

Tính chất của chất kết dính sử dụng phụ gia tro bay và ngói đất sét nung ở nhiệt độ cao

Đỗ Thị Phương^{1*}, Vũ Minh Đức²

¹Khoa Xây dựng Cầu đường, trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng

² Khoa Vật liệu xây dựng, trường Đại học Xây dựng

TỪ KHOÁ

Xi măng poóc-lăng
Tro bay
Ngói đất sét nung
Cường độ nén
Nhiệt độ cao

TÓM TẮT

Bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ cao đến một số tính chất cơ lý của chất kết dính từ xi măng poóc-lăng (OPC) và tro bay (FA), ngói vỡ đất sét nung (BN). OPC được thay thế bởi 10 % BN và 10, 20, 30, 40 % FA (theo khối lượng). Sau khi chế tạo và bảo dưỡng, mẫu được sấy ở 100 °C trong 24 giờ, đốt nóng ở 200, 400, 600, 800 và 1000 °C với thời gian hằng nhiệt 2 giờ, rồi làm lạnh đến nhiệt độ phòng. Các chỉ tiêu như khối lượng thể tích, độ co ngót và cường độ nén được xác định ở các cấp nhiệt độ. Kết quả cho thấy mẫu FA20BN10 (70 % OPC + 20 % FA + 10 % BN) cho cường độ nén cao nhất, gấp khoảng 2 lần so với mẫu OPC, khối lượng thể tích giảm 9 % và độ co ngót 1,26 % ở khoảng 800 °C.

KEYWORDS

Portland cement
Fly ash
Clay tiles
Compressive strength
High temperature

ABSTRACT

This paper aimed to investigate the effect of high temperature on properties of binder containing Ordinary Portland cement (OPC) and fly ash (FA), waste clay tiles (BN). OPC has been partially replaced by 10 % BN and 10, 20, 30, 40 wt.% FA. After molding and curing, the hardened cement pastes were dried at 100 °C for 24 hours, subjected to thermal treatment for 2 hours at 200, 400, 600, 800 and 1000 °C, then cooled to room temperature in the furnace switched off. Their bulk density, shrinkage and compressive strength were determined at each firing temperature. It was concluded that the sample FA40BN10 (70 % OPC + 20 % FA + 10 % BN) is the optimum mix which gives a higher compressive strength, about 2 times that of the OPC, the loss in bulk density of 9% and the shrinkage of 1.26 % at 800 °C.

1. Giới thiệu

Dưới ảnh hưởng của nhiệt độ cao, xi măng poóc-lăng (OPC) trải qua các biến đổi vật lý và các phản ứng hóa học gây ra phá vỡ cấu trúc gel. Sự thay đổi này có thể dẫn tới mất khả năng chịu tải của kết cấu, giảm độ bền, tăng co ngót và nứt vỡ. Trong suốt quá trình gia nhiệt, các hiện tượng như bay hơi nước, sự chuyển hóa của canxi silicat hydrat (C-S-H), sự khử nước của canxi hydroxyt (CH) và ettringit, phân hủy CaCO₃ ảnh hưởng lớn đến cấu trúc của đá xi măng [1, 2]. Sự thủy hóa lần hai của CaO tự do sẽ gây nở thể tích, phá hủy cấu trúc đá xi măng [3].

Việc bổ sung các phụ gia khoáng thay thế một phần OPC là một phương pháp hiệu quả để cải thiện tính chất của nó ở nhiệt độ cao thông qua phản ứng giữa thành phần hoạt tính của phụ gia và CH, CaO với hiệu ứng lấp đầy. Ngoài ra, một số phụ gia giảm co ngót cho đá xi măng khi đốt nóng cũng được đưa vào nghiên cứu. Các phụ gia khoáng có khả năng chịu nhiệt cao như sa môt, cao alumin, mulit, crommit, forterit thường được sử dụng. Một số phụ gia puzolan như silica fume (SF), xi lò cao (GGBS), FA cũng được nghiên cứu trong những năm gần đây. Tác giả M. Saad [4] nghiên cứu về ảnh hưởng của nhiệt độ đến tính chất cơ lý của bê tông sử dụng SF. Kết quả cho

