

Nghiên cứu chế tạo gạch cao alumin cách nhiệt từ nguyên liệu cao nhôm và chất tạo bọt hữu cơ

Đào Quốc Hùng¹, Ninh Xuân Thắng¹, Nguyễn Minh Đạt¹, Ngô Tuấn Dũng^{1*}, Nguyễn Quý An¹, Lê Văn Long¹, Tạ Ngọc Dũng²

¹ Trung tâm Vật liệu hữu cơ & Hóa phẩm xây dựng

² Đại học Bách Khoa Hà Nội

TỪ KHOÁ

Gạch cao Alumin
Chất tạo bọt
Cách nhiệt
Xi măng cao alumin

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày nghiên cứu chế tạo gạch cao alumin cách nhiệt từ nguồn nguyên liệu cao nhôm như xi măng cao alumin, bột sa mốt, tro bay và chất tạo bọt hữu cơ theo quy trình chế tạo bê tông bọt. Nghiên cứu đã dựa trên một số mô hình tính toán để thiết kế cấp phối chế tạo bê tông bọt dựa trên yêu cầu về khối lượng thể tích bê tông bọt, khối lượng riêng của nguyên liệu và chất lượng của chất tạo bọt dùng để chế tạo gạch cách nhiệt. Nghiên cứu đã tiến hành khảo sát tỷ lệ xi măng cao nhôm tại 40 % và 60 % khối lượng và với tro bay tại 10 % và 20 % khối lượng. Hình ảnh cấu trúc bên trong của gạch cao alumin thông qua kính hiển vi điện tử quét (SEM) cũng cho thấy kích thước ổn định và phân bố đồng đều của bọt trong cấu trúc gạch. Gạch cách nhiệt chế tạo có các tính chất đáp ứng các yêu cầu của TCVN 7637:2007. Sản phẩm của nghiên cứu có thể được sử dụng như vật liệu cách nhiệt nhẹ trong các công trình công nghiệp chịu nhiệt.

KEYWORDS

High aluminum bricks
Foaming agents
Insulating
High aluminum cement

ABSTRACT

This study assesses a study on the manufacturing of high alumina insulating bricks from high aluminum materials such as high-alumina cement, chamotte powder, fly ash, and organic foam agents using a foam concrete production process. The research was based on several calculation models to design the mix for foam concrete, taking into account the required foam concrete density, the bulk density of the materials, and the quality of the foam agent used for manufacturing insulating bricks. The study was investigated the mix composition for high-alumina bricks with cement content ranging from 40% to 60% by weight and the incorporation of fly ash as a replacement at 10% and 20% by weight. Scanning Electron Microscopy (SEM) images were utilized to determine the distribution structure of the foam in the high-alumina bricks. The produced insulating bricks met the requirements of TCVN 7637:2007. This product is suitable for use as lightweight thermal insulating material in the refractory industry, construction, and other high-temperature environments.

1. Mở đầu

Trên thế giới, vật liệu cách nhiệt, chịu nhiệt đã được nghiên cứu và phát triển từ những đầu của thế kỷ XX. Sản phẩm này hiện nay đã được sản xuất ở nhiều nước ở châu Âu, châu Á, Nam Mỹ và Trung Đông. Vật liệu cách nhiệt, chịu nhiệt nhẹ trên thế giới hiện nay đang được chế tạo theo nhiều phương pháp khác nhau: (1) dùng chất độn có tỷ trọng nhẹ như bột gỗ, hạt nhựa xốp...; (2) trộn chất tạo bọt vào hỗn hợp bê tông để giảm tỉ trọng [12]; (3) dùng chất sinh khí; (4) dùng nguyên liệu có sẵn tính xốp đồng thời với quá trình kết khối của bê tông. Trong các phương pháp trên thì phương pháp (2) sử dụng chất tạo bọt có nhiều ưu điểm do tính gia công dễ dàng và thuận tiện cho việc triển khai tại các công trình lớn. Tuy nhiên phương pháp này đòi hỏi phải sử dụng hệ chất tạo bọt tương thích với môi trường kiềm trong hỗn hợp vật liệu và không ảnh hưởng bởi quá trình đóng rắn [13].

