

Nghiên cứu chế tạo gạch chịu lửa nhiều lớp, tiết kiệm năng lượng xây lò quay nung clanhke xi măng

Nguyễn Đức Thành^{1*}, Cao Tiến Phú¹, Trần Thị Minh Hải¹, Hoàng Lê Anh¹

¹ TT.Vật liệu chịu lửa và chống cháy, Viện Vật liệu xây dựng, 235 Nguyễn Trãi, phường Thanh Xuân Trung, quận Thanh Xuân, TP. Hà Nội

TỪ KHOÁ

Gạch chịu lửa
Silicon mulít
Nhiều lớp
Độ dẫn nhiệt thấp

TÓM TẮT

Gạch chịu lửa xây lót lò quay nung clanhke xi măng sử dụng chủ yếu loại gạch có độ dẫn nhiệt cao khoảng từ 2,6 ÷ 3,0 W/m.K, dẫn đến nhiệt lượng truyền qua vỏ lò tăng và gây thất thoát nhiệt khá lớn làm hỏng vỏ lò, các thiết bị cơ khí và làm giảm tuổi thọ của lò. Do đó, hệ gạch chịu lửa có độ dẫn nhiệt thấp để hạn chế nhiệt lượng tổn thất, giảm năng lượng tiêu thụ, giảm nhiệt độ vỏ lò xi măng, giảm tải trọng lò lên các thiết bị cơ khí cần được nghiên cứu, ứng dụng. Bài báo này trình bày một số kết quả nghiên cứu lựa chọn nguyên liệu, ảnh hưởng của pha siêu mịn, lực ép tạo hình, nhiệt độ nung, phụ gia đến khả năng chế tạo gạch chịu lửa nhiều lớp silicon-mulít, có độ dẫn nhiệt thấp ($\leq 1,8$ W/m.K), cường độ nén cao ($\geq 90,0$ MPa), độ chịu mài mòn cao ($\leq 2,5$ cm³), độ xốp biểu kiến thấp ($\leq 19,0$ %) sử dụng xây lót lò quay nung clanhke xi măng.

KEYWORDS

Refractory bricks
Mullite-silicon
Multi layered
Low thermal conductivity

ABSTRACT

Refractory bricks used for cement clinker kiln lining mainly have a high thermal conductivity from 2.6 ÷ 3.0 W/m.K, resulting in an increased heat transfer through the kiln's shell and considerable heat loss, damaging to the kiln's shell, auxiliary mechanical equipments and reducing the furnace working life. Therefore, the refractory brick system with a lower thermal conductivity to reduce the heat loss, energy consumption and temperature of the cement kiln's shell, as well as to reduce the kiln's load on mechanical equipments needs to be studied. This paper presents some research results on the effects of the material selection, superfined phase, forming pressure, firing temperature, and additives on the ability to manufacture the high-conductivity multi layered mullite-silicon refractory bricks with low thermal conductivities (≤ 1.8 W/m.K), high cold compressive strength (≥ 90.0 MPa), high abrasion resistance (≤ 2.5 cm³), low apparent porosity (≤ 19.0 %) for lining of clinker rotary kilns.

1. Giới thiệu

Ngành công nghiệp xi măng là ngành kinh tế quan trọng của Việt Nam và cũng là ngành tiêu thụ vật liệu chịu lửa đứng thứ 2 sau ngành luyện kim, chiếm tỷ trọng trong khoảng 15 % sản lượng vật liệu chịu lửa. Trong dây chuyền sản xuất xi măng có nhiều công đoạn tiêu tốn năng lượng, đặc biệt công đoạn nung clanhke xi măng là tiêu tốn lớn nhất, mức tiêu tốn năng lượng khoảng 54 % [9]. Hiện nay, gạch chịu lửa xây trong lò quay nung clanhke sử dụng chủ yếu chủng loại gạch có độ dẫn nhiệt cao khoảng 2,6 đến 3,0 W/m.K, dẫn đến nhiệt lượng truyền qua vỏ lò và thất thoát nhiệt khá lớn, gây hại cho vỏ lò, các thiết bị cơ khí phụ trợ và làm giảm tuổi thọ lò. Cần có sự nghiên cứu, chế tạo sản phẩm gạch chịu lửa xây lò quay nung clanhke xi măng, với mục đích nâng cao tuổi thọ sử dụng vật liệu chịu lửa trong lò quay xi măng, tiết kiệm năng lượng sản xuất/1 tấn clanhke xi măng, giảm tiêu hao nhiên liệu qua đó giảm thiểu phát thải khí CO₂, bảo vệ môi trường tốt hơn. Nghiên cứu sản phẩm gạch chịu lửa xây lò quay xi măng có độ dẫn nhiệt thấp hơn