thấy 10 % SF thay thế OPC sẽ cải thiện cường độ nén, còn lại 64,6 % ở 600 °C so với ở nhiệt độ thường. GGBS sẽ cải thiện tính chất cơ lý của chất kết dính ở nhiệt độ trên 400 °C là kết luận của tác giả M. Mendes [5]. Tác giả X. Yigang cho rằng bê tông sử dụng FA có chất lượng tốt hơn mẫu bê tông sử dụng OPC ở nhiệt độ 650 °C [6]. H. Tanyildizi và các cộng sự đã nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ (200, 400 và 800 °C) đến tính chất cơ học của bê tông sử dụng FA và thấy mẫu có cường độ cao khi có hàm lượng FA là 30 % [7]. Tác giả S. Donatello nghiên cứu FA với hàm lượng lớn thay thế trong xi măng ít Canxi (có 20 % clanke) kết luận rằng ở trên 600 °C mẫu có giá trị cường độ uốn và nén đều cao hơn so với ở nhiệt độ thường, ở 800°C mẫu có giá trị cường độ nén cao nhất, đạt gần 200 % và ở 1000°C mẫu đạt cường độ uốn cao nhất, hơn 120 % so với ở nhiệt độ thường. Mẫu co ngót nhiều ở khoảng 600 đến 800 °C và đến 900 °C hầu như không đổi cho đến 1000 °C [8]. Khi nghiên cứu tính chất của đá chất kết dính làm việc đến 800 °C, M. Heikal cho rằng mẫu chứa 70 % OPC cùng 10 % GGBS, 10 % bột gạch đất sét nung và 10 % SF cho cường độ nén cao nhất ở 600 °C [9].

Ở Việt Nam, các công bố khoa học về phụ gia khoáng cải thiện tính chất của OPC không nhiều. Một số nghiên cứu chỉ ra sa môt có thể chế tạo chất kết dính làm việc ở khoảng 800 đến 1000 °C [10], có

*Liên hệ tác giả: dtphuong@dat.udn.vn

Nhận ngày 06/10/2021, sửa xong ngày 04/11/2021, chấp nhận đăng 15/12/2021

thể chế tạo vữa có khả năng chịu nhiệt, chống cháy [11, 12]. Trong khi đó, tro xỉ của các nhà máy nhiệt điện hiện nay chiếm trữ lượng khá lớn, ước tính lượng tro xỉ tồn chứa và thải ra hàng năm khoảng gần 18 triệu tấn gây ô nhiễm đất, nước và không khí, nhưng tái sử dụng được khoảng 30 % khối lượng [13]. Sử dụng nguồn phế thải này thay thế một phần xi măng chế tạo chất kết dính có khả năng làm việc ở nhiệt độ cao mang lại nhiều ý nghĩa. Một số nghiên cứu đề cập đến loại phụ gia khoáng này cho xi măng cho thấy FA với hàm lượng 25 đến 30 % có thể cho chất kết dính làm việc đến 800 °C và 45 % đến 50 % có thể làm việc đến 1000 °C [14-16]. FA có thể chế tạo vữa cách nhiệt, chống cháy dùng cho công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp là nghiên cứu của tác giả Thái Duy Tuấn [17]. Ngoài ra, phụ gia khoáng từ gạch đất sét nung với tỷ lệ khác nhau 20 đến 45 % làm tăng tính chất cơ lý của chất kết dính từ OPC, có thể chế tạo vữa chịu nhiệt ở 800 đến 1000 °C [18]. Tuy nhiên, chưa có một công bố nào thể hiện khả năng cải thiện tính chất cơ lý của OPC bằng hỗn hợp

phụ gia khoáng FA và bột ngói đất sét nung (BN). Bài báo nghiên cứu hiệu quả của việc sử dụng phụ gia khoáng hỗn hợp từ FA và BN trong việc cải thiện một số tính chất cơ lý của OPC trong quá trình xử lý nhiệt độ lên đến 1000 °C.

2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1. Vật liệu thí nghiệm

Xi măng PC40 Sông Gianh (PC), tro bay nhà máy nhiệt điện Vĩnh Tân 2 (FA), bột ngói vỡ đất sét nung (BN) là các vật liệu chất kết dính được sử dụng trong nghiên cứu. Thành phần hóa của các vật liệu được đưa ra ở Bảng 1. Xi măng có các tính chất cơ lý thể hiện trong Bảng 2, thỏa mãn TCVN 2682:2009. FA trong nghiên cứu thuộc loại F phù hợp làm phụ gia khoáng cho vữa và bê tông, có một số tính chất thể hiện ở Bảng 3.

Bảng 1. Thành phần hóa của các vật liệu.

STT	Vật liệu	Hàm lượng các loại ôxyt, %								
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MKN
1	PC	21,09	6,53	3,43	64,21	0,85	0,15	2,91	-	0,83
2	FA	55,20	20,97	6,27	0,95	1,54	0,13	3,39	0,54	11,0
3	BN	63,03	18,72	11,03	1,80	1,34	0,99	0,89	1,13	1,07

trong đó: MKN là hàm lượng mất khi nung.

Bảng 2. Tính chất của xi măng.

STT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Phương pháp thử	Kết quả	
1	Cường độ uốn	3 ngày	MPa	TCVN 6016:2011	5,9
		28 ngày			7,5
2	Cường độ nén	3 ngày	MPa	TCVN 6016:2011	32,4
		28 ngày			51,9
3	Lượng nước tiêu chuẩn	%	TCVN 6017:2015	32,0	
4	Thời gian đông kết	Bắt đầu	phút	TCVN 6017:2015	110
		Kết thúc			150
5	Độ ổn định thể tích	mm	TCVN 6017:2015	0,2	
6	Độ mịn (sốt sàng 0,09 mm)	%	TCVN 4030:2003	0,97	
7	Khối lượng riêng	g/cm ³	TCVN 4030:2003	3,11	
8	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	TCVN 7572-6:2006	973,2	

Bảng 3. Tính chất của phụ gia khoáng.

STT	Tính chất cơ lý	Đơn vị	Phương pháp thử	FA	BN
1	Chỉ số hoạt tính cường độ	%	TCVN 10302:2014	89,8	-
2	Độ ẩm	%	TCVN 7572-7:2006	0,4	0,1
3	Khối lượng riêng	g/cm ³	TCVN 4030:2003	2,29	2,68
4	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	TCVN 4030:2003	982,1	981,4

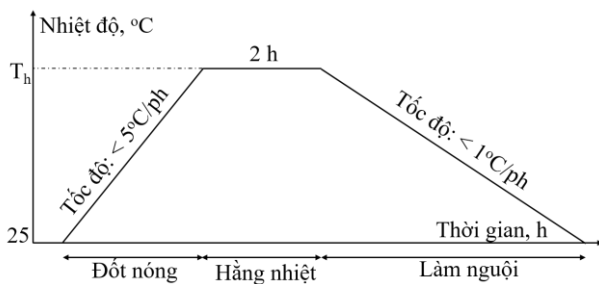
2.2. Phương pháp thí nghiệm

Các mẫu chất kết dính được chuẩn bị từ PC, FA, BN và nước theo các tỷ lệ như ở Bảng 4. Nước nhào trộn là nước tiêu chuẩn của hỗn hợp chất kết dính (N_{tc}) được xác định theo TCVN 6017:2015. FA và BN là những hạt mịn có cỡ nhỏ hơn 0,09 mm.

Sau khi định lượng hỗn hợp chất kết dính, tiến hành nhào trộn và đúc mẫu trong khuôn $20 \times 20 \times 20$ mm. Bảo dưỡng mẫu bằng cách để khuôn mẫu trong điều kiện 27 ± 2 °C, độ ẩm không nhỏ hơn 95 %

Bảng 4. Thành phần hỗn hợp chất kết dính, %.

Mẫu	OPC	FA	BN	N_{tc}
OPC	100	0		0
FA10BN10	80	10	10	30,5
FA20BN10	70	20	10	30,3
FA30BN10	60	30	10	30,0
FA40BN10	50	40	10	29,5



Hình 1. Biểu đồ đường gia công nhiệt.

Khối lượng thể tích của mẫu được xác định theo phương pháp cân đo bình thường, theo công thức (1). Trong đó, G là khối lượng của mẫu ở các cấp nhiệt độ (g); V là thể tích của mẫu ở các cấp nhiệt độ (cm^3). Sự suy giảm khối lượng thể tích (γ_o giảm, %) được tính theo công thức (2). Trong đó, γ_o^t là khối lượng thể tích của mẫu ở các cấp nhiệt độ, γ_o^{100} là khối lượng thể tích của mẫu ở 100 °C.