Từ những năm 70 của thế kỷ trước [2-4], vật liệu nhẹ cách nhiệt, chịu nhiệt cao alumin trên cơ sở hình thành các lỗ bọt đã được phát triển; sản phẩm được nung nhiệt độ cao để kết dính định hình và phân hủy các chất hữu cơ. Ngày nay, xu hướng chế tạo vật liệu nhẹ cách nhiệt, chịu nhiệt chuyển sang xu hướng sử dụng phụ gia tạo bọt hữu cơ thân thiện môi trường và kết dính định hình không qua gia nhiệt. Theo Bertin và cộng sự [5], bọt trong môi trường xốp được định nghĩa là sự phân tán khí trong chất lỏng sao cho pha lỏng là liên tục, và ít nhất một phần của khí được tạo ra không liên tục bởi các màng chất lỏng mỏng được gọi là lamellae. Các lamellae được ổn định nhờ sự có mặt của chất hoạt động bề mặt trong pha lỏng. Các nghiên cứu về bọt xốp được ứng dụng tập trung chủ yếu cho bê tông bọt ứng dụng cho mục đích cách nhiệt cách âm trong rất nhiều công trình hiện đại [6]. Trên thế giới hiện nay đang sử dụng nhiều hệ chất tạo bọt [9] khác nhau: hệ chất tạo bọt cation, anion và không ion. Qua các nghiên cứu

*Liên hệ tác giả: ntdungvibm@gmail.com

Nhận ngày 27/11/2024, sửa xong ngày 12/02/2025, chấp nhận đăng ngày 14/02/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.01.2025.812>

đã công bố cho thấy mức độ sinh bọt khí và ảnh hưởng đến chất lượng của bê tông nhẹ của các hệ sinh bọt này rất khác nhau. Phương pháp sử dụng phụ gia tạo bọt có những ưu điểm như: Sản phẩm có độ đồng nhất cấu trúc cao; độ xốp của sản phẩm cao (có thể đạt tới 90 %); các loại phụ gia tạo bọt có nguồn gốc hữu cơ không gây tác hại tới tính chất nhiệt của sản phẩm cũng như tác động ô nhiễm tới môi trường; Quy trình công nghệ đơn giản [10], năng suất chế tạo lớn.

2. Nguyên vật liệu, thiết bị, quy trình chế tạo gạch cách nhiệt, mục tiêu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên vật liệu, thiết bị

- Chất tạo bọt FA-P12: độ nhớt 200 Cp, pH 8,7, tỷ trọng 1,03 g/cm³, hàm lượng gốc khô 30 %.
- Nước: sử dụng nước sinh hoạt.
- Bột Samot: thành phần chính là SiO₂, Al₂O₃, độ chịu lửa 1610 °C, khối lượng riêng 2,2 g/cm³; hàm lượng Al₂O₃ 30,22 %.
- Tro bay: sử dụng tro bay Phả Lại, độ ẩm 0,14, khối lượng riêng 2,48 g/cm³, bề mặt riêng Blaine 2450 cm²/g, độ mịn sót sàng 0,08 mm 4,15 % và 0,045 mm 16,2 %; hàm lượng Al₂O₃ 23,64 %.
- Xi măng cao alumin UAC 70N; hàm lượng Al₂O₃ 69,91 %.
- Phụ gia siêu dẻo: Polycarboxylate, tên thương mại Melflux 2641F, dạng bột, màu vàng nhạt đến nâu, hàm lượng chất rắn 98 %, khối lượng thể tích 500 kg/m³, pH (20 °C) dung dịch 20 % 6,5 – 8,5; hãng sản xuất BASF (Đức).
- Máy tạo bọt: năng suất bơm bọt 500 l/phút, công suất bơm cao áp 0,8 m³/h, công suất khí nén 1HP.