($\leq 1,8$ W/m.K) để giảm nhiệt lượng tổn thất, giảm năng lượng tiêu thụ, giảm nhiệt độ vỏ lò, giảm tải trọng lò lên các thiết bị cơ khí. Hệ gạch chịu lửa phức hợp nhiều lớp, đặc biệt là hệ gạch chịu lửa silicon mulít ba lớp tiết kiệm năng lượng đã đáp ứng được nhưng yêu cầu trên. Trong nước, có các đơn vị lớn chế tạo gạch chịu lửa nhưng chưa có đơn vị nào sản xuất gạch chịu lửa nhiều lớp, tiết kiệm năng lượng. Đề tài nghiên cứu chế tạo gạch chịu lửa nhiều lớp, tiết kiệm năng lượng xây lò quay nung clanhke xi măng, là cơ sở khoa học công nghệ để các doanh nghiệp sản xuất vật liệu chịu lửa trong nước tiếp cận công nghệ, ứng dụng sản xuất gạch chịu lửa silicon mulít ba lớp, gồm: lớp làm việc (hệ silicon – mulít), lớp ngăn nhiệt (hệ cao nhôm), và lớp cách nhiệt (tấm bông gốm), có độ dẫn nhiệt thấp, giảm tiêu hao nhiên liệu đốt, phục vụ xây lót lò quay nung clanhke xi măng.

2. Nguyên vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên liệu

2.1.1. Nguyên liệu cho lớp làm việc

*Liên hệ tác giả: nguyenducthanhdb@gmail.com

Nhận ngày 05/10/2022, sửa xong ngày 30/10/2022, chấp nhận đăng 17/11/2022

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2023.478>

Lớp làm việc là lớp quan trọng nhất của hệ gạch nhiều lớp với đặc tính chịu nhiệt cao, chịu mài mòn và chống sốc nhiệt tốt nên cần sử dụng nguyên liệu có độ chịu lửa cao, cơ tính tốt. Để nâng cao nhất

chất lượng cho lớp làm việc, nghiên cứu lựa chọn hàm lượng đất sét chịu lửa cho phối liệu lớp làm việc là 4,0 % theo khối lượng.

Bảng 1. Nguồn gốc và dải thành phần hạt của nguyên liệu lớp làm việc.

TT	Nguyên liệu	Cỡ hạt	Nhà sản xuất	Xuất xứ
1	Corindon (BFA)	3-5 mm 200 mesh	Kaifeng Refractories Co., Ltd	Trung Quốc
2	Mulít 70	1-3 0-1 200 mesh	Datong Refractories Co., Ltd	Trung Quốc
3	SiC	0-1 200 mesh	Công ty Tân Hà Kiều	Việt Nam
4	Đất sét chịu lửa	0,05 mm	Công ty vật liệu chịu TrúC Thôn	Chí Linh – Việt Nam
5	Ô xít nhôm hoạt tính (CL370)	D50 ≤ 2,5 μm D90 ≤ 7,0 μm	Almatis premium alumina Inc	Hà Lan
6	Silica fume (SF94U)	D50 ≤ 0,52 μm	Emkem Materials Inc	Na Uy

Bảng 2. Thành phần hóa của nguyên liệu sử dụng chế tạo lớp làm việc.

TT	Tên nguyên liệu	Hàm lượng các ô xít chính (%)									
		Al ₂ O ₃	SiC	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Ti ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O	MKN
1	BFA	95,30	-	1,45	0,20	0,01	0,02	2,51	0,05	0,04	-
2	Sạn Mulít 70	71,37	-	22,82	1,59	1,23	0,88	0,83	0,33	0,03	0,03
3	SiC	-	98,2	-	0,50	-	-	-	0,13	0,08	-
4	CL370	99,7	-	0,03	0,03	0,02	0,02	0,58	-	0,1	-
5	SF94U	-	-	95,5	-	-	-	-	0,53	-	2,28
6	Đất sét TrúC Thôn	23,74	-	59,94	3,19	1,23	0,88	0,31	2,56	0,51	6,68

2.1.2. Nguyên liệu cho lớp ngăn nhiệt

Gạch chịu lửa trong lò quay khi bị bào mòn còn 7-8 cm thì tiến hành thay thế nên lớp vật liệu này thường được thải bỏ khi thay thế lớp

lót chịu lửa. Lớp ngăn nhiệt cần có cường độ tốt, độ dẫn nhiệt thấp (≤ 1,8 W/m.K) và có giá thành rẻ hơn lớp làm việc. Do đó, đề tài sử dụng nguyên liệu gồm: cốt liệu Bô xít 80, đất sét chịu lửa, bột siêu mịn, v.v, lượng đất sét chịu lửa trong phối liệu lựa chọn 8,0 % theo khối lượng.

Bảng 3. Nguồn gốc và dải thành phần hạt của nguyên liệu lớp ngăn nhiệt.

TT	Nguyên liệu	Cỡ hạt sử dụng	Nhà sản xuất	Xuất xứ
1	Bô xít 80	3 - 5 mm 1 - 3 mm 0 - 1 mm 200 mesh	Kaifeng Datong Refractories Co., Ltd	Trung Quốc
2	Đất sét chịu lửa	0,08 mm	Công ty vật liệu chịu TrúC Thôn	Chí Linh – Việt Nam
3	Ô xít nhôm hoạt tính (CL370)	D50 ≤ 2,5 μm D90 ≤ 7,0 μm	Almatis premium alumina Inc	Hà Lan
4	Silica fume (SF94U)	D50 ≤ 0,52 μm	Emkem Materials Inc	Na Uy

Bảng 4. Thành phần hóa của nguyên liệu sử dụng chế tạo lớp ngăn nhiệt.

TT	Tên nguyên liệu	Hàm lượng các ô xít chính (%)									
		Al ₂ O ₃	SiC	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Ti ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O	MKN
1	Bô xít 80	80,48	-	13,12	1,85	1,58	0,63	0,80	0,35	0,06	0,23
2	CL370	99,7	-	0,03	0,03	0,02	0,02	0,58	-	0,1	-
3	SF94U	-	-	95,5	-	-	-	-	0,53	-	2,28
4	Đất sét Trúc Thôn	23,74	-	59,94	3,19	1,23	0,88	0,31	2,56	0,51	6,68

2.1.3. Vật liệu và keo dán cho lớp cách nhiệt

Lớp cách nhiệt có tác dụng chính làm giảm độ dẫn nhiệt của cả khối gạch, là lớp cách nhiệt đơn thuần chỉ được gắn vào khối gạch. Do đó, chọn vật liệu tẩm bông gồm Luyangwool STD, được nhập về ở dạng tấm có kích thước: dài x rộng x cao = 900 x 600 x 25 mm, có các tính chất được phân tích tại Bảng 5.

Lớp cách nhiệt là tấm bông cứng chỉ cần gắn hoặc dán vào khối gạch sau nung. Đề tài đã lựa chọn keo chịu nhiệt HRM-1000 của Viện VLXD chế tạo, chế tạo từ nguyên liệu chính: nước thủy tinh lỏng (Na₂SiO₃) và đất sét chịu lửa, có thông số như Bảng 6.

Bảng 5. Chỉ tiêu kỹ thuật tấm bông gồm LuyangWool STD.

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Mức chất lượng
1	Nhiệt độ sử dụng tối đa	°C	1260
3	Tỷ trọng	g/cm ³	245
4	Cường độ nén (biến dạng 10%)	MPa	0,17
5	Mô đun uốn	MPa	0,35
6	Độ co ngót ở 1000°Cx24h	%	2,9
7	Độ dẫn nhiệt ở 400°C	W/m.K	0,064
	ở 600°C		0,081
	ở 800°C		0,120
	ở 1000°C		0,200

Bảng 6. Chỉ tiêu kỹ thuật của keo HRM-1000.

TT	Chỉ tiêu	ĐVT	Giá trị
1	Khối lượng thể tích	g/cm ³	1.370
2	Cường độ bám dính	MPa	1,06
3	Cường độ nén sau sấy 110°C, 24h	MPa	11,7
4	Độ chịu lửa	°C	1.380
5	Độ co ngót	mm/m	2,15

2.1.4. Keo kết dính và phụ gia

- Keo kết dính tạm thời:

Cần sử dụng chất kết dính tạm thời để tạo hình sản phẩm ban đầu. Chất kết dính cần có đặc điểm là sau khi thiêu kết sản phẩm, chất

liên kết cháy hết và không còn nằm trong sản phẩm gạch chịu lửa. Như vậy các chất kết dính chỉ có tác dụng liên kết ban đầu để định hình sản phẩm mộc sau ép tạo hình, lựa chọn calcium lignosulphonate (CLS) làm chất kết dính sản phẩm mộc.

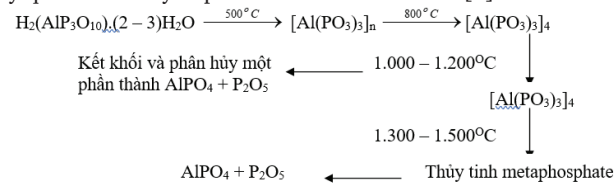
- Chất chống ô xy hóa trợ thiêu kết:

Hạn chế chính của vật liệu chịu lửa chứa SiC là các bon trong SiC bị ô xy hóa bởi ô xy không khí. Để ngăn chặn sự ô xy hóa này, các nhà nghiên cứu đã sử dụng các chất chống ô xy hóa. Hiện nay, trên thế giới hai loại phụ gia chống ô xy hóa thường được sử dụng nhiều nhất đó là Al và Si bởi vì công nghệ sản xuất chúng đơn giản, giá thành hợp lý.

Việc bổ sung kim loại Si còn có thể cải thiện hiệu suất thiêu kết, cải thiện khả năng chống mài mòn và chống xói mòn của vật liệu. Điều này là do nhiệt độ nóng chảy của silic kim loại thấp hơn nhiệt độ thiêu kết của mulit và SiC. Nếu tỷ lệ Si/Al = 3/1, thì ở 1250 °C kim loại Si + Al sẽ hình thành pha lỏng. Việc xuất hiện pha lỏng sớm khi nung thiêu kết sản phẩm sẽ giúp hạ nhiệt độ kết khối (từ 1500 °C về dưới 1400 °C).

- Chất trợ nung, giảm co ngót:

Keo Alumo photphat (APP) khi cho vào phối liệu gạch chịu lửa giúp tăng cường độ mộc sản phẩm sau sấy, giúp giảm độ co và giảm nhiệt độ nung kết khối. Khi nâng nhiệt độ lên trên 500 °C nhôm photphat đã tạo ra polymer meta photphat và chúng khá bền vững giúp tạo nên cường độ cho sản phẩm. Nhờ quá trình polymer hóa này mà cường độ sản phẩm luôn tăng theo nhiệt độ. khi nâng nhiệt, ta sẽ thấy quá trình chuyển pha của keo APP như sau [9]:



Qua sự chuyển pha của keo APP ta thấy khi nung sản phẩm trên 1300°C, pha nền sản phẩm chứa keo APP sẽ kết khối tạo thủy tinh metaphosphate và thoát ra khí P₂O₅, có tác dụng chống co cho sản phẩm gạch chịu lửa khi nung kết khối.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp tiêu chuẩn: TCVN 6530:2016 (1,3,4,5,6,7,11); TCVN 6533:1999; ASTM C177.
- Phương pháp phi tiêu chuẩn
 - + Phân tích thành phần hóa bằng phương pháp XRD;
 - + Đo độ PH dung dịch keo

3. Nghiên cứu chế tạo gạch chịu lửa nhiều lớp

3.1. Khảo sát các thông số công nghệ

3.1.1. Quy trình thí nghiệm mẫu

Trong phòng thí nghiệm, nhóm nghiên cứu tiến hành các thực nghiệm như sau:

- + Các thành phần nguyên liệu được cân bằng cân điện tử có độ chính xác tới 0,01 gam, lượng cân theo phối liệu mẫu thí nghiệm.
- + Keo CLS và hòa tan keo CLS vào nước cần dùng (khoảng 4 %);
- + Đồng nhất nguyên liệu trong túi đựng (cân 3 kg phối liệu) và cho vào cối trộn của máy trộn thí nghiệm tiến hành trộn: Trộn khô đồng nhất 2-3 phút ở tốc độ chậm. Cho từ từ hết hỗn hợp keo CLS + nước đã định lượng vào cối trộn và tiến hành trộn tốc độ chậm trong 3-5 phút. Phối liệu sau trộn phải đảm bảo sự đồng nhất, tơi rời nhưng đảm bảo sự dính kết.
- + Cân định lượng hỗn hợp liệu, đưa vào khuôn, đập ép các viên trụ $\Phi 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ trên máy ép thủy lực của Viện VLXD, áp lực ép tạo hình $40 \div 100 \text{ MPa}$;
- + Mẫu sau ép được kiểm tra kích thước, khối lượng mộc, sau đó đem đi sấy ở $110 \text{ }^\circ\text{C}$, trong vòng 24 giờ. Mỗi chỉ tiêu thử nghiệm cần chuẩn bị 03 mẫu.
- + Mẫu sau sấy được đem đi nung ở nhiệt độ thí nghiệm (tiến hành nung ở $1400 \text{ }^\circ\text{C}$), tốc độ nâng nhiệt $5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{phút}$, lưu 3 giờ tại lò nung thí nghiệm của Viện VLXD.
- + Các mẫu sau sấy, sau nung được đem đi thí nghiệm tính chất cơ lý.

3.1.2. Khảo sát cấp phối chế tạo lớp làm việc

- Khảo sát áp lực ép tạo hình:

Dài hạt của phối liệu liên quan rất lớn đến áp lực tạo hình. Với cấp hạt nhiều hạt cốt liệu thô thì áp lực tạo hình cần lớn, ngược lại với cấp hạt nhiều pha mịn thì áp lực tạo hình nhỏ. Áp lực tạo hình cũng liên quan đến khối lượng thể tích và độ sít đặc của sản phẩm gạch mộc. Do đó, cần khảo sát áp lực ép tạo hình với các cấp phối như Bảng 7.

Tiến hành các bước thí nghiệm với cấp phối trên, sử dụng lượng keo CLS 2,0 % và nước trộn 4,0 %, mẫu tạo hình sau sấy – nung cho các thông số như Bảng 8.

Từ Bảng 8 cho thấy mẫu LV3 có giá trị khối lượng thể tích và có cường độ sản phẩm sau sấy và sau nung là cao nhất với áp lực nén tạo hình phù hợp từ 60-100 MPa, đây là phối liệu dài hạt tốt nhất trong các mẫu thí nghiệm để chế tạo lớp làm việc của sản phẩm, lựa chọn cấp phối vật liệu theo mẫu LV3, với áp lực nén tạo hình từ 60-100MPa cho các khảo sát tiếp theo.

- Khảo sát hàm lượng chất kết dính

Trong phối liệu chế tạo gạch do sử dụng ít đất sét chịu lửa nên khả năng kết dính của phối liệu sau trộn kém. Vì thế, cần bổ sung một lượng keo calcium inosulphonate (CLS) vào phối liệu để tăng tính kết dính, cấp phối liệu với lượng bổ sung keo CLS như Bảng 9.

Tiến hành các bước thí nghiệm tại phòng thí nghiệm, mẫu tạo

hình sau sấy có các thông số như Bảng 10.

Keo CLS sẽ hóa sau khi nung nên sẽ làm giảm khối lượng thể tích nếu dùng quá nhiều. Vì thế, chỉ cần dùng một lượng keo CLS đủ để kết dính sản phẩm gạch mộc, từ kết quả ở Bảng 10 nhận thấy hàm lượng keo CLS 1,5-2,0 % hoàn toàn đáp ứng yêu cầu chế tạo lớp làm việc. Để tài cũng sử dụng hàm lượng keo CLS cho lớp ngăn nhiệt là 1,5 – 2,0 %.

- Khảo sát hàm lượng pha siêu mịn cho lớp làm việc

Do hàm lượng pha siêu mịn trong gạch chịu lửa cao nhôm vào khoảng ~13 % theo đường cong Furnas. Một lượng pha siêu mịn có trong sét chịu lửa, với hàm lượng sét chịu lửa cho lớp làm việc là 4%, thì lượng pha siêu mịn ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$) sử dụng cho cấp phối lớp làm việc vào khoảng ~10 %. Tiến hành khảo sát hàm lượng pha siêu mịn theo các cấp phối trong Bảng 11.

Thực hiện các bước tiến hành thí nghiệm, các mẫu sau tạo hình qua sấy nung có các thông số như Bảng 12.

Từ Bảng 12 nhận thấy thấy mẫu khi bổ sung pha siêu mịn vào phối liệu, do pha siêu mịn có tính trợ nung giúp mẫu kết khối tốt, khi tăng hàm lượng SF94U giảm CL370 sẽ làm giảm khối lượng thể tích sản phẩm do SF94U có tỷ trọng nhẹ. Các mẫu V3-M2 và V3-M3 có thông số đạt yêu cầu nên lựa chọn hàm lượng CL370/SF94U = 8,5/1,5 ứng với mẫu V3-M2 để tăng hàm lượng Al_2O_3 cho lớp làm việc.

- Khảo sát hàm lượng phụ gia chống ô xy hóa cho lớp làm việc:

Sử dụng kim loại Al và Si làm chất chống ô xy hóa cho SiC. Do điểm chảy của hỗn hợp kim loại Si + Al ($\text{Si}/\text{Al} = 3/1$) vào khoảng $1250 \text{ }^\circ\text{C}$ thấp hơn nhiệt độ nung kết khối gạch cao nhôm ~ $1450 \text{ }^\circ\text{C}$ nên ngoài tác dụng chống ô xy hóa cho SiC, kim loại Si + Al còn có tác dụng hỗ trợ kết khối. Tiến hành khảo sát hàm lượng Si + Al với tỷ lệ 3/1 trong khoảng $1,0 \div 3,0 \%$ như Bảng 13.

Thực hiện các bước tiến hành thí nghiệm, mẫu tạo hình sau nung có các thông số như Bảng 14.

Từ Bảng 14 nhận thấy các mẫu V3-Xo, V3-X1 và V3-X2 bị ô xy hóa nên bề mặt bị phồng dộp, thể tích mẫu dần nở lớn. Các mẫu V3-X3, V3-X4, V3-X5 có bề mặt mẫu phẳng mịn và cường độ mẫu tăng lên khi tăng lượng kim loại Al + Si. Chi phí cho chất chống ô xy hóa rất đắt, với lượng dùng nhỏ mà đáp ứng yêu cầu là tốt nhất. Do đó, chọn hàm lượng kim loại Si + Al là 2,0 ứng với mẫu V3-X3, mẫu sau nung có độ nở: +0,1 %.

- Khảo sát nhiệt độ nung trong phòng thí nghiệm:

Nhóm nghiên cứu tiến hành khảo sát nhiệt độ nung từ $1350 \text{ }^\circ\text{C}$ – $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ với cấp phối thí nghiệm như Bảng 15. Thực hiện các bước tiến hành thí nghiệm, các tạo hình sau khi sấy và nung có các thông số như Bảng 16.

Từ Bảng 16 có thể thấy, khi tăng nhiệt độ nung thì tăng độ kết khối (độ xốp biểu kiến giảm, cường độ nén tăng), nhưng nhiệt độ $\geq 1450 \text{ }^\circ\text{C}$ mẫu có hiện tượng phồng rộp, nguyên nhân ở nhiệt độ nung cao SiC bị ô xy hóa một phần, các mẫu này có độ giãn nở sau nung tăng, cường độ nén nguội giảm. Do đó, nhiệt độ nung phù hợp cho lớp làm việc từ $1380 - 1410 \text{ }^\circ\text{C}$.

Bảng 7. Phối liệu thí nghiệm thành phần cấp phối lớp làm việc.

Ký hiệu mẫu	LV1	LV2	LV3	LV4	LV5	LV6
Pha cốt liệu (%)						
BFA (3-5mm)	10	11	12	13	14	15
Mulít 70 (1-3mm)	30	29	28	27	26	25
Mulít 70 (0-1mm)	18	19	20	21	22	23
BFA (mịn - 200mesh)	12	11	10	9	8	7
SiC (0-1mm)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
SiC (mịn)	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Bột kim loại Si + Al	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Pha kết dính (%)						
Đất sét chịu lửa	4	4	4	4	4	4
CL370	9	9	9	9	9	9
SF94U	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Tổng cộng (%):	100	100	100	100	100	100
Hàm lượng ô xít tính toán:						
Al ₂ O ₃	65,65	65,65	65,65	65,65	65,65	65,65
SiC	13,47	13,47	13,47	13,47	13,47	13,47

Bảng 8. Chỉ tiêu kỹ thuật mẫu thí nghiệm lớp làm việc sau sấy và sau nung.

TT	Kí hiệu mẫu	Áp lực tạo hình, Mpa											
		40			60			80			100		
		CĐ sau sấy, Mpa	CĐ sau nung, Mpa	KLTT sau nung, g/cm ³	CĐ sau sấy, Mpa	CĐ sau nung, Mpa	KLTT sau nung, g/cm ³	CĐ sau sấy, Mpa	CĐ sau nung, Mpa	KLTT sau nung, g/cm ³	CĐ sau sấy, Mpa	CĐ sau nung, Mpa	KLTT sau nung, g/cm ³
1	LV1	10,0	81,50	2,59	12,4	83,7	2,61	12,5	83,3	2,60	12,0	83,3	2,60
2	LV2	9,7	85,20	2,60	12,2	89,4	2,63	12,7	90,0	2,64	12,3	90,0	2,62
3	LV3	9,5	88,30	2,64	12,5	91,5	6,67	13,0	93,0	6,67	13,0	93,4	6,68
4	LV4	9,3	85,40	2,61	12,0	90,8	2,66	13,2	93,0	2,67	13,4	93,5	2,68
5	LV5	8,8	80,70	2,58	11,0	87,0	2,64	13,3	93,3	2,67	13,7	94,0	2,68
6	LV6	8,1	78,60	2,57	10,9	85,7	2,62	14,0	92,0	2,66	14,2	94,2	2,68
Bề mặt mẫu trụ		Các mẫu sau sấy và sau nung bị rỗ mặt			Các mẫu sau sấy và nung phẳng mịn, chỉ mẫu LV5 và LV6 rỗ mặt			Bề mặt mẫu sau sấy và sau nung phẳng mịn			Bề mặt mẫu sau sấy và sau nung phẳng mịn		

Bảng 9. Cấp phối khảo sát hàm lượng keo CLS cho lớp làm việc.

TT	Vật tư sử dụng	V3-S0	V3-S1	V3-S2	V3-S3	V3-S4	V3-S5
1	BFA 85 (3-5 mm)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
2	Mulít 70 (1-3 mm)	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
3	Mulít 70 (0-1 mm)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
4	BFA mịn	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
5	SiC (0-1 mm)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
6	SiC (0,08 mm)	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
7	Đất sét chịu lửa	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
8	CL370	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
9	SF94U	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
10	Bột kim loại (Si/Al = 3/1)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Tổng cộng:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Keo CLS (%)		0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Nước trộn thí nghiệm (%)		4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

Bảng 10. Tính chất lớp làm việc với lượng keo CLS khác nhau.

TT	Mẫu	Hàm lượng keo CLS,%	Khối lượng thể tích sau sấy, g/cm ³	Cường độ sau sấy, MPa
1	V3-S0	0,0	2,62	1,3
2	V3-S1	0,5	2,65	4,5
3	V3-S2	1,0	2,66	6,8
4	V3-S3	1,5	2,67	9,5
5	V3-S4	2,0	2,68	12,3
6	V3-S5	2,5	2,68	13,0

Bảng 11. Cấp phối liệu lớp làm việc với hàm lượng pha siêu mịn khác nhau.

TT	Vật tư sử dụng	V3-M0	V3-M1	V3-M2	V3-M3	V3-M4	V3-M5
1	BFA 85 (3-5 mm)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
2	Mullit 70 (1-3 mm)	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
3	Mullit 70 (0-1 mm)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
4	BFA mịn	20,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
5	SiC (0-1 mm)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
6	SiC (0,08 mm)	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
7	Đất sét chịu lửa	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
8	CL370	0,0	9,0	8,5	8,0	7,5	7,0
9	SF94U	0,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
10	Bột kim loại (Si/Al = 3/1)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Tổng cộng:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Keo CLS (%)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	Nước trộn thí nghiệm (%)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

Bảng 12. Tính chất lớp làm việc với hàm lượng pha siêu mịn khác nhau.

TT	Mẫu	Khối lượng thể tích sau sấy, g/cm ³	Cường độ sau nung, MPa	Độ xốp biểu kiến, %
1	V3-M0	2,64	65,3	20,6
2	V3-M1	2,65	80,9	18,7
3	V3-M2	2,67	92,3	17,6
4	V3-M3	2,66	93,0	17,4
5	V3-M4	2,64	91,8	17,2
6	V3-M5	2,61	91,0	17,4

Bảng 13. Cấp phối lớp làm việc với hàm lượng chất chống ô xy hóa khác nhau.

TT	Vật tư sử dụng	V3-X0	V3-X1	V3-X2	V3-X3	V3-X4	V3-X5
1	BFA 85 (3-5 mm)	12	12	12	12	12	12
2	Mullit 70 (1-3 mm)	28	28	28	28	28	28
3	Mullit 70 (0-1 mm)	20	20	20	20	20	20
4	BFA mịn (200 mesh)	11,5	10,5	10,0	9,0	8,5	8,0
5	SiC (0-1 mm)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
6	SiC (0,08 mm)	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
7	Đất sét chịu lửa (mịn)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
8	CL370	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
9	SF94U	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
10	Bột kim loại (Si/Al = 3/1)	0,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
	Tổng cộng:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Keo CLS (%)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	Nước trộn thí nghiệm (%)	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

Bảng 14. Tính chất lớp làm việc với hàm lượng chất chống ô xy hóa khác nhau.

TT	Tên chỉ tiêu	V3-X0	V3-X1	V3-X2	V3-X3	V3-X4	V3-X5
1	Độ co nở sau nung, %	+ 1,8	+ 1,4	+ 0,6	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,4
2	Cường độ sau nung, MPa	83,3	86,6	91,2	93,5	93,8	94,0
3	Độ xốp biểu kiến, %	18,7	17,9	17,4	17,2	17,0	17,0
4	Bề mặt mẫu sau nung	Bề mặt bị phòng rộp, nhất là mẫu V3-X0			Bề mặt phẳng mịn		

Bảng 15. Cấp phối lớp làm việc (LV) khảo sát nhiệt độ nung.

STT	Vật tư sử dụng	LV
1	BFA 85 (3-5 mm)	12,0
2	Mulít 70 (1-3 mm)	28,0
3	Mulít 70 (0-1 mm)	20,0
4	BFA mịn (200 mesh)	10,0
5	SiC (0-1 mm)	5,0
6	SiC (0,08 mm)	9,0
7	Đất sét chịu lửa (mịn)	4,0
8	CL370	8,5
9	SF94U	1,5
10	Bột kim loại (Si/Al = 3/1)	2,0
	Tổng cộng:	100,0
	Keo CLS (%)	2,00
	Nước trộn thí nghiệm (%)	4,0

Kết luận: Từ các kết quả nghiên cứu và khảo sát cho thấy để chế tạo được lớp làm việc theo các thông số dự kiến của đề tài thì cần các điều kiện sau:

- + Tạo hình sản phẩm: ép bán khô sản phẩm với áp lực tạo hình: $60 \div 100$ MPa;
- + Hàm lượng keo CLS phù hợp $\sim 2,0$ %, lượng nước trộn cho phối liệu $\sim 4,0$ %;
- + Hàm lượng chất chống ôxy hóa Al + Si là: 2,0 %, với tỷ lệ Si/Al = 3/1;
- + Hàm lượng pha siêu mịn CL370 là 8,5 % và SF94U là 1,5 %;
- + Nhiệt độ nung sản phẩm từ $1380 \div 1410$ °C.

3.1.3. Khảo sát cấp phối lớp ngăn nhiệt

- Khảo sát áp lực tạo hình

Nhóm nghiên cứu tiến hành áp lực ép tạo hình gạch mộc với các cấp phối thí nghiệm cho lớp ngăn nhiệt như Bảng 17.

Tiến hành các bước thí nghiệm với hàm lượng keo CLS 2,0% và lượng nước trộn 4,0%, mẫu thí nghiệm sau sấy và sau nung có các thông số như Bảng 18.

Kết quả thí nghiệm ở Bảng 18 cho thấy phối liệu mẫu LN4 có các thông số như: khối lượng thể tích sau nung, cường độ nén sau sấy và cường độ nén sau nung là cao nhất ứng với áp lực tạo hình 60-80Mpa,

Bảng 16. Tính chất lớp làm việc sau nung ở các nhiệt độ khác nhau.

TT	Tên chỉ tiêu	Nhiệt độ nung mẫu LV, °C				
		1350	1380	1410	1450	1500
1	Độ co nở sau nung, %	0,0	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,6	+ 1,0
2	Cường độ nén nguội sau nung, MPa	75,7	92,6	93,5	91,2	89,3
3	Độ xốp biểu kiến, %	19,3	17,5	17,2	17,0	17,6
4	Bề mặt mẫu sau nung	Phẳng mịn			Có hiện tượng phòng rộp	

ở áp lực ép tạo hình lớn tạo ra ứng suất đàn hồi sau tạo hình gây nứt thành mẫu trụ. Lựa chọn cấp phối vật liệu LN4, với áp lực ép tạo hình từ 60 – 80Mpa cho các nghiên cứu tiếp theo của lớp ngăn nhiệt.

Bảng 17. Phối liệu thí nghiệm thành phần cấp phối vật liệu cho lớp ngăn nhiệt.

Ký hiệu mẫu	LN1	LN2	LN3	LN4	LN5	LN6
Cốt liệu (%)						
Bô xít 80 (3-5 mm)	10	11	12	13	14	15
Bô xít 80 (1-3 mm)	30	29	28	27	26	25
Bô xít 80 (0-1 mm)	23	24	25	26	27	28
Bô xít 80 (mịn)	23	22	21	20	19	18
Hệ kết dính (%)						
Sét chịu lửa	8	8	8	8	8	8
Bột ô xít nhôm CL370	5	5	5	5	5	5
Silicafume 940U	1	1	1	1	1	1
Tổng cộng (%):	100	100	100	100	100	100
Hàm lượng ô xít tính toán:	76,09	76,09	76,09	76,09	76,09	76,09
Al ₂ O ₃	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SiC						

Bảng 18. Chi tiêu kỹ thuật mẫu thí nghiệm lớp ngăn nhiệt sau sấy và sau nung.

TT	Kí hiệu mẫu	Áp lực tạo hình, Mpa (Mẫu trụ Φ50mm, đem sấy 110°C 24h, nung 1400°C lưu 3h)											
		40			60			80			100		
		CĐ sau sấy, Mpa	CĐ sau nung, Mpa	KLTT sau nung, g/cm ³	CĐ sau sấy, Mpa	CĐ sau nung, Mpa	KLTT sau nung, g/cm ³	CĐ sau sấy, Mpa	CĐ sau nung, Mpa	KLTT sau nung, g/cm ³	CĐ sau sấy, Mpa	CĐ sau nung, Mpa	KLTT sau nung, g/cm ³
1	LN1	15,2	72,50	2,55	15,4	71,0	2,64	15,5	70,9	2,62	15,6	68,3	2,60
2	LN2	15,5	72,90	2,57	15,7	75,6	2,65	15,9	74,9	2,65	16,0	73,0	2,62
3	LN3	15,9	77,30	2,63	15,8	78,2	6,67	16,3	80,5	2,69	16,8	80,9	6,67
4	LN4	16,1	78,50	2,64	16,9	83,5	2,67	17,0	83,9	2,68	16,9	84,0	2,68
5	LN5	13,7	75,80	2,60	16,0	82,8	2,65	17,3	82,0	2,68	17,4	83,3	2,68
6	LN6	12,5	74,00	2,59	15,5	78,4	2,66	17,9	79,7	2,67	18,0	83,0	2,68
Bề mặt mẫu trụ		Một số mẫu bị rỗ bề mặt, như mẫu LN6, LN5			Bề mặt mẫu phẳng mịn, không có hiện tượng vi nứt trên bề mặt			Bề mặt mẫu sau sấy phẳng mịn, mẫu LN1 bị vi nứt trên thành trụ sau nung			Mẫu sau sấy phẳng mịn, nhưng các mẫu sau nung bị nứt bề mặt thành trụ		

- Khảo sát hàm lượng pha siêu mịn cho lớp ngăn nhiệt:

Hàm lượng pha siêu mịn cho lớp ngăn nhiệt ~ 13 %, với việc sử dụng lượng sét chịu lửa là: 8,0 %, thì hàm lượng pha siêu mịn (SiO₂ + Al₂O₃ siêu mịn) trong lớp làm việc vào khoảng ~ 6,0 %. Nghiên cứu tiến hành khảo sát các cấp phối với hàm lượng pha siêu mịn khác nhau như Bảng 19.

Bảng 19. Cấp phối khảo sát hàm lượng pha siêu mịn cho lớp ngăn nhiệt.

TT	Vật tư sử dụng	N4-M0	N4-M1	N4-M2	N4-M3	N4-M4	N4-M5
1	Bô xít 80 (3-5 mm)	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
2	Bô xít 80 (1-3 mm)	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
3	Bô xít 80 (0-1 mm)	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
4	Bô xít 80 (mịn)	26,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
5	Sét chịu lửa	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
6	SF94U	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
7	CL370	0,0	5,5	5,0	5,0	4,0	3,5
Tổng cộng		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Keo CLS (%)		2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Lượng nước trộn (%)		4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

Tiến hành các bước thí nghiệm trong phòng thí nghiệm. mẫu sau nung có các thông số như Bảng 20.

Từ bảng kết quả Bảng 20 cho thấy các mẫu N4-M2, N4-M3 và N4-M4 sau nung có thông số (cường độ nén, độ xốp biểu kiến) cao nhất nên lựa chọn hàm lượng CL370/SF94U = 4,0/2,0 ứng với mẫu N4-M4 vì chi phí cho hàm lượng pha siêu mịn rẻ hơn nếu tăng lượng SF94U.

Bảng 20. Tính chất lớp ngăn nhiệt với hàm lượng pha siêu mịn khác nhau.

TT	Mẫu	Khối lượng thể tích sau nung, g/cm ³	Cường độ sau nung, MPa	Độ xốp biểu kiến, %
1	N4-M0	2,60	54,8	21,6
2	N4-M1	2,65	77,4	18,7
3	N4-M2	2,67	83,5	17,6
4	N4-M3	2,67	85,4	17,4
5	N4-M4	2,67	85,5	17,0
6	N4-M5	2,63	81,7	17,9

- Khảo sát hàm lượng keo APP cho lớp ngăn nhiệt:

Keo APP được bổ xung vào cấp phối để giảm nhiệt độ nung kết khối tăng khả năng kết dính cho phối liệu và giúp sản phẩm sau nung giảm độ co ngót cho lớp ngăn nhiệt. Nghiên cứu tiến hành khảo sát các cