệu phủ chống cháy – cách nhiệt thường sử dụng các chất kết dính vô cơ kết hợp với chất điền đầy rỗng và sợi phân tán. Các chất kết dính (CKD) thường sử dụng như: xi măng alumin, xi măng Poóc lăng, các chất kết dính geopolymer trên cơ sở hệ SiO_2 và Al_2O_3 ; kết hợp với các loại phụ gia khoáng đã qua nhiệt, ví dụ: tro bay, xỉ lò cao, xỉ đáy,... Các loại chất điền đầy rỗng để tăng khả năng cách nhiệt cho vật liệu phủ như: vermiculit, perlit, hạt thủy tinh rỗng, aerogel, hạt polystyren phồng nở hoặc vi nang hoặc vật liệu thay đổi pha tổng hợp,... Các loại sợi như: sợi gốm, sợi

khoáng, sợi bazan và sợi thép góp phần cải thiện khả năng, chống co ngót, chống nứt ở nhiệt độ cao, đảm bảo tính toàn vẹn của lớp phủ chống cháy trong quá trình cháy, để cách ly hiệu quả kết cấu chính khỏi nguồn lửa [1].

Một số nghiên cứu về vữa phủ chống cháy-cách nhiệt có thể kể đến: Balaguru [2] đã báo cáo khả năng của geopolymer alumin-silicate như một lớp phủ bảo vệ và chống graffiti cho cơ sở hạ tầng giao thông, đồng thời nghiên cứu ảnh hưởng của các chất kích hoạt, chất độn, sợi và phụ gia polymer trong việc chuẩn bị lớp phủ geopolymer. Temuujin và cộng sự [3] nhận thấy cường độ bám dính của lớp phủ geopolymer dựa trên metakaolin phụ thuộc rất nhiều vào tỷ lệ Si và Al. Zhang và cộng sự [4] báo cáo rằng lớp phủ geopolymer hỗn hợp đã được phát triển bằng cách thêm 10% xỉ lò cao dạng hạt (GBFS) vào meta cao lanh làm nguyên liệu ban đầu ở tỷ lệ lỏng/rắn là 0,6 ml/g. Khan và cộng sự [5] đã nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ Na/Al và nước/rắn đến cường độ bám dính, thời gian đông kết, cấu trúc vi mô và độ ổn định nhiệt của polyme địa kỹ thuật dựa trên tro bay than. Fuat Koksall và cộng sự [6] đã nghiên cứu 2 nhóm vữa nhẹ chịu nhiệt với thành phần gồm: chất kết dính xi măng Poóc lăng/ xi măng cao alumin, cốt liệu nhẹ vermiculit với tỷ lệ theo thể tích cốt liệu/ CKD= 3, 4, 5, và 6. Hệ số dẫn nhiệt của các mẫu vữa trong khoảng 0,32-0,094 W/m²K. Các mẫu vữa được gia nhiệt ở nhiệt độ 20°C, 300, 600, 900 và 1100°C. Kết quả cho thấy, vữa sử dụng xi măng cao alumin và vermiculit có thể sử dụng để làm vật liệu chống cháy. Hiện nay, nhiều nghiên cứu tập trung vào đối tượng vật liệu chống cháy gốc xi măng có cường độ biến dạng cao [7], khả năng liên kết với thép [8], hoặc cải thiện đặc tính chống cháy, chịu nhiệt [9, 10].

Ở trong nước, các nghiên cứu vật liệu phủ thường tập trung vào các loại sơn vô cơ chịu nhiệt cao, chống ăn mòn [11-14]. Bên cạnh đó cũng có một số nhóm nghiên cứu về vật liệu chống cháy khác như: ThS. Nguyễn Tuấn Anh và cộng sự thực hiện đề tài “Nghiên cứu sản xuất tấm vật liệu nhẹ chống cháy” [15]. Tấm vật liệu được chế tạo từ xi măng PC40, cát nghiền, meta cao lanh, phụ gia siêu dẻo, sợi giấy, sợi thủy tinh, cao lanh K80 và perlite đạt cấp chống cháy E60. Tác giả Lưu Hoàng Sơn và cộng sự - Viện Vật liệu xây dựng - nghiên cứu sản xuất vữa chống cháy IFM350

từ cốt liệu perlite, sợi khoáng, bột sa mốt, hỗn hợp chất kết dính gồm xi măng chịu nhiệt CA50 và xi măng PC40; phụ gia tăng bám dính. Sản phẩm có thời gian chống cháy bảo vệ cấu kiện thép tùy thuộc vào chiều dày bảo vệ có thể lên tới ≥ 180 phút với chiều dày phủ là 30mm [16].

Các sản phẩm vữa phun phủ chống cháy thương mại cho kết cấu thép có các định hướng tính năng khác nhau tùy theo yêu cầu sử dụng. Theo tài liệu kỹ thuật của hãng Promat, các sản phẩm Madolite CP2, Madolite 550 và Madolite HS3 có khối lượng thể tích khô lần lượt khoảng 390, 550 và 750 kg/m³; cường độ chịu nén tương ứng 0,563; 2,3 và 3,9 N/mm²; hệ số dẫn nhiệt tương ứng 0,095; 0,155 và 0,225 W/(m·°K). Các sản phẩm này đều được công bố có thể sử dụng trong hệ bảo vệ chống cháy đến 4 giờ, với điều kiện phụ thuộc vào cấu hình hệ bảo vệ và chiều dày lớp phủ. Các số liệu trên cho thấy vữa bảo vệ chống cháy không nhất thiết hướng đến cường độ nén lớn nhất, mà cần đạt sự cân bằng hợp lý giữa khối lượng thể tích thấp, khả năng cách nhiệt, độ bám dính, độ ổn định khi chịu nhiệt và khả năng thi công.

Hạt vi cầu rỗng từ tro bay (thường được gọi là cenosphere hoặc fly ash hollow microsphere) là các hạt nhẹ có trong tro bay. Các hạt cenosphere cơ bản dạng hình cầu với bề mặt nhẵn. Kích thước của cenosphere (CE) nằm trong khoảng từ 1 đến 600 μm với phạm vi kích thước chiếm ưu thế là 200–400 μm , độ dày của lớp vỏ 1–18 μm . Hạt CE có cả lỗ rỗng kín và lỗ rỗng hở tùy thuộc vào các thông số công nghệ và loại than được đốt. Khối lượng thể tích (KLTT) của CE thường trong khoảng 0,4–0,9 g/cm³ có khả năng nổi trên mặt nước. Có một số nhà nghiên cứu mở rộng vùng hạt CE có KLTT đến 1,28 g/cm³. Hệ số dẫn nhiệt của CE nhỏ, xấp xỉ 0,065 W/m·°K [17]. CE có

khả năng chịu sốc nhiệt tốt do có hàm lượng mulite cao [18]. Vì vậy, CE có khả năng sử dụng để chế tạo vữa và bê tông nhẹ cách nhiệt.

Theo kết quả điều tra về tro xỉ nhà máy nhiệt điện tại Việt Nam, tính đến năm 2021 lượng tro xỉ phát sinh từ các nhà máy nhiệt điện là khoảng 17 triệu tấn và ước tính tăng lên 25 triệu tấn vào năm 2025 và 38 triệu tấn năm 2030. CE chỉ có trong tro bay của nhà máy nhiệt điện đốt than phun do vậy về lý thuyết có thể thu hồi được từ khoảng 80–85% lượng tro bay của các nhà máy nhiệt điện tại Việt Nam. Với hàm lượng CE trong tro bay khoảng 0,3–1,5% thì tổng lượng CE về lý thuyết có thể thu hồi được là (32.640–163.200) tấn/năm. Như vậy, tiềm năng nguồn cung cấp CE trong nước khá dồi dào đáp ứng được yêu cầu sản xuất với quy mô công nghiệp. CE là vật liệu có giá trị thương mại và đã được khai thác, sử dụng, trong đó một phần được xuất khẩu. Tuy nhiên, việc nghiên cứu và ứng dụng CE có nguồn gốc trong nước làm cốt liệu nhẹ trong vữa phủ chống cháy – cách nhiệt bảo vệ kết cấu thép vẫn còn hạn chế.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu này hướng đến phát triển vữa sử dụng CE và sợi gốm theo định hướng tạo vật liệu nhẹ, có hệ số dẫn nhiệt thấp và các chỉ tiêu cơ lý phù hợp cho lớp phủ bảo vệ kết cấu thép. Các kết quả này có thể góp phần sử dụng hiệu quả và nâng cao giá trị ứng dụng của CE – là nguyên liệu trong nước, thay thế cốt liệu nhẹ nhập ngoại và giải quyết vấn đề môi trường do tro bay gây ra.

2. Vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1 Vật liệu sử dụng

a) Xi măng alumin AC50

Xi măng alumin được sử dụng trong nghiên cứu là xi măng AC50 có nguồn gốc từ Trung Quốc. Đây là thành phần chất kết dính tạo khả năng chịu nhiệt chính. Các tính chất cơ lý và thành phần hóa của xi măng AC50 được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Các tính chất cơ lý của xi măng AC50

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	Yêu cầu	Phương pháp thử
1	Khối lượng riêng,	g/cm ³	3,1	-	TCVN 13605:2023
2	Lượng sót sàng 45 μm	%	15	≤ 20	TCVN 13605:2023
3	Lượng nước tiêu chuẩn	%	34	-	TCVN 6017:2015
4	Thời gian đông kết				TCVN 6017:2015
	- Bắt đầu	phút	95	≥ 30	
5	- Kết thúc	giờ	2	≤ 6	TCVN 6016:2011
	Cường độ chịu nén	MPa			
	- 6 giờ		21	≥ 20	
	- 1 ngày		42	≥ 40	
	- 3 ngày		51	≥ 50	

b) Xi măng Poócăng PC40

Trong nghiên cứu, có sử dụng xi măng Poócăng PC40 Nghi Sơn với vai trò là chất kết dính bổ trợ,

đồng thời làm giảm chi phí cho chất kết dính. Các tính chất cơ lý của xi măng Nghi Sơn được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Các tính chất cơ lý của xi măng PC40 Nghi Sơn

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả	Yêu cầu	Phương pháp thử
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	3,1	-	TCVN 13605:2023
2	Độ dẻo tiêu chuẩn	%	32	-	TCVN 6017:2015
3	Thời gian đông kết - Bắt đầu - Kết thúc	phút	85 130	≥ 45 ≤ 375	TCVN 6017:2015
4	Độ ổn định thể tích	mm	0,6	≤ 10	TCVN 6017:2015
5	Độ mịn, theo phương pháp Blaine	cm ² /g	3450	≥ 2800	TCVN 13605:2023
6	Cường độ nén - 3 ngày - 28 ngày	MPa	34,63 45,68	≥ 21 ≥ 40	TCVN 6016:2011

c) Sa mốt nghiền mịn (SA)

Sa mốt được lấy từ nhà máy Vật liệu chịu lửa Cầu Đuống, sau đó được nghiền bi trong 2 giờ và kiểm

tra lượng sót trên sàng 0,09mm. Thành phần hóa và tính chất của sa mốt nghiền mịn được trình bày trong Bảng 3 và Bảng 4.

Bảng 3. Tính chất của sa mốt nghiền mịn

TT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,6	TCVN 13605:2023
2	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³		TCVN 7572-6:2006
3	Sót sàng 0,09 mm	%	1,8	TCVN 13605:2023

Bảng 4. Thành phần hóa của sa mốt nghiền mịn

Oxit	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
Hàm lượng, %	61,62	5,45	25,35	2,96	0,23	2,35	1,51	0,12

d) Tro bay (T)

Tro bay được sử dụng trong nghiên cứu được lấy từ Công ty Cổ phần Nhiệt điện Hải Phòng. Các tính chất và thành phần hạt của tro bay được nêu trong Bảng 5 và Bảng 6.

Bảng 5. Tính chất cơ lý của tro bay Hải Phòng

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	Yêu cầu	Phương pháp thử
1	Lượng mất khi nung	%	5,16	≤ 12	TCVN 8262:2009
2	Độ ẩm	%	0,05	≤ 0,1	TCVN 8262:2009
3	Chỉ số hoạt tính - Tuổi 7 ngày - Tuổi 28 ngày	%	81,2 88,2	- ≥ 75	TCVN 6882:2001
4	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,15	-	TCVN 13605:2023
5	Độ mịn sót sàng 0,045mm	%	13,2	≤ 25	TCVN 8827:2011

Bảng 6. Thành phần hóa của tro bay Hải Phòng

Oxit	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MKN
Hàm lượng, %	54,25	6,26	25,52	2,16	1,28	0,62	3,37	0,16	0,73	5,16

e) Hạt vi cầu rỗng từ tro bay (CE)

Hạt vi cầu rỗng từ tro bay (CE) được CTCP sản xuất và phát triển VLXD CTA cung cấp. CE đưa vào

vừa với vai trò của cốt liệu nhẹ, làm tăng khả năng cách nhiệt. Tính chất của hạt CE được thể hiện trong Bảng 7.

Bảng 7. Tính chất cơ lý của CE

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
1	Khối lượng thể tích hạt	g/cm ³	0,71	TCVN 4030:2003
2	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	421,87	TCVN 7572-6:2006
3	Độ ẩm	%	2,1	TCVN 8262:2009

f) Sợi gốm (CF)

Nhóm nghiên cứu khảo sát và lựa chọn sợi phân tán là loại sợi gốm (ceramic fiber- CF) sẵn có trên thị trường với nhiều ưu điểm như: khả năng chịu nhiệt rất cao, dẫn nhiệt rất thấp, không cháy không phân huỷ và khả năng chống sốc nhiệt tốt. Sợi gốm Ecotherms sử dụng trong nghiên cứu có khối lượng thể tích 96 kg/m³, nhiệt độ làm việc 1260°C. Sợi được xé nhỏ có kích thước búi sợi khoảng 10mm trước khi đưa vào trộn vữa.

g) Phụ gia giảm nước và chống phân tầng

Trong nghiên cứu sử dụng Sika ViscoCrete SKY 8613. Đây là phụ gia siêu dẻo trên cơ sở phối trộn của PCE polymer thế hệ thứ 3 có khả năng chống phân tầng, dễ thi công.

h) Nước nhào trộn

Nước trộn dùng trong nghiên cứu là nước máy sinh hoạt của thành phố Hà Nội. Nước trộn thỏa mãn yêu cầu theo tiêu chuẩn TCVN 4506:2012.

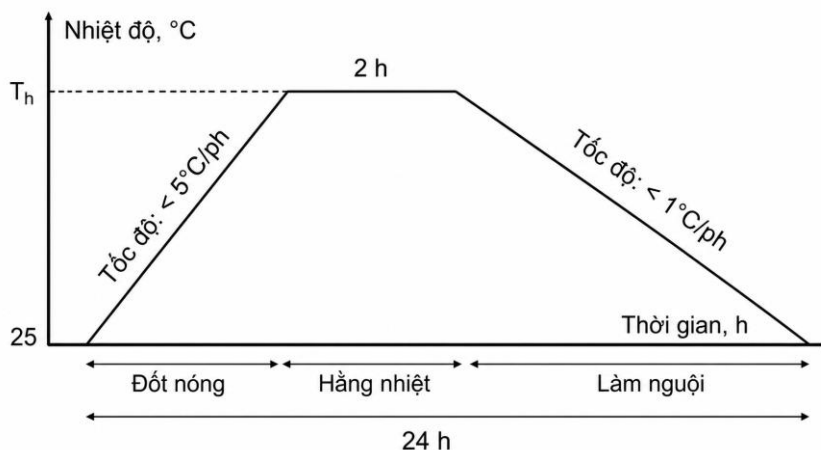
2.2 Phương pháp nghiên cứu

a) Chế tạo và bảo dưỡng mẫu

Hỗn hợp vữa được trộn trong máy trộn hành tinh có dung tích cối trộn là 20 lít. Mẫu thử các tính chất cơ lý được chế tạo với kích thước 70,7×70,7×70,7 mm. Mẫu được bảo dưỡng trong khuôn, điều kiện 27±2°C, độ ẩm không nhỏ hơn 95% trong 24h; sau đó, tháo khuôn và ngâm nước đến 7 ngày tuổi ở nhiệt độ 27±2°C.

b) Chế độ gia công nhiệt các mẫu

Sau bảo dưỡng trong nước đến 7 ngày tuổi, mẫu được đem đi sấy ở 105±5°C đến khối lượng không đổi rồi nung đến nhiệt độ 1000°C. Sau khi sấy và nung, mẫu được đem đi xác định các tính chất cơ lý. Biểu đồ đường cong nung mẫu vữa thể hiện ở Hình 1.



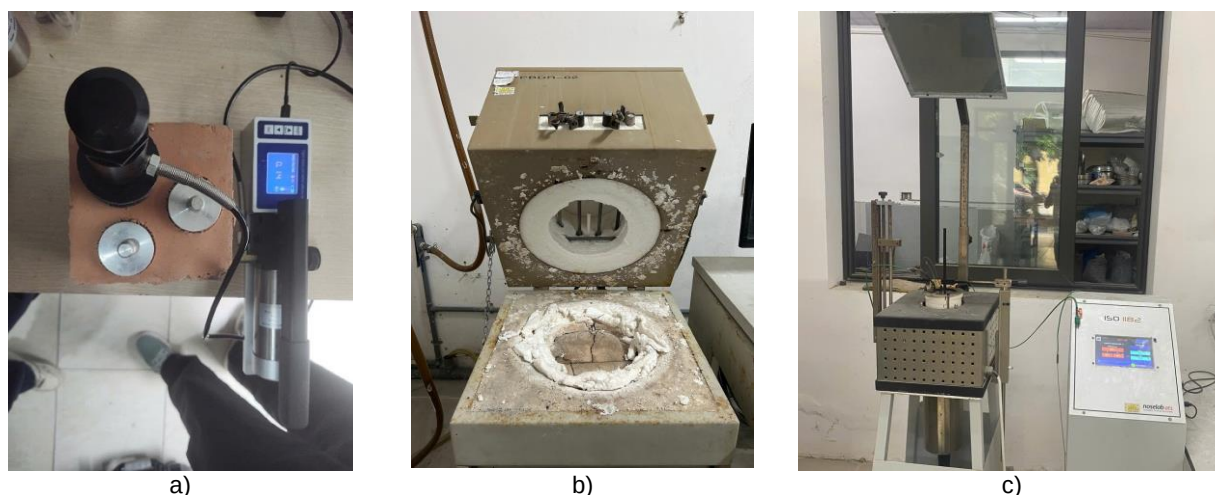
Hình 1. Biểu đồ đường cong nung mẫu CKD

c) Các phương pháp thử tính chất cơ lý, cách nhiệt của mẫu vữa

Một số tính chất cơ lý, cách nhiệt của vữa được xác định theo các phương pháp tiêu chuẩn được trình bày trong Bảng 8.

Bảng 8. Một số phương pháp thử xác định tính chất của vữa

STT	Chỉ tiêu kỹ thuật	Phương pháp thử
1	Độ lưu động	TCVN 3121-3:2022
2	Khối lượng thể tích	TCVN 3121-10:2022
3	Cường độ bám dính	TCVN 3121-11:2003
4	Hệ số dẫn nhiệt	ASTM C177
5	Tính không cháy	TCVN 12695:2010



Hình 2. Một số thiết bị xác định tính chất của mẫu vữa
a) Thiết bị xác định cường độ bám dính; b) Thiết bị xác định hệ số dẫn nhiệt;
c) Thiết bị xác định tính không cháy

Xác định độ co ngót khi nung

Để xác định giá trị độ co ngót của các mẫu vữa, sử dụng phương pháp đo. Thể tích mẫu tính bằng giá trị trung bình của 3 lần đo kích thước tương ứng 3 vị trí theo 3 phương của mẫu. Giá trị độ co thể tích của mẫu (C_v , %) được xác định theo công thức (1). Trong đó, V_0 là thể tích của mẫu sau khi sấy (cm^3); V_t là thể tích của mẫu ở nhiệt độ phòng sau khi nung (cm^3). Độ co dài của mẫu (C_l , %) được tính theo công thức (2) thông qua độ co thể tích.

$$C_v = \frac{V_0 - V_t}{V_0} \times 100\% \quad (1)$$

$$C_l = \left[1 - \left(1 - \frac{C_v}{100} \right)^{1/3} \right] \times 100\% \quad (2)$$

Xác định cường độ chịu nén và sự thay đổi cường độ chịu nén khi nung.

Cường độ chịu nén của mẫu được xác định dựa theo TCVN 7949-1:2008. Sự thay đổi cường độ chịu

nén sau khi nung (R_{nm} , %) được tính theo công thức (3). Trong đó, R_n^n là cường độ nén của mẫu sau khi nung, R_n^s là cường độ nén của mẫu sau khi sấy.

$$R_{nm} = \left(1 - \frac{R_n^n}{R_n^s} \right) \times 100\% \quad (3)$$

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1 Thành phần cấp phối của vữa

Dựa vào các kết quả nghiên cứu trước của nhóm tác giả và cấp phối vữa tiêu chuẩn với tỷ lệ XM: cát: nước= 1:3:0,5 (theo khối lượng) làm cơ sở, thành phần của vữa được tính toán theo phương pháp thể tích tuyệt đối với $N/CKD=0,5$ theo khối lượng; $V_{CE}/(V_{CE} + V_{CKD}) = 50-80\%$ theo thể tích; và PGSD/CKD xác định theo % khối lượng CKD được điều chỉnh để đảm bảo độ lưu động của hỗn hợp vữa trong khoảng 155-205mm. Kết quả tính toán cấp phối được thể hiện trong Bảng 9. Ký hiệu cấp phối có chỉ số tương ứng với hàm lượng CE sử dụng, ví dụ: CE50 tương ứng 50%CE theo thể tích.

Bảng 9. Thành phần của các cấp phối vữa

Kí hiệu cấp phối vữa	Thành phần chất kết dính (%)				CE/ vữa (%)	PGSD/ CKD (%)	Nước/ CKD
	AC50	PC40	Sa mốt	Tro bay			
CE50	28	42	24	6	50	0	0,5
CE60	28	42	24	6	60	0,5	0,5
CE70	28	42	24	6	70	1,0	0,5
CE80	28	42	24	6	80	2,0	0,5

3.2 Ảnh hưởng của hàm lượng CE đến tính chất của vữa chống cháy-cách nhiệt

Kết quả thí nghiệm xác định tính chất của các cấp phối vữa được trình bày trong Bảng 10.

Bảng 10. Các tính chất của vữa

Ký hiệu mẫu	Độ lưu động (mm)	KLTT sau khi sấy (g/cm ³)	KLTT sau khi nung (g/cm ³)	Độ co thể tích khi nung (%)	Độ co dài khi nung (%)	Cường độ chịu nén sau sấy (MPa)	Cường độ chịu nén sau nung (MPa)	Cường độ bám dính trên nền thép (MPa)	Cường độ bám dính trên nền bê tông (MPa)
CE50	186	1,108	1,055	6,22	2,12	5,78	6,70	0,15	0,21
CE60	198	1,013	0,977	6,18	2,10	5,61	8,30	0,11	0,17
CE70	171	0,877	0,846	5,63	1,91	3,60	5,86	0,08	0,14

a. Ảnh hưởng đến độ lưu động của hỗn hợp vữa

Từ số liệu ở Bảng 10, ta có thể thấy các cấp phối có hàm lượng CE chiếm 50-70% thể tích vữa khô có độ lưu động trong khoảng 171- 205 mm nằm trong vùng yêu cầu của độ lưu động. Tuy nhiên, khi hàm lượng CE càng tăng thì hàm lượng phụ gia siêu dẻo càng lớn để đáp ứng yêu cầu về độ lưu động.

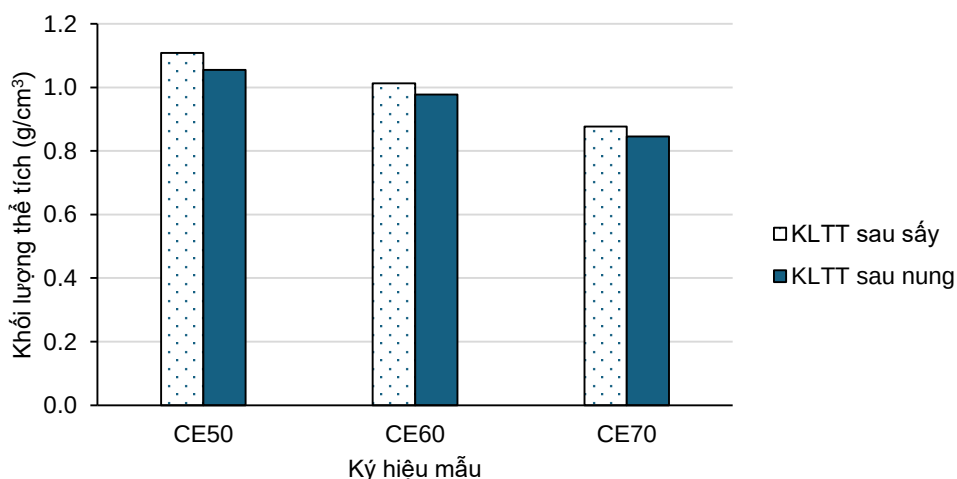
Với cấp phối CE80, mặc dù đã tăng lượng dùng phụ gia siêu PGSD/CKD lên đến 2%; đồng thời khi nhào trộn, đã bổ sung thêm nước lên đến 40% so với lượng nước tính toán nhưng độ lưu động của cấp phối vữa này mới chỉ đạt tương ứng là 125mm. Với độ lưu động này sẽ gây khó khăn cho thi công phủ vữa lên kết cấu. Vì vậy, cấp phối CE80 không được sử dụng trong các nghiên cứu tiếp theo.

b. Ảnh hưởng đến khối lượng thể tích sau sấy và sau nung của vữa

Hình 3 thể hiện ảnh hưởng của hàm lượng CE đến khối lượng thể tích (KLTT) của mẫu vữa sau sấy

và sau nung ở 1000°C. Kết quả cho thấy hàm lượng CE ảnh hưởng rõ rệt đến KLTT của vữa. Ở trạng thái sau sấy, khi hàm lượng CE tăng từ 50% lên 70%, KLTT giảm từ 1,108 xuống 0,877 g/cm³, tương ứng giảm khoảng 20,8%. Tương tự, ở trạng thái sau nung, KLTT của các mẫu CE50 và CE70 lần lượt là 1,055 và 0,846 g/cm³, tương ứng giảm khoảng 19,8% khi hàm lượng CE tăng từ 50% lên 70%.

Xu hướng giảm KLTT khi tăng hàm lượng CE có thể được giải thích bởi CE có cấu trúc rỗng và khối lượng thể tích hạt thấp, khoảng 0,71 g/cm³. Việc tăng tỷ lệ CE làm tăng tỷ phần pha nhẹ trong vữa, đồng thời giảm tương đối lượng các thành phần có khối lượng riêng cao. Với cùng một cấp phối, KLTT sau nung thấp hơn sau sấy khoảng 3,5–4,8%; sự thay đổi này có thể liên quan đến quá trình mất nước liên kết và biến đổi cấu trúc lỗ rỗng của vật liệu khi gia nhiệt. Cơ chế biến đổi pha cụ thể cần được làm rõ thêm bằng các phân tích vi cấu trúc và thành phần pha.



Hình 3. Ảnh hưởng của hàm lượng CE đến KLTT của vữa khi sấy và nung

c. Ảnh hưởng đến độ co của mẫu vữa

Bảng 10 cung cấp số liệu độ co ngót theo thể tích và theo độ dài của các mẫu vữa sau khi nung. Các số liệu này cho thấy khi tăng hàm lượng CE từ 50 lên 70%, độ co ngót của vữa sau nung có xu

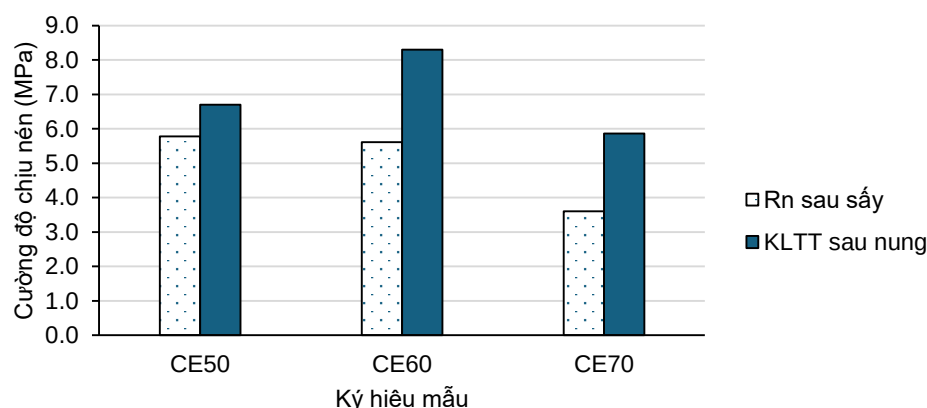
hướng giảm. Độ co thể tích giảm từ 6,22% đối với mẫu CE50 xuống 6,18% và 5,63% tương ứng với các mẫu CE60 và CE70; trong khi độ co dài giảm từ 2,12% xuống lần lượt 2,10% và 1,91%. Mức giảm co ngót thể hiện rõ hơn ở mẫu CE70, khi hàm lượng

CE đạt 70%. Nguyên nhân có thể liên quan đến sự gia tăng hàm lượng CE làm giảm tỷ lệ pha chất kết dính trong vật liệu, đồng thời tăng thành phần cốt liệu nhẹ có cấu trúc tương đối ổn định ở nhiệt độ cao. CE đóng vai trò như bộ khung hạn chế sự co ngót của nền chất kết dính trong quá trình mất nước, biến đổi pha và nung ở nhiệt độ cao. Kết quả này cho thấy việc tăng hàm lượng CE góp phần cải

thiện độ ổn định kích thước của vữa khi chịu tác động của nhiệt độ cao.

d. Ảnh hưởng đến cường độ chịu nén của mẫu vữa

Quan sát ngoại quan, các mẫu sau khi nung ở 1000°C đều không có hiện tượng nứt vỡ. Hình 4 thể hiện ảnh hưởng của hàm lượng CE đến cường độ chịu nén của mẫu sau khi sấy và nung. Bảng 11 so sánh sự thay đổi cường độ nén khi sấy và khi nung.



Hình 4. Ảnh hưởng của hàm lượng CE đến cường độ chịu nén của vữa

Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm lượng CE ảnh hưởng rõ rệt đến cường độ chịu nén của vữa. Ở trạng thái sau sấy, khi tăng hàm lượng CE từ 50 lên 70%, cường độ chịu nén giảm từ 5,78 xuống 3,60 MPa. Sự suy giảm này được giải thích bởi sự gia tăng tỷ lệ pha rỗng và sự giảm tương đối của lượng chất kết dính, làm giảm khả năng liên kết giữa các hạt trong cấu trúc vữa. Tuy nhiên, sự suy giảm cường độ diễn ra không đáng kể khi hàm lượng CE tăng từ 50 lên 60%, trong khi giảm rõ rệt ở hàm lượng 70%. Sau khi nung ở 1000°C, cường độ chịu nén của các mẫu đều tăng so với trạng thái sau sấy, lần lượt đạt 6,70; 8,30 và 5,86 MPa đối với các mẫu CE50, CE60 và CE70 với tỷ lệ gia tăng tương ứng là 15,9%, 48,0% và 62,8%.

Sự gia tăng cường độ sau nung có thể liên quan đến quá trình mất nước, biến đổi cấu trúc và hình thành các liên kết ở nhiệt độ cao. Tuy nhiên, để xác định chính xác cơ chế biến đổi pha, cần có các phân tích bổ sung như XRD hoặc SEM-EDS. Mẫu CE60 đạt cường độ chịu nén sau nung cao nhất (8,30 MPa), cho thấy hàm lượng CE 60% có thể tạo ra sự cân bằng phù hợp giữa cấu trúc rỗng của CE và lượng chất kết dính cần thiết để hình thành mạng liên kết bền vững. Ngược lại, hàm lượng CE 70% làm giảm đáng kể lượng chất kết dính và tăng tỷ lệ pha rỗng, dẫn đến cường độ chịu nén thấp hơn mặc dù tỷ lệ tăng cường độ sau nung là lớn nhất.

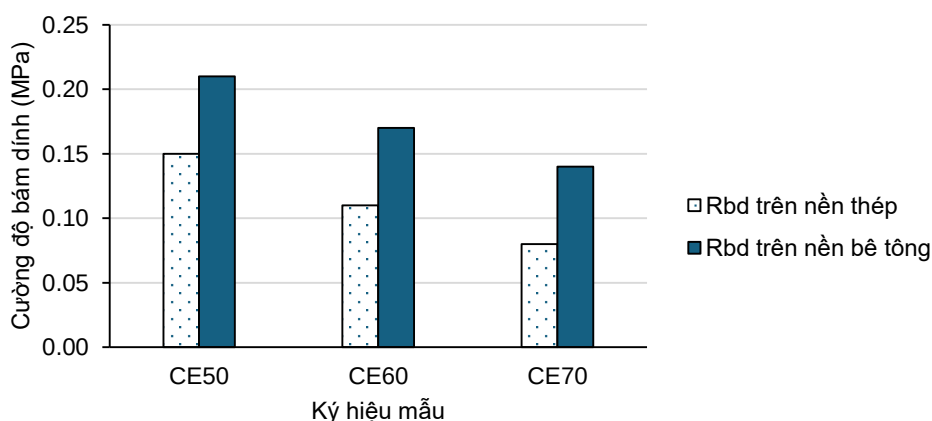
Bảng 11. So sánh cường độ chịu nén khi sấy và khi nung

STT	Kí hiệu	Cường độ chịu nén (MPa)		Tỷ lệ tăng cường độ chịu nén
		Sau sấy 105°C	Sau nung 1000°C	
1	CE50	5,78	6,70	15,9%
2	CE60	5,61	8,30	48,0%
3	CE70	3,60	5,86	62,8%

e. Ảnh hưởng đến cường độ bám dính của vữa

Bảng 10 cho kết quả xác định cường độ bám dính trên cả nền thép và nền bê tông với giá trị trong

khoảng 0,08-0,21 MPa. Hình 14 thể hiện sự so sánh cường độ bám dính của mẫu vữa với tỷ lệ dùng CE 50-70% trên nền thép và bê tông.



Hình 5. Ảnh hưởng của CEs đến cường độ bám dính của vữa trên nền thép và bê tông

Kết quả thí nghiệm cho thấy hàm lượng CE ảnh hưởng rõ rệt đến cường độ bám dính của vữa trên nền thép và nền bê tông. Khi tăng hàm lượng CE từ 50 lên 70%, cường độ bám dính trên nền thép giảm từ 0,15 xuống 0,08 MPa, trong khi cường độ bám dính trên nền bê tông giảm từ 0,21 xuống 0,14 MPa. Xu hướng này có thể được giải thích bởi sự gia tăng hàm lượng CE làm giảm tương đối lượng chất kết dính và tăng tỷ lệ pha rỗng trong lớp vữa, từ đó làm giảm diện tích liên kết và khả năng truyền ứng suất tại vùng tiếp xúc giữa vữa và nền. Ở tất cả các cấp phối, cường độ bám dính trên nền bê tông cao hơn trên nền thép, có thể do bề mặt bê tông có độ nhám và hệ thống lỗ rỗng thuận lợi hơn cho sự hình thành liên kết cơ học. Kết quả cho thấy việc tăng hàm lượng CE giúp giảm khối lượng thể tích của vữa nhưng đồng thời làm suy giảm khả năng bám dính, đặc biệt khi hàm lượng CE tăng lên 70%.

Khi xem xét tổng hợp các chỉ tiêu kỹ thuật, mẫu CE60 được xem là cấp phối có các tính chất cân bằng hơn, vì khối lượng thể tích đã giảm đáng kể nhưng vẫn duy trì cường độ chịu nén sau nung và khả năng bám dính vẫn tốt.

3.3 Ảnh hưởng của tỷ lệ sử dụng sợi gốm đến tính chất của vữa chống cháy-cách nhiệt

a. Thành phần cấp phối của vữa sử dụng sợi gốm

Trên cơ sở cấp phối vữa CE60 được phân tích lựa chọn ở trên, hàm lượng sợi gốm được xác định với tỷ lệ $V_{\text{sợi gốm}}/V_{\text{vữa}}=0,25\%$ và $0,5\%$; và PGSD/CKD được điều chỉnh đảm bảo độ lưu động của vữa trong khoảng 155-205mm để nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến các tính chất của vữa. Kết quả tính toán cấp phối được thể hiện trong Bảng 12 và các tính chất của vữa được trình bày trong Bảng 13.

Bảng 12. Thành phần của cấp phối vữa với các tỷ lệ sử dụng sợi gốm

Kí hiệu mẫu	Thành phần CKD (%)				CE/ vữa (%)	PGSD/ CKD (%)	CF/ Vữa (%)	Nước/ CKD
	AC	PC	Sa mịn	Tro bay				
CE60	28	42	24	6	60	0,5	0	0,5
CE60-CF-1-0,25%	28	42	24	6	60	0,5	0,25	0,5
CE60-CF-1-0,5%	28	42	24	6	60	1,0	0,5	0,5

Bảng 13. Tính chất của mẫu vữa với các tỷ lệ sử dụng sợi gốm

Ký hiệu mẫu	Độ lưu động (mm)	KLTT sau khi sấy (g/cm ³)	KLTT sau khi nung (g/cm ³)	Độ co thể tích khi nung (%)	Độ co dài khi nung (%)	Cường độ chịu nén sau sấy (MPa)	Cường độ chịu nén sau nung (MPa)	Cường độ bám dính trên nền thép (MPa)	Cường độ bám dính trên nền bê tông (MPa)
CE60	198	1,013	0,977	6,18	2,10	5,61	8,30	0,11	0,17
CE60-CF-0,25%	160	1,081	1,005	5,16	1,75	7,84	8,45	0,13	0,18
CE60-CF-0,5%	155	1,094	1,039	4,96	1,68	9,07	10,09	0,14	0,19

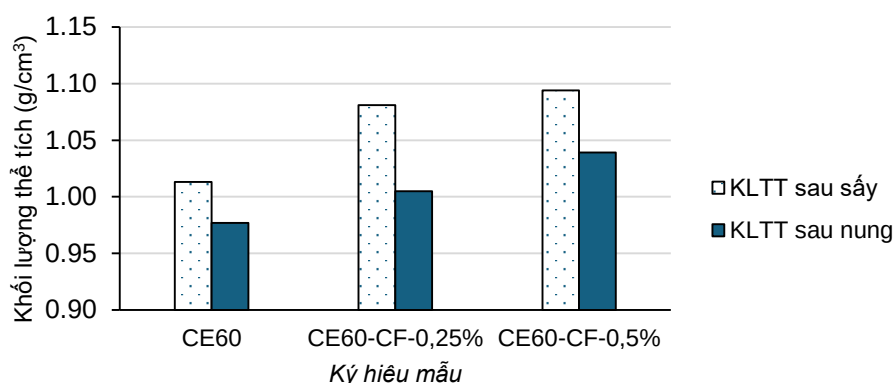
b. Ảnh hưởng của tỷ lệ sử dụng sợi gốm đến độ lưu động của hỗn hợp vữa

Bảng 13 cho thấy việc bổ sung sợi gốm làm giảm rõ rệt độ lưu động của vữa. Độ lưu động của mẫu đối chứng CE60 là 198 mm, giảm xuống 160 mm khi bổ sung 0,25% sợi gốm và tiếp tục giảm xuống 155 mm khi hàm lượng sợi tăng lên 0,5%. Như vậy, so với mẫu không sử dụng sợi gốm, độ lưu động giảm tương ứng 19,2% và 21,7%. Nguyên nhân là do sợi gốm có tỷ lệ diện tích bề mặt riêng lớn, làm tăng khả năng giữ nước, lực ma sát nội và tạo mạng lưới cản trở sự chuyển động của các thành phần trong hỗn hợp vữa. Tuy nhiên, mức độ suy giảm độ lưu động không tỷ lệ thuận với hàm lượng sợi; phần lớn sự suy giảm xảy ra khi bổ sung 0,25% sợi gốm, trong khi việc tăng hàm lượng từ 0,25 lên 0,5% chỉ làm độ lưu động giảm thêm 5 mm. Bên cạnh đó, cần lưu ý có

chế độ trộn phù hợp để hạn chế hiện tượng tạo búi của sợi gốm.

c. Ảnh hưởng của tỷ lệ sử dụng sợi gốm đến khối lượng thể tích sau sấy và sau nung của vữa

Hình 6 thể hiện kết quả xác định KLTT của mẫu vữa sau khi sấy và khi nung. Kết quả thí nghiệm cho thấy việc bổ sung sợi gốm làm tăng KLTT của vữa. Khối lượng thể tích sau sấy tăng từ 1,013 g/cm³ đối với mẫu CE60 lên 1,081 và 1,094 g/cm³ tương ứng với hàm lượng sợi gốm 0,25% và 0,5%. Sau khi nung ở 1000°C, khối lượng thể tích của các mẫu tương ứng đạt 1,005 và 1,039 g/cm³, cao hơn mẫu đối chứng CE60 là 0,977 g/cm³. KLTT của các mẫu sử dụng sợi gốm có xu hướng tăng nhẹ so với mẫu đối chứng do khối lượng riêng của sợi CF khoảng $\rho \approx 2,6$ g/cm³. Mức tăng KLTT này cho thấy hàm lượng sợi trong khoảng khảo sát không làm thay đổi đáng kể đặc tính nhẹ của vữa.



Hình 6. Ảnh hưởng của sợi gốm đến KLTT của vữa sau khi sấy và nung

d. Ảnh hưởng của tỷ lệ sử dụng sợi gốm đến độ co ngót của mẫu vữa

Các số liệu ở Bảng 13 cho thấy việc bổ sung sợi gốm đã làm giảm đáng kể độ co ngót của vữa chống cháy - cách nhiệt sau khi nung ở 1000°C. Độ co thể tích giảm từ 6,18% đối với mẫu CE60 xuống 5,16% và 4,96% tương ứng với hàm lượng sợi gốm 0,25% và 0,5%; trong khi độ co dài giảm từ 2,10% xuống lần lượt 1,75% và 1,68%. Như vậy, so với mẫu không sử dụng sợi gốm, hàm lượng sợi 0,5% làm giảm khoảng 20% cả độ co thể tích và độ co dài. Sự giảm co ngót có thể được giải thích bởi sợi gốm tạo thành mạng lưới gia cường phân tán trong nền vữa, có tác dụng hạn chế sự chuyển vị của các pha vật liệu, cản trở sự co ngót tự do của nền chất kết dính và hạn chế sự phát triển của vi khe nứt trong quá trình nung. Khi tăng hàm lượng sợi từ 0,25 lên 0,5%, độ co ngót tiếp tục giảm nhưng mức độ giảm không lớn, cho thấy

hiệu quả hạn chế co ngót của sợi không hoàn toàn tuyến tính theo hàm lượng. Kết quả cho thấy hàm lượng sợi gốm 0,5% có hiệu quả tốt hơn trong việc nâng cao độ ổn định kích thước của vữa khi chịu tác động của nhiệt độ cao.

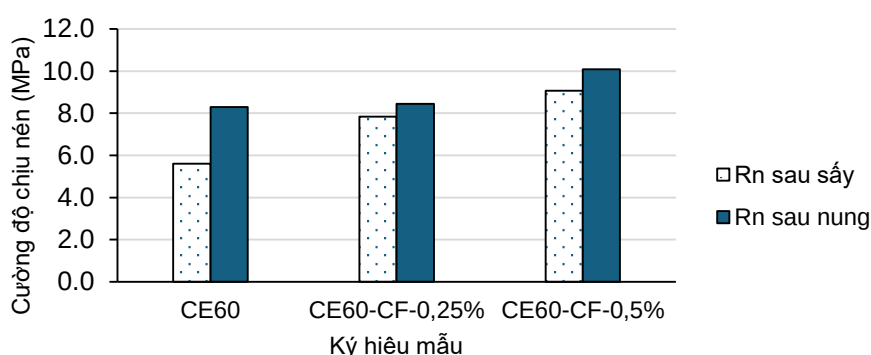
e. Ảnh hưởng của tỷ lệ sử dụng sợi gốm đến cường độ chịu nén của mẫu vữa

Hình 7 thể hiện kết quả xác định cường độ chịu nén của mẫu vữa sau khi nung. Bảng 14 thể hiện kết quả so sánh cường độ chịu nén của mẫu vữa sau khi sấy và sau khi nung.

Kết quả thí nghiệm cho thấy việc bổ sung sợi gốm làm tăng đáng kể cường độ chịu nén của vữa ở trạng thái sau sấy. So với mẫu CE60 có cường độ 5,61 MPa, cường độ của các mẫu sử dụng 0,25% và 0,5% sợi gốm lần lượt đạt 7,84 và 9,07 MPa, tương ứng tăng khoảng 39,7% và 61,7%. Sau khi nung ở 1000°C,

cường độ chịu nén của các mẫu lần lượt đạt 8,30; 8,45 và 10,09 MPa. Như vậy, mẫu sử dụng 0,5% sợi gốm có cường độ sau nung cao nhất, tăng khoảng 21,6% so với mẫu không sử dụng sợi. Mức tăng cường độ từ trạng thái sau sấy đến sau nung của mẫu CE60 đạt 48,0%, cao hơn đáng kể so với các mẫu có sợi gốm, lần lượt là 7,8% và 11,2%. Tuy nhiên, sự khác biệt về tỷ lệ tăng này chủ yếu liên quan đến sự khác nhau về cường độ ban đầu của các mẫu. Mẫu không sử dụng sợi có cường độ sau sấy thấp hơn nên có mức tăng

tương đối lớn hơn khi xảy ra các quá trình biến đổi pha và thiêu kết ở nhiệt độ cao. Ngược lại, sợi gốm đã góp phần nâng cao cường độ của vữa ngay ở trạng thái sau sấy, đồng thời hạn chế sự phát triển của vi khe nứt và sự co ngót trong quá trình nung. Đặc biệt, mẫu chứa 0,5% sợi gốm có độ co ngót thấp nhất và cường độ chịu nén sau nung cao nhất, cho thấy hàm lượng sợi này có hiệu quả tốt hơn trong việc gia cường và nâng cao độ ổn định của vữa khi chịu tác động của nhiệt độ cao.



Hình 7. Ảnh hưởng của sợi gốm đến cường độ chịu nén của vữa sau khi sấy và nung

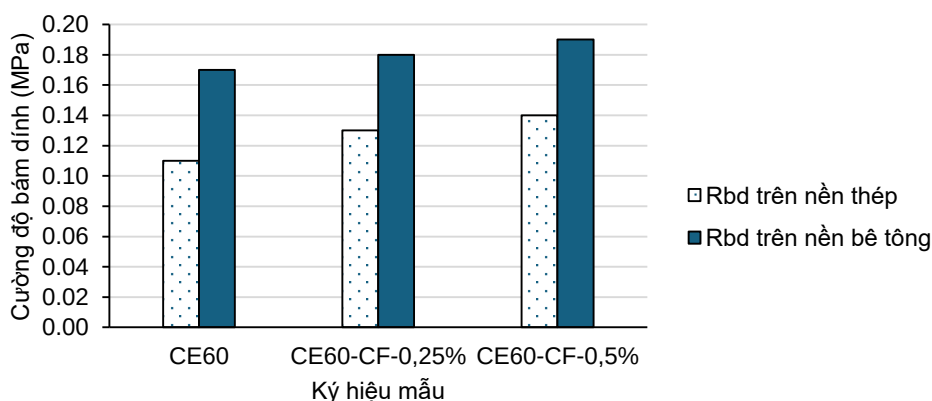
Bảng 14. So sánh cường độ chịu nén trước và sau khi nung

Kí hiệu	Cường độ chịu nén (MPa)		Tỷ lệ tăng cường độ chịu nén (%)
	Sau sấy 105°C	Sau nung 1000°C	
CE60	5,61	8,30	48,0%
CE60-CF-0,25%	7,84	8,45	7,8%
CE60-CF-0,5%	9,07	10,09	11,2%

f. Ảnh hưởng của tỷ lệ sử dụng sợi gốm đến cường độ bám dính của vữa

Hình 8 thể hiện sự so sánh cường độ bám dính của mẫu vữa trên nền thép. Kết quả cho thấy, sợi phân tán cải thiện đáng kể khả năng cường độ bám dính của vữa trên cả nền thép và nền bê tông. Cường độ bám dính trên nền thép tăng từ 0,11 MPa đối với mẫu CE60 lên 0,13MPa và 0,14 MPa tương ứng với

hàm lượng sợi gốm 0,25% và 0,5%, tương ứng mức tăng 18,2% và 27,3%. Trên nền bê tông, cường độ bám dính tăng từ 0,17 MPa lên 0,18 MPa và 0,19 MPa, tương ứng mức tăng 5,9% và 11,8%. Điều này có thể lý giải do sợi làm tăng khả năng khống chế nứt tại vùng tiếp giáp, cải thiện ổn định cấu trúc vữa khi đóng rắn và tăng khả năng chịu biến dạng do co ngót ở trạng thái hỗn hợp cũng như co ngót, hoặc do nhiệt.



Hình 8. Ảnh hưởng của sợi gốm đến cường độ bám dính của vữa trên nền thép và bê tông

Khi tăng hàm lượng sợi từ 0,25 lên 0,5%, cường độ bám dính tiếp tục tăng nhưng mức tăng không lớn, cho thấy ảnh hưởng của hàm lượng sợi đến cường độ bám dính có xu hướng giảm dần. Kết quả này phù hợp với sự giảm độ co ngót của vữa khi tăng hàm lượng sợi, qua đó cho thấy sợi gốm không chỉ có tác dụng gia cường nền vữa mà còn góp phần nâng cao độ ổn định và khả năng

duy trì liên kết của lớp vữa với nền trong quá trình chịu tác động nhiệt.

3.4 Tính chất chống cháy-cách nhiệt của các cấp phối lựa chọn

Từ kết quả nghiên cứu, phân tích ở trên, nhóm tác giả lựa chọn hai cấp phối CE60, CE60-CF-0,5 được tiếp tục nghiên cứu xác định hệ số dẫn nhiệt và tính không cháy. Kết quả thí nghiệm được trình bày trong Bảng 15.

Bảng 15. Hệ số dẫn nhiệt và tính không cháy của mẫu vữa lựa chọn

Ký hiệu mẫu	Hệ số dẫn nhiệt (W/m.°C)	Tính không cháy			
		Chênh lệch khối lượng trước và sau đốt mẫu (%)		t _{max} - t _{min} (°C)	
		Kết quả	Yêu cầu	Kết quả	Yêu cầu
CE60	0,139	8,8	<50%	21	<50%
CE60-CF-0,5%	0,136	8,9		20	

Kết quả thí nghiệm cho thấy cả hai mẫu CE60 và CE60-CF-0,5% đều đáp ứng các yêu cầu về tính không cháy theo các chỉ tiêu đánh giá. Chênh lệch khối lượng trước và sau khi đốt của các mẫu lần lượt là 8,8 và 8,9%, thấp hơn đáng kể so với giới hạn 50%; trong khi chênh lệch nhiệt độ cực đại giữa các đầu đo lần lượt là 21 và 20°C, cũng thấp hơn giới hạn 50°C. Kết quả cho thấy việc bổ sung 0,5% sợi gốm không làm ảnh hưởng đáng kể đến tính không cháy của vữa. Hệ số dẫn nhiệt của mẫu CE60-CF-0,5% đạt 0,136 W/(m·°C), chỉ thấp hơn khoảng 2,2% so với mẫu CE60 có giá trị 0,139 W/(m·°C). Sự thay đổi nhỏ này cho thấy việc bổ sung sợi gốm với hàm lượng 0,5% hầu như không làm thay đổi đáng kể khả năng cách nhiệt của vữa. Như vậy, xét đồng thời các chỉ tiêu về tính không cháy và hệ số dẫn nhiệt, việc bổ sung sợi gốm 0,5% vẫn đảm bảo khả năng chống cháy – cách nhiệt của vật liệu, đồng thời có thể góp phần cải thiện một số tính chất cơ học và độ ổn định kích thước của vữa.

4. Kết luận

Trên cơ sở nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng cenosphere và sợi gốm đến các tính chất của vữa chống cháy – cách nhiệt, một số kết luận chính được rút ra như sau:

- Hàm lượng cenosphere ảnh hưởng rõ rệt đến khối lượng thể tích và các tính chất cơ lý của vữa. Trong phạm vi nghiên cứu, cấp phối CE60 tạo được sự cân bằng giữa đặc tính nhẹ, khả năng cách nhiệt và các tính chất cơ lý cần thiết, do đó được lựa chọn

làm cấp phối nền để nghiên cứu bổ sung sợi gốm và đánh giá tính năng chống cháy – cách nhiệt của vữa;

- Việc bổ sung sợi gốm làm giảm độ lưu động nhưng cải thiện đáng kể cường độ chịu nén, cường độ bám dính và khả năng hạn chế co ngót của vữa. Với hàm lượng 0,5% sợi gốm theo thể tích, cường độ chịu nén sau nung đạt 10,09 MPa, cường độ bám dính trên nền thép và bê tông lần lượt đạt 0,14MPa và 0,19 MPa, trong khi độ co thể tích giảm còn 4,96%;

- Các mẫu vữa có hệ số dẫn nhiệt thấp, đạt 0,136–0,139 W/(m·°C), đồng thời đáp ứng các yêu cầu đánh giá về tính không cháy. Việc bổ sung 0,5% sợi gốm không làm ảnh hưởng đáng kể đến khả năng chống cháy và cách nhiệt của vữa.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Sở Khoa học Công nghệ Hà Nội cho đề tài “Nghiên cứu chế tạo vật liệu phủ chống cháy – cách nhiệt sử dụng cenosphere để bảo vệ kết cấu thép cho các công trình xây dựng trên địa bàn thành phố Hà Nội”, mã số CT05/01-2024-3.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] X. Ma, J. Pan, J. Cai, Z. Zhang, and J. Han (2022). A review on cement-based materials used in steel structures as fireproof coating. Construction and Building Materials, 315: 125623.

[2] P. N. Balaguru (1998). Geopolymer for protective coating of transportation infrastructures, New Jersey. Dept. of Transportation

- [3] J. Temuujin, A. Minjigmaa, W. Rickard, M. Lee, I. Williams, and A. Van Riessen (2009). *Preparation of metakaolin based geopolymer coatings on metal substrates as thermal barriers*. Applied clay science, 46: 265-270.
- [4] Z. Zhang, X. Yao, and H. Zhu (2010). *Potential application of geopolymers as protection coatings for marine concrete: II. Microstructure and anticorrosion mechanism*. Applied clay science, 49: 7-12.
- [5] M. I. Khan, K. Azizli, S. Sufian, and Z. Man (2015). *Sodium silicate-free geopolymers as coating materials: Effects of Na/Al and water/solid ratios on adhesion strength*. Ceramics International, 41:2794-2805.
- [6] F. Koksall, K. Coşar, M. Dener, A. Benli, and O. Gencel (2023). *Insulating and fire-resistance performance of calcium aluminate cement based lightweight mortars*. Construction and Building Materials, 362: 129759.
- [7] S.-J. Lee, S.-H. Kim, and J.-P. Won (2017). *Strength and fire resistance of a high-strength nano-polymer modified cementitious composite*. Composite Structures, 173: 96-105.
- [8] Z. Cai, F. Liu, J. Yu, K. Yu, and L. Tian (2021). *Development of ultra-high ductility engineered cementitious composites as a novel and resilient fireproof coating*. Construction and Building Materials, 288: 123090.
- [9] X. Ming and M. Cao (2020). *Development of eco-efficient cementitious composites with high fire resistance and self-healing abilities-a review*. Resources, Conservation and Recycling, 162: 105017
- [10] P. Vyas, R. G. Chaudhuri, G. Gopalakrishnan, and M. Baladhandapani (2020). *Development of novel formulation for high performance fire retardant cementitious mortars*. Materials Today: Proceedings, 28: 1245-1253.
- [11] P. T. V. Nga (2010). *Nghiên cứu chế tạo sơn vô cơ chống ăn mòn cho kết cấu thép và kim loại*, Mã số: RD 38-09. Viện Vật liệu Xây dựng.
- [12] Đ. V. Phú (1983). *Nghiên cứu sơn silicat trang trí công trình xây dựng và sơn silicat chịu nhiệt*. Luận án tiến sĩ, Đại học Tổng hợp Hà Nội.
- [13] L. T. Vinh (2015). *Công nghệ sản xuất sơn vô cơ chịu nhiệt/sản phẩm sơn vô cơ chịu nhiệt - BKV*, tại Chợ Công nghệ và Thiết bị quốc tế Việt Nam.
- [14] D. N. Phụng (2018). *Nghiên cứu sơn cách nhiệt từ silica aerogel*. Phòng nghiên cứu Vật liệu mới, Phân viện Vật liệu xây dựng miền Nam.
- [15] N. T. Anh (2011). *Nghiên cứu sản xuất tấm vật liệu nhẹ chống cháy*. Bộ Công thương.
- [16] L.H. Sơn , T. T. M. Hải, N.T. Kim (2021). *Vữa phủ chống cháy siêu nhẹ cho kết cấu thép*. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng - Bộ Xây dựng, 11(01): 10-17.
- [17] M.-R. Wang, D.-C. Jia, P.-G. He, and Y. Zhou (2011). *Microstructural and mechanical characterization of fly ash cenosphere/metakaolin-based geopolymeric composites*. Ceramics International, 37: 1661-1666.
- [18] A. Chávez-Valdez, A. Arizmendi-Morquecho, G. Vargas, J. M. Almanza, and J. Alvarez-Quintana (2011). *Ultra-low thermal conductivity thermal barrier coatings from recycled fly-ash cenospheres*. Acta Materialia, 59: 2556-2562.