- Máy trộn bê tông bọt: Công suất trộn 10 m³/ca, buồng trộn bê tông Kiểu trộn Ribbon, thể tích (V) 300 lít.
- Thiết bị kiểm tra sức bền vật liệu đa năng dạng hai cột để sàn Model 3382, lực tải tối đa 100 kN, xuất xứ: Instrons, Illinois Tool Works Inc. (Hoa Kỳ).
- Máy bơm bê tông bọt có công suất bơm 1500-2000 lít/h; áp lực 2,5 Mpa.
- Thiết bị xác định độ dẫn nhiệt PBDR-02, xuất xứ Jingda Science & Technology Industry Co., Ltd. (Trung Quốc).
- Lò nung Carbolite Gero 30-3000 °C HTF 1700, xuất xứ Carbolite Gero Ltd. (Anh).

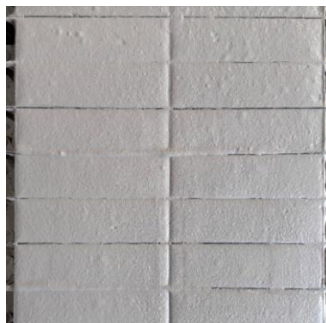
2.2. Quy trình chế tạo gạch cách nhiệt

Gạch cách nhiệt được chế tạo bằng cách trộn hợp hỗn hợp bê tông bọt từ các nguyên liệu theo quy trình như sau:

- Phụ gia tạo bọt được pha với nước theo tỷ lệ 1: 40 theo khối lượng, hỗn hợp được tạo bọt thông qua máy tạo bọt sao cho khối lượng thể tích bọt tạo thành từ 50-60 kg/m³, cài đặt thời gian bơm bọt để đạt được thể tích bọt phù hợp cho mẻ trộn.
- Các nguyên liệu như xi măng cao alumin, bột samot, tro bay, phụ gia siêu dẻo và nước được cho vào máy trộn bê tông bọt và trộn đều trong vòng 5 phút.
- Bơm thể tích bọt theo thời gian đã xác định vào trong máy trộn và tiếp tục trộn trong vòng 10 phút.
- Sử dụng máy bơm bê tông bọt để bơm hỗn hợp bê tông trong máy trộn điền đầy vào các khuôn gạch cách nhiệt.
- Sau khi gạch cách nhiệt đóng rắn hoàn toàn, tháo khuôn và bảo dưỡng theo thời gian qui định cho từng phép thử.



a) Hỗn hợp bê tông bọt được trộn trong máy trộn



b) Bê tông bọt được bơm vào khuôn gạch



c) Gạch cách nhiệt sau khi đóng rắn và tháo khuôn

Hình 1. Quy trình chế tạo gạch cách nhiệt.

2.3. Mục tiêu nghiên cứu

Gạch cao Alumin cách nhiệt sau khi được chế tạo phải đáp ứng được các yêu cầu theo Bảng 1 dưới đây.

2.4. Phương pháp nghiên cứu

- Trong nghiên cứu này sử dụng các phương pháp tiêu chuẩn được trình bày trong Bảng 2.
- Thiết bị kính hiển vi điện tử để bàn Hitachi TM4000Plus với độ phân giải hình ảnh ($\times 10$) ~ ($\times 100,000$) tại Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.

Bảng 1. Các yêu cầu về chất lượng của gạch cao Alumin cách nhiệt theo tiêu chuẩn.

TT	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị	Yêu cầu (TCVN 7637)
1	Hàm lượng nhôm oxit (Al_2O_3)	%	≥ 45
2	Khối lượng thể tích	kg/m^3	≤ 800
3	Độ bền nén nguội	MPa	$\geq 2,4$
4	Độ co phụ theo chiều dài ở 1300 °C	%	≤ 2
5	Độ dẫn nhiệt	W/m.K	$\leq 0,27$

Bảng 2. Các phương pháp tiêu chuẩn.