$$\gamma_o = \frac{G}{V}, \text{ kg/m}^3 \tag{1}$$

$$\gamma_o \text{ giảm} = \left(1 - \frac{\gamma_o^t}{\gamma_o^{100}}\right) \cdot 100, \% \tag{2}$$

Để xác định giá trị độ co ngót của các mẫu chất kết dính ở các cấp nhiệt độ, 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 (3). Trong đó, V_o là thể tích của mẫu ở 25 °C là nhiệt độ phòng sau dưỡng hộ (cm^3); V_1 là thể tích của mẫu sau khi gia nhiệt sấy hoặc nung (cm^3). Độ co dài của mẫu (C_b , %) được tính toán theo C_v , thể hiện trong công thức (4).

$$C_v = \frac{V_o - V_1}{V_o} \cdot 100, \% \tag{3}$$

trong 20 h rồi tháo mẫu và đem chưng hấp (nhiệt độ 100 °C với thời gian 4 h kể từ khi sôi). Tiếp theo, mẫu được sấy ở 100 °C trong 24h và được đưa vào lò điện nung ở 200, 400, 600, 800, 1000 °C với tốc độ nâng nhiệt không quá 5 °C/ph, thời gian hằng nhiệt là 2 h. Đường gia công nhiệt mẫu thể hiện ở Hình 1.

Sau khi mẫu được làm nguội đến nhiệt độ phòng với tốc độ không lớn hơn 1 °C/ph, các chỉ tiêu như khối lượng thể tích, độ co ngót và cường độ nén được xác định.

$$C_l = \left[1 - \left(1 - \frac{C_v}{100}\right)^{1/3}\right] \cdot 100, \% \tag{4}$$

Giá trị cường độ nén (R_{ch} , Mpa) được xác định sau khi mẫu được đốt nóng và làm nguội đến nhiệt độ phòng, tính theo công thức (5). Trong đó: P là tải trọng nén (kN), F là diện tích chịu nén (cm^2). Sự suy giảm cường độ nén (R_n giảm, %) được tính theo công thức (6). Trong đó, R_n^t là cường độ nén của mẫu ở các cấp nhiệt độ, R_n^{100} là cường độ nén của mẫu ở 100 °C.

$$R_{ch} = \frac{P}{F} \tag{5}$$

$$R_n \text{ giảm} = \left(1 - \frac{R_n^t}{R_n^{100}}\right) \cdot 100, \% \tag{6}$$

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Khối lượng thể tích

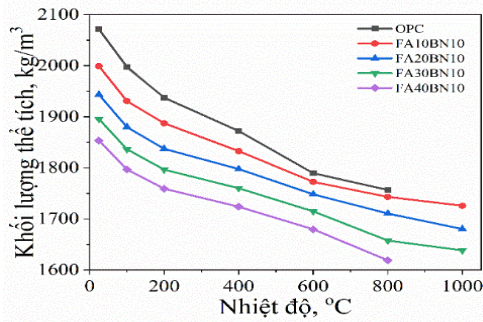
Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của lượng phụ gia khoáng đến khối lượng thể tích của đá chất kết dính ở các cấp nhiệt độ thể hiện trong Hình 2 và Hình 3.

Các mẫu chất kết dính sử dụng phụ gia khoáng có khối lượng thể tích từ 25 đến 1000 °C đạt khoảng 1999,0 đến 1618,9 kg/m^3 và giảm theo chiều tăng nhiệt độ.

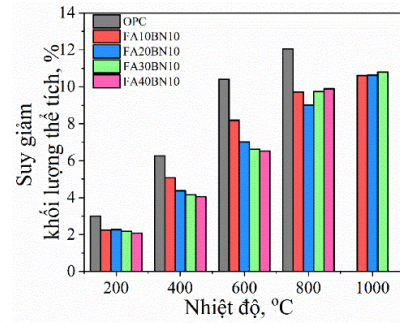
Khi nhiệt độ tăng đến 200 °C, nước mao quản và gel bay hơi làm khối lượng thể tích giảm 3,0 % so với giá trị ở 100 °C (mẫu đối chứng OPC), với các mẫu sử dụng phụ gia khoáng thì giá trị khối lượng thể tích giảm từ 2,1 % đến 2,3 %. Từ 200 đến 400 °C, xảy ra mất nước chủ yếu gel C-S-H, ettringit, phân hủy $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ và có sự mất nước hóa học [1] làm giá trị khối lượng thể tích giảm mạnh 6,3 % với mẫu OPC, từ 4,1 đến 5,1 % với các mẫu chứa phụ gia khoáng.

*Liên hệ tác giả: dtphuong@dut.udn.vn

Nhận ngày 06/10/2021, sửa xong ngày 04/11/2021, chấp nhận đăng 15/12/2021



Hình 2. Khối lượng thể tích của mẫu ở các cấp nhiệt độ.



Hình 3. Sự suy giảm khối lượng thể tích của mẫu ở các cấp nhiệt độ so với ở 100 °C.

Từ 400 đến 600 °C xảy ra sự khử nước của CH [1] làm giá trị khối lượng thể tích giảm 10,4 % với mẫu OPC, từ 6,5 đến 8,2 % với các mẫu chứa phụ gia khoáng. Mẫu FA40BN10 có sự suy giảm khối lượng thể tích nhỏ nhất trong khoảng 100 đến 600 °C.

Từ 600 đến 800 °C, sự phân hủy CSH hình thành $\beta\text{C}_2\text{S}$, phân hủy CaCO_3 [1, 9] làm giá trị khối lượng thể tích tiếp tục giảm 12,1 % với mẫu OPC, từ 9,0 đến 9,9 % với các mẫu chứa phụ gia, trong đó mẫu FA20BN10 có sự suy giảm khối lượng thể tích nhỏ nhất.

Từ 800 đến 1000 °C, tiếp tục sự phân hủy của CaCO_3 , C-S-H [1, 2], mẫu OPC bị phá hủy hoàn toàn và các mẫu còn lại có khối lượng thể tích giảm từ 10,6 đến 10,8 %.

Cùng cấp nhiệt độ, mẫu OPC có giá trị khối lượng thể tích lớn hơn so với mẫu chứa phụ gia khoáng do khối lượng riêng của các phụ gia đưa vào nhỏ hơn nhưng chúng có sự suy giảm khối lượng thể tích lớn nhất, điều đó cho thấy sự ảnh hưởng của quá trình mất nước và phân hủy các sản phẩm của đá xi măng. Sự bổ sung các loại phụ gia khoáng trong xi măng đã hạn chế sự suy giảm khối lượng thể tích ở nhiệt độ cao.

3.2. Độ co

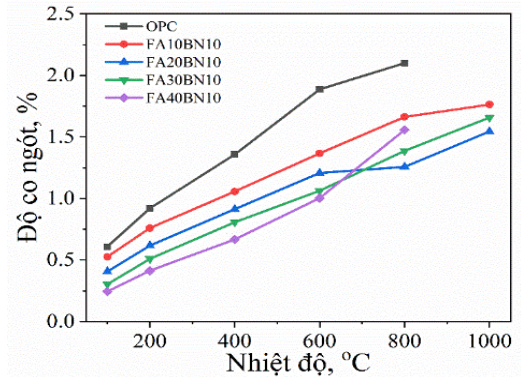
Kết quả cho thấy, các mẫu chất kết dính sử dụng phụ gia khoáng có độ co dài từ 100 đến 1000 °C đạt khoảng 0,2 đến 1,8 % và tăng theo chiều tăng nhiệt độ. Sự mất nước đặc biệt là nước tự do bay hơi làm mất cân bằng và tăng lực mao dẫn, từ đó lỗ rỗng mao quản thu hẹp, làm kích thước mẫu giảm. Mẫu OPC có độ co lớn nhất là 0,9 %, các mẫu chất kết dính sử dụng phụ gia khoáng thì độ co tăng từ 0,41 đến 0,76 %.

Từ 200 đến 400 °C xảy ra mất nước chủ yếu gel C-S-H, ettringit, phân hủy $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ và phần lớn nước liên kết mất ở trên 250 °C làm khối lượng mẫu giảm mạnh [1]. Sự mất nước trong các gel làm thể tích mẫu co rút nhiều, độ co ngót của mẫu tiếp tục tăng lên. Mẫu OPC có độ co lớn nhất là 1,36 %, các mẫu chất kết dính sử dụng phụ gia khoáng thì độ co tăng từ 0,67 đến 1,06 %.

Từ 400 đến 600°C xảy ra sự khử nước của CH tạo ra CaO có thể tích nhỏ hơn làm độ co ngót tăng lên 1,89 % với mẫu OPC, từ 1,00 đến 1,37 % với các mẫu sử dụng phụ gia khoáng. Điều này chứng tỏ mẫu đá chất kết dính có các phụ gia khoáng thì hàm lượng CH sẽ giảm.

Từ 600 đến 800 °C, sự phân hủy C-S-H hình thành $\beta\text{C}_2\text{S}$ và phân hủy CaCO_3 làm khối lượng mẫu tiếp tục giảm, độ co ngót tăng lên 2,10 % với mẫu PC, từ 1,26 đến 1,66 % với các mẫu chứa phụ gia khoáng.

Từ 800 đến 1000 °C có sự phân hủy của C-S-H, CaCO_3 , mẫu PC bị phá hủy hoàn



Hình 4. Ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia khoáng đến độ co ngót của đá chất kết dính ở các cấp nhiệt độ.

Cùng cấp nhiệt độ, mẫu OPC có độ co ngót lớn hơn so với mẫu chứa phụ gia. Như vậy, sự bổ sung các loại phụ gia khoáng mịn trong chất kết dính đã giảm độ co ngót của mẫu chất kết dính ở nhiệt độ cao. Do sử dụng phụ gia khoáng thay thế OPC đã giảm sự mất nước và sự phân hủy của các sản phẩm của OPC, là những nguyên nhân gây giảm khối lượng, giảm kích thước mẫu ở nhiệt độ cao, đặc biệt là giảm hàm lượng CH do kết hợp với các thành phần hoạt tính của FA. Mẫu có độ co ngót nhỏ nhất trong khoảng 100 đến 600 °C là FA40BN10 và trong khoảng 800 đến 1000 °C là FA20BN10.

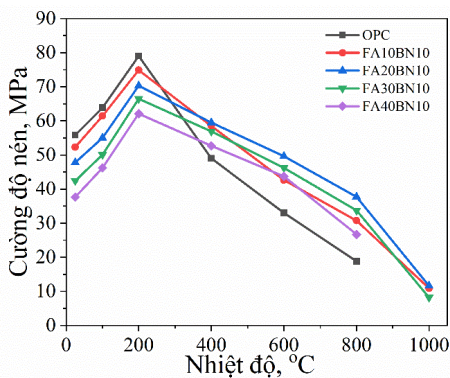
3.3. Cường độ nén

Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đến cường độ nén của các mẫu chất kết dính thể hiện trong Hình 5 và Hình 6. Ở 25 °C, hàm lượng phụ gia khoáng thay thế xi măng càng lớn thì cường độ nén của mẫu giảm so với mẫu đối chứng OPC. Nhiệt độ tăng đến 100 đến 200 °C thì cường độ của mẫu tăng dần. Lúc này, nước tự do tách ra thúc đẩy quá trình thủy hóa của OPC làm tăng cường độ

(quá trình “tự chưng hấp”), lúc này giá trị cường độ nén ở 200 °C tăng 23,7 % so với giá trị cường độ nén ở 100 °C (mẫu OPC), với các mẫu chất kết dính sử dụng phụ gia khoáng thì giá trị cường độ tăng 21,9 đến 34,3 %.

Từ 200 đến 400 °C, mẫu OPC có sự suy giảm cường độ mạnh là 23,3 % do sự tách nước vật lý và nước hóa học. Mẫu FA10BN10 có cường độ tăng 4,8 % trong khi các mẫu còn lại suy giảm 8,1 đến 14,0 %. Sự tăng cường độ trong giai đoạn này là trong mẫu này có các khoáng mới sinh ra do phản ứng giữa các thành phần hoạt tính của FA và CH có trong đá xi măng. Theo tác giả K.M. Nasser và các cộng sự [19], lúc này các khoáng tobermorit sinh ra, có độ vững chắc hơn C-S-H gấp 2 đến 3 lần.

Từ 400 đến 600 °C, cường độ nén của các mẫu tiếp tục suy giảm. Mẫu OPC giảm 48,4 %, các mẫu chứa phụ gia khoáng giảm từ 5,5 đến 30,6 % trong đó mẫu FA40BN10 có sự suy giảm nhỏ nhất. Trong giai đoạn này, sự phân hủy CH thành CaO tự do và xảy ra phản ứng khi gặp hơi ẩm trong không khí là nguyên nhân gây ra các vết nứt tế vi, làm tăng thể tích mẫu, làm cường độ mẫu giảm mạnh.



Hình 5. Cường độ nén của mẫu ở các cấp nhiệt độ.

4. Kết luận

Một số kết luận từ kết quả nghiên cứu sau đây:

- Nhiệt độ tăng, tính chất của chất kết dính thay đổi tùy thuộc vào hàm lượng phụ gia khoáng.

- Sự thay đổi tính chất của chất kết dính liên quan đến sự biến đổi thành phần pha, sự bay hơi nước, khử nước và phân hủy các sản phẩm của đá chất kết dính ở nhiệt độ cao.

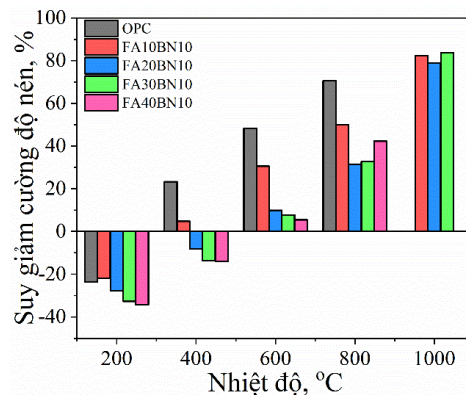
- FA và BN có thể cải thiện tính chất cơ lý của OPC ở nhiệt độ cao, thích hợp làm việc ở khoảng nhỏ hơn 1000 °C.

- Sự gia tăng cường độ nén của mẫu chất kết dính so với mẫu OPC có thể liên quan đến phản ứng giữa FA với thành phần CH, CaO có trong đá chất kết dính tạo ra chất mới, lèn chặt cấu trúc, hạn chế sự suy giảm khối lượng thể tích và co ngót.

- Ở khoảng 800 °C, mẫu FA20BN10 có cường độ nén cao nhất 37,7 MPa gấp khoảng 2 lần so với mẫu OPC, sự suy giảm khối lượng

Từ 600 đến 800 °C, sự phân hủy C-S-H hình thành β C₂S và phân hủy CaCO₃ làm giá trị khối lượng mẫu giảm và co ngót tăng, cường độ nén của mẫu OPC giảm 70,6 %, các mẫu chứa phụ gia khoáng giảm 31,5 đến 50 %. Mẫu FA20BN10 có cường độ nén 37,7 MPa và có sự suy giảm cường độ nén thấp nhất. Trong khi đó, tác giả Hamdy El-Didamony [20] cho rằng, mẫu chất kết dính chứa 5 % bột gạch và 15 % FA thì cho cường độ nén ở 800 °C cao hơn các tỷ lệ còn lại.

Tiếp tục tăng nhiệt độ đến 1000 °C, mẫu OPC và mẫu FA40BN10 bị phá hủy hoàn toàn. Mẫu FA20BN10 có cường độ nén cao nhất là 11,6 MPa, giảm 78,9 % so với giá trị ở 100 °C. FA chiếm hàm lượng lớn (40 %) có thể đã ảnh hưởng đến cấu trúc của đá chất kết dính ở nhiệt độ cao. Hàm lượng mất khi nung lớn có thể gây ra cấu trúc rỗng xốp làm suy giảm độ chịu lực. Ngoài ra, có thể do hàm lượng CaO dư trong tro bay lớn gây nở thể tích và sự tạo pha lỏng với hàm lượng Fe₂O₃ cao gây co ngót. Mẫu chất kết dính chứa phụ gia khoáng hỗn hợp FA và BN làm việc thích hợp ở khoảng nhiệt độ nhỏ hơn 1000 °C.



Hình 6. Sự suy giảm cường độ nén của mẫu ở các cấp nhiệt độ so với ở 100°C.

thể tích nhỏ nhất là 9 % so với giá trị ở 100 °C và độ co ngót nhỏ nhất là 1,26 %.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Hager, I. (2013). Behaviour of cement concrete at high temperature. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, 61(1), 145–154.
- [2]. Klieger P, Lamond J. (1994). Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials. *ASTM International*.
- [3]. Morsy, M. S., Al-Salloum, Y. A., Abbas, H., & Alsayed, S. H. (2012). Behavior of blended cement mortars containing nano-metakaolin at elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 35, 900–905.
- [4]. Saad M, Abo-El-Enein, S.A., Hanna, G.B., Kotkata, M.F. (1996). Effect of temperature on physical and mechanical properties of concrete containing silica fume. *Cem Concr Res*, 26(5), 669–675.
- [5]. Mendes, A., Saniayan, J., Collins, F. (2008). Phase transformations and mechanical strength of OPC/slag pastes submitted to high temperatures. *Materials Structural*, 41, 345–350.

- [6]. Yigang, X., Wong, Y.L., Poon, C-S. (2000). Damage to PFA concrete subject to high temperatures. *Proceedings of International Symposium on High Performance Concrete-Workability, Strength and Durability*, 1093–1100.
- [7]. Tanyildizi, H., Coskun, A. (2008). The effect of high temperature on compressive strength and splitting tensile strength of structural lightweight concrete containing fly ash. *Construction and Building Materials*, 22(11), 2269–2275.
- [8]. Donatello, A., Kuenzel, C., Palomo, A., Rernández-Jiménez, A. (2014). High temperature resistance of a very high volume fly ash cement paste. *Cement and Concrete Composites*, 45, 234–242.
- [9]. Heikal, M. (2008). Effect of elevated temperature on the physico-mechanical and microstructural properties of blended cement pastes. *Building Research Journal*, 56, 157–171.
- [10]. Đỗ Thị Phương, Nguyễn Văn Đồng. (2013). Sử dụng xi măng poóc lăng hỗn hợp chế tạo chất kết dính chịu nhiệt. *Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ, ĐHQĐHN*, 8 (69), 43–49.
- [11]. Lưu Hoàng Sơn, Trần Thị Minh Hải, Nguyễn Thị Kim. (2021). Vữa phủ chống cháy siêu nhẹ cho kết cấu thép. *Tạp Chí Vật Liệu và Xây Dựng*, 1, 10–17.
- [12]. Vũ Minh Đức. (2018). Nghiên cứu vữa chịu nhiệt (chống cháy) sử dụng cho các công trình xây dựng. *Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng (KHCNXD) - ĐHXD*, 2(1).
- [13]. Viện Vật liệu xây dựng. (2020). *Hội thảo chuyên đề “Tro xi nhiệt điện, xu hướng trong sản xuất vật liệu xây dựng nói chung và làm nguyên liệu sản xuất clanhke xi măng nói riêng.”* <http://vibm.vn/Details/id/2230/VIBM-Hoi-thao-Tro-xi-nhiet-dien-xu-huong-trong-san-xuat-vat-lieu-xay-dung#.YEs7rp0zZPY>
- [14]. Chu Thị Hải Ninh. (2018). *Nghiên cứu công nghệ chế tạo và thi công bê tông nhẹ chống cháy cho công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp* [Luận án Tiến sỹ kỹ thuật chuyên ngành Kỹ thuật xây dựng công trình dân dụng và công nghiệp]. Đại học Xây dựng.
- [15]. Do Thi Phuong, Huynh Phuong Nam, Vu Minh Duc. (2019). Improving properties of OPC at high temperature by fly ash. *Proceedings of the 3rd International Conference on Transportation Infrastructure and Sustainable Development, TISDIC 2019*, 528–534.
- [16]. Đỗ Thị Phương, Lê Văn Trí, Vũ Minh Đức, Nguyễn Nhân Hòa. (2018). Chất kết dính chịu nhiệt sử dụng tro bay. *Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ ĐHQĐHN*, 5 (126), 51–55.
- [17]. Thái Duy Tuấn. (2014). *Nghiên cứu công nghệ chế tạo vữa cách nhiệt chống cháy dùng cho các công trình xây dựng* (Đề Tài NCKH Cấp Bộ Xây Dựng mã số RD 45-12). <http://moc.gov.vn/vn/tin-tuc/1146/5688/ngkiem-thu-de-tai-nghien-cuu-cong-nghe-che-tao-vua-cach-nhiet-chong-chay-dung-cho-cac-cong-trinh-xay-dung.aspx>
- [18]. Nguyen, N.L. (2019). Heat resistant mortar using Portland cement and waste clay bricks. *CIGOS 2019, Innovation for Sustainable Infrastructure*, 54.
- [19]. Nasser, K.W., Marzouk, H.M. (1979). Properties of mass concrete containing fly ash at high temperatures. *ACI Journal*, 76(4), 537–550.
- [20]. El-Didamony, H., El-Rahman, E. A., & Osman, R. M. (2012). Fire resistance of fired clay bricks–fly ash composite cement pastes. *Ceramics International*, 38(1), 201–209.