TT	Chỉ tiêu thử nghiệm	Đơn vị	Phương pháp thử
1	Độ chảy	mm	TCVN 9204
2	Khối lượng thể tích hỗn hợp bê tông bọt	kg/m^3	TCVN 10654
3	Khối lượng thể tích bê tông bọt	kg/m^3	TCVN 10654
4	Tổn thất khi bơm	%	TCVN 10654
5	Độ bền nén nguội	MPa	TCVN 6530-1
6	Độ co phụ theo chiều dài ở 1300°C	%	TCVN 6530-5
7	Độ dẫn nhiệt	W/m.K	TCVN 6530-9
8	Hàm lượng Al_2O_3	%	TCVN 6533

Tính toán cấp phối bê tông bọt [10]

Mục đích của việc thiết kế cấp phối bê tông bọt là phải chọn được tỷ lệ phối hợp các vật liệu thành phần để chế tạo được bê tông bọt có khối lượng thể tích và cường độ đã định. Để thiết kế cấp phối bê tông bọt để tài sử dụng phương pháp tính toán sơ bộ. Các thông số ban đầu cần biết khi chọn cấp phối bê tông bọt là mức về khối lượng thể tích ở trạng thái khô của bê tông và cường độ nén, tỷ lệ nước/xi măng, tỷ lệ phụ gia khoáng/chất kết dính, ...

Thành phần hỗn hợp bê tông bọt được tính toán như sau:

$$\frac{X}{\varphi_x} + \frac{C}{\varphi_c} + \frac{PGK}{\varphi_{pgk}} + N + \frac{PGSD}{\varphi_{pgsd}} + V_r = 1000 \quad (1)$$

Trong đó:

X - Lượng dùng xi măng, kg;

C - Lượng dùng cát, kg;

PGK - Lượng dùng phụ gia khoáng, kg;

PGSD - Lượng dùng phụ gia siêu dẻo, lít;

N - Lượng dùng nước, lít;

Vr - Thể tích rỗng của hỗn hợp bê tông do sử dụng chất tạo bọt, l/m^3 bê tông;

$\varphi_x, \varphi_c, \varphi_{pgk}, \varphi_{pgsd}$ - Khối lượng riêng của xi măng, cát, phụ gia khoáng, phụ gia siêu dẻo, kg/m^3 .

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Thiết kế cấp phối theo mô hình lý thuyết

Với mục tiêu nghiên cứu chế tạo loại gạch cao nhôm cách nhiệt có khối lượng thể tích nhỏ hơn $800 kg/m^3$ và các tính chất khác đáp ứng yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 7637. Trên cơ sở các tài liệu tham khảo, một số mô hình lý thuyết [8; 14] về tính toán thiết kế khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông bọt và thành phần hóa học của các nguyên liệu sử dụng trong nghiên cứu, đã tính toán đưa ra bảng cấp phối thiết kế cho mẻ trộn bê tông bọt làm gạch cao nhôm cách nhiệt với hàm lượng xi măng cao alumin được khảo sát từ 40 % đến 60 % và phụ gia khoáng sử dụng lần lượt là 10 % và 20 %, hàm lượng samot được tính toán sao cho tổng hàm lượng nhôm oxit khoảng 45 %. Các cấp phối bê tông làm gạch cao nhôm cách nhiệt khảo sát được trình bày trong bảng 3.

Nhận xét: Qua bảng cấp phối tính toán có thể nhận thấy khối lượng thể tích lý thuyết của bê tông bọt của các mẻ trộn đều đáp ứng điều kiện dưới $800 kg/m^3$ và độ chênh lệch khối lượng thể tích giữa các mẻ trộn không đáng kể, hàm lượng Al_2O_3 tính toán cũng phù hợp với yêu cầu đề ra. Dựa trên các cấp phối này tiếp tục tiến hành trộn hỗn hợp bê tông bọt và kiểm tra các tính chất của gạch cao Alumin để so sánh với các mục tiêu của nghiên cứu này.

3.2. Đánh giá tính chất của bê tông bọt cách nhiệt

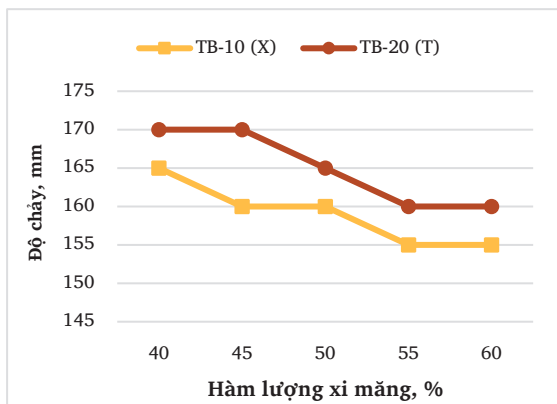
Sau khi tiến hành trộn hỗn hợp bê tông bọt và chế tạo gạch cách nhiệt theo các mẻ trộn, đã tiến hành đánh giá các tính chất của gạch cách nhiệt sau 28 ngày bảo dưỡng. Tính chất của gạch cách nhiệt được thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 3. Các cấp phối bê tông làm gạch cao nhôm cách nhiệt được tính toán thiết kế.

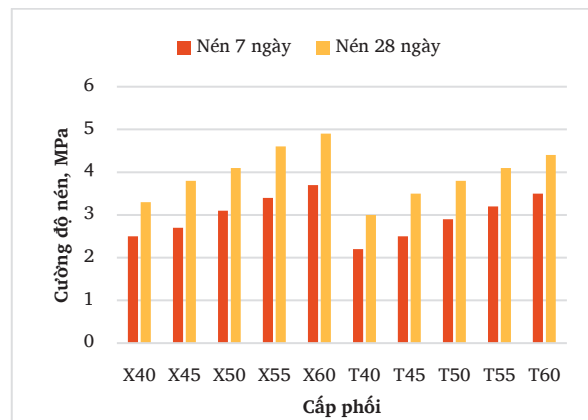
TT	Khảo sát	Ký hiệu mẫu	Cấp phối cho một mét khối bê tông bọt						KLTT BTB thiết kế (kg/m^3)	Al_2O_3 thiết kế (%)
			Xi măng (kg)	Samot (kg)	Tro bay (kg)	Siêu dẻo (kg)	Nước (kg)	Bọt (m^3)		
1	Xi măng ở hàm lượng tro bay 10% (TB-10)	X40	280	392	28	0,42	147	0,67	756	43,5
2		X45	315	354	32	0,47	148	0,66	763	44,8
3		X50	350	315	35	0,53	154	0,66	770	46,0
4		X55	385	277	39	0,58	155	0,65	777	47,3
5		X60	420	238	42	0,63	158	0,64	784	48,5
6	Xi măng ở hàm lượng tro bay 20% (TB-20)	T40	280	364	56	0,42	147	0,66	756	43,2
7		T45	315	322	63	0,47	151	0,66	763	44,4
8		T50	350	280	70	0,53	154	0,65	770	45,6
9		T55	385	238	77	0,58	154	0,64	777	46,9
10		T60	420	196	84	0,63	158	0,64	784	48,0

Bảng 4. Kết quả thử nghiệm một số tính chất của gạch cao nhôm cách nhiệt.

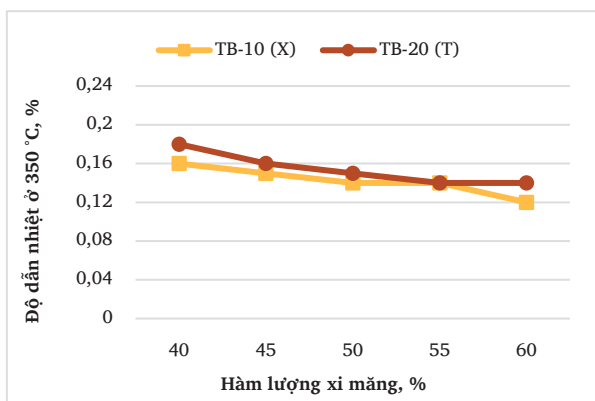
TT	Khảo sát	Ký hiệu mẫu	Tính chất của gạch cao nhôm cách nhiệt chế tạo									
			Độ chảy	KLTT ướt	KLTT sau bơm	Tổn thất khi bơm	KLTT khô	Nén 7 ngày	Nén 28 ngày	Độ dẫn nhiệt ở 350 °C	Độ co nở phụ ở 1300°C	Hàm lượng Al_2O_3
			mm	kg/m ³	kg/m ³	%	kg/m ³	MPa	MPa	W/m.k	%	%
1	Xi măng ở hàm lượng tro bay 10% (TB-10)	X40	165	845	875	3,55	790	2,5	3,3	0,16	1,2	44,7
2		X45	160	850	880	3,53	785	2,7	3,8	0,15	1,4	46,1
3		X50	160	850	880	3,53	790	3,1	4,1	0,14	1,5	47,4
4		X55	155	850	885	4,12	805	3,4	4,6	0,14	1,6	48,4
5		X60	155	855	890	4,09	820	3,7	4,9	0,12	1,8	50,3
6	Xi măng ở hàm lượng tro bay 20% (TB-20)	T40	170	840	875	4,17	785	2,2	3,0	0,18	1,4	44,8
7		T45	170	845	880	4,14	785	2,5	3,5	0,16	1,6	45,8
8		T50	165	845	880	4,14	790	2,9	3,8	0,15	1,7	47,1
9		T55	160	850	885	4,12	800	3,2	4,1	0,14	1,8	48,6
10		T60	160	850	890	4,71	815	3,5	4,4	0,14	2,0	49,7



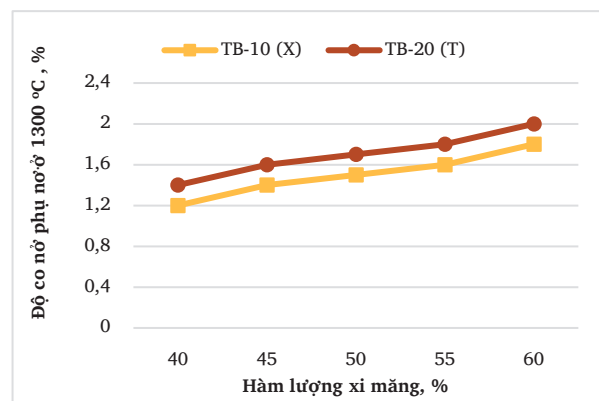
Hình 2. Độ chảy của các mẻ trộn bê tông bọt.



Hình 3. Cường độ chịu nén 7 ngày và 28 ngày của các mẫu gạch cách nhiệt.



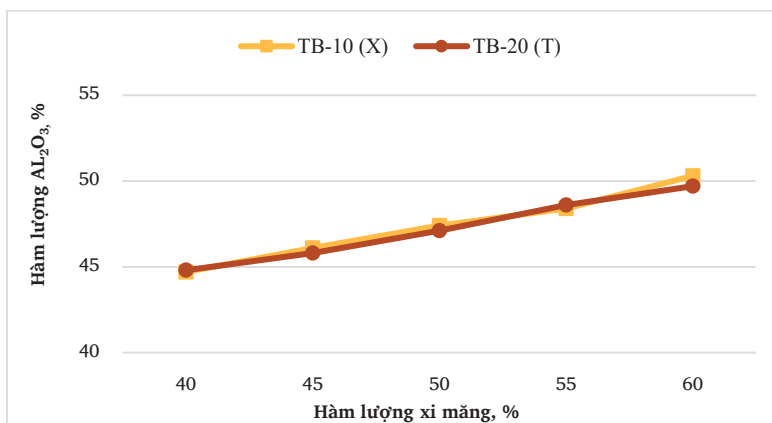
a)



b)

Hình 4. Độ dẫn nhiệt ở 350 °C và độ co nở phụ ở 1300 °C của các mẫu gạch cách nhiệt

a) Độ dẫn nhiệt ở 350 °C, b) Độ co nở phụ ở 1300 °C.

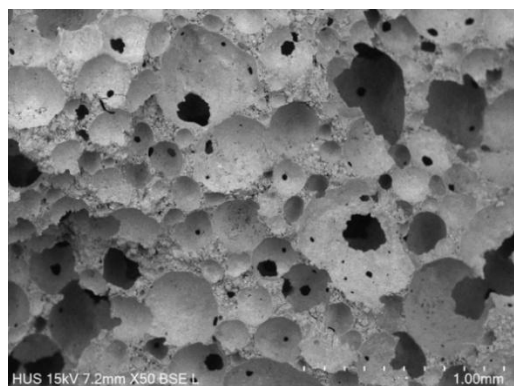


Hình 5. Hàm lượng Al_2O_3 của các mẫu gạch cách nhiệt.

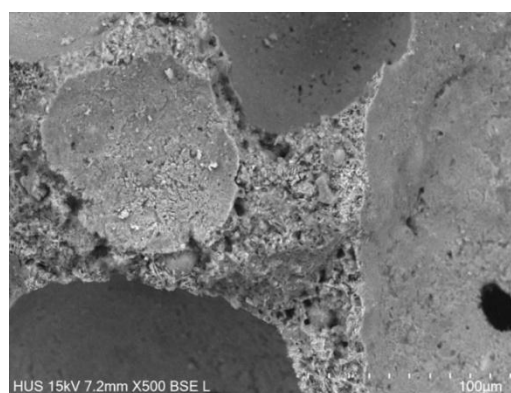
Nhận xét: Qua bảng số liệu và các biểu đồ có thể nhận thấy khi tăng hàm lượng xi măng từ 40 % đến 60 % thì gạch cách nhiệt có các giá trị cường độ chịu nén, hàm lượng Al_2O_3 tăng dần, độ dẫn nhiệt, độ co nở phụ tăng dần. Điều này có thể là do hàm lượng Al_2O_3 chiếm lượng lớn trong thành phần xi măng cao alumin nên khi hàm lượng xi măng tăng đã góp phần làm tăng cường độ nén, độ dẫn nhiệt và chịu nhiệt của gạch. Tuy nhiên khi tăng hàm lượng xi măng thì khối lượng thể tích của gạch cách nhiệt cũng tăng theo, với hàm lượng X55 khối lượng thể tích của gạch cách nhiệt đã lớn hơn yêu cầu đề ra. Khi thay hàm lượng tro bay từ 10 % thành 20 % và tăng hàm lượng xi măng cao Alumin thì tính chất của gạch cách nhiệt như cường độ chịu nén, hàm lượng Al_2O_3 cũng tăng dần, độ dẫn nhiệt, độ co nở phụ cũng có chiều hướng giảm dần, tuy nhiên các thông số thấp hơn so với sử dụng hàm lượng tro bay 10 %. Dựa trên các tính chất đó và đối chiếu với mục tiêu đề ra, đã lựa chọn cấp phối X45 để tiến hành đánh giá hình thái cấu trúc bọt thông qua kính hiển vi điện tử quét (SEM).

3.3. Đánh giá hình thái cấu trúc gạch cách nhiệt thông qua kính hiển vi điện tử quét (SEM)

Đã thực hiện phân tích hình thái cấu trúc của gạch cách nhiệt của mẫu X45 thông qua kính hiển vi điện tử quét (SEM). Kết quả phân tích hình ảnh của mẫu X45 được thể hiện trên các Hình 6, Hình 7.



Hình 6. Cấu trúc bên trong gạch với độ phóng đại $\times 50$.



Hình 7. Cấu trúc bên trong gạch với độ phóng đại $\times 500$.

Thông qua hình ảnh trên kính hiển vi điện tử quét (SEM) ở hai độ phóng đại khác nhau ($\times 50$ và $\times 500$) có thể nhận thấy cấu trúc bọt bên trong mẫu gạch cách nhiệt chiếm đa phần là kiểu bọt kín được liên kết với nhau bởi các nguyên vật liệu cấu tạo nên gạch cách nhiệt, kích thước và khoảng cách giữa các đơn vị bọt khá ổn định và đồng đều, không xuất hiện các vết nứt trong cấu trúc gạch. Điều này chứng tỏ khả năng liên kết tốt của các đơn vị bọt trong cấu trúc gạch và lý giải việc cường độ nén cao cũng như khả năng cách nhiệt của sản phẩm gạch tạo thành.

4. Kết luận

Qua nghiên cứu thiết kế cấp phối hỗn hợp bê tông bọt chế tạo gạch cách nhiệt và đánh giá các tính chất của gạch cách nhiệt tạo thành từ các nguồn nguyên liệu cao alumin, đã lựa chọn được các thông số kỹ thuật để chế tạo gạch cao Alumin cách nhiệt như sau:

- Xi măng cao Alumin UAC 70N: 315 kg/m^3
- Bọt samot: 354 kg/m^3
- Tro bay: 32 kg/m^3
- Tốc độ trộn là 400 vòng/phút
- Siêu dẻo: 0,47 kg/m^3
- Nước: 148 kg/m^3
- Thể tích bọt: 0,66 m^3

Sản phẩm gạch cách nhiệt tạo thành có các thông số kỹ thuật đáp ứng yêu cầu TCVN 7637 và có kích thước bọt ổn định và phân bố đồng đều trong cấu trúc gạch. Các sản phẩm gạch từ nghiên cứu này có thể ứng dụng công nghiệp, chẳng hạn như xây dựng các lớp cách nhiệt bảo vệ hoặc dùng làm lớp làm việc trực tiếp của lò công nghiệp trong các lĩnh vực như luyện kim, sản xuất gốm sứ, sản xuất xi măng, nhiệt điện và công nghiệp hóa chất.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Refractory Materials and Their Properties. The handbook of Didier - Werk AG - Wiesbaden/ FRG 1989.
- [2]. Hintzen et al, Method of producing a refractory brick. 1983, Didier-Werke AG, Wiesbaden, Fed. Rep. of Germany: Germany.
- [3]. Fain, I.A., et al., Features of production technology and pore-forming mechanism in perlite — Chamotte lightweight insulation. Refractories, 1970. 11(1): p. 71-73.
- [4]. Masaryk, J.S., Foamed insulation refractory 1978, Kaiser Aluminum & Chemical Corporation, Oakland, Calif.: United States.6. Method of producing a refractory brick: US 4575439 A – Ullrich Hintzen, Michael Neuenburg.
- [5]. H.J. Bertin, M.Y. Quintard, and L.M. Castanier, Development of a Bubble-Population Correlation for Foam-Flow Modeling in Porous Media. SPE Journal, 1998. 3(04): p. 356-362.
- [6]. Al Abdallat, Y. and J. Yamin, Manufacturing and Testing of Light-Weight Foamed Concrete: Experimental Results. Modern Applied Science, 2019. 13: p. 128.
- [7]. Đề tài “Nghiên cứu công nghệ chế tạo gạch chịu lửa samôt nhẹ và cao nhôm nhẹ” – Nguyễn Quốc Dũng – Viện Vật liệu xây dựng –Bộ xây dựng.
- [8]. Tiêu chuẩn Việt Nam: TCVN 6530-1; TCVN 6530-5; TCVN 6530-9; TCVN 6533; TCVN 7637; TCVN 9204; TCVN 10654.
- [9]. Đào Quốc Hùng, Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu công nghệ chế tạo chất tạo bọt sử dụng trong bê tông nhẹ nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng vật liệu không nung”, 2012.
- [10]. TS Vũ Hải Nam “Nghiên cứu chế tạo và ứng dụng tấm tường dùng bê tông bọt”, mã số 30/2014/HĐ-NĐT.
- [11]. Geethu Kallunkal, Dr. Elson John. Optimization of foam concrete masonry blocks, International Journal of Engineering Research and General Science Volume 4, Issue 5, September-October, 2016
- [12]. Toru Shimizu, Kazuhiro Matsuura, Harumi Furue, Kunio Matsuzak. Thermal conductivity of high porosity alumina refractory bricks made by a slurry gelation and foaming method, Journal of the European Ceramic Society 33 (2013) 3429–3435.
- [13]. Xingang Yu, Yurong Wei, Shisong Luo, Kangyan Zeng, Dejun Li. Influence of Testing Methods on Setting Time of Foam Concrete, Advanced Materials Research ISSN:1662-8985, Vol. 177, pp 514-517.
- [14]. Jingwen Zhang, Ningshan Jiang, Hui Li and Chengyou Wu; *Study on mix proportion design of cement foam concrete*; IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 439 (2018) 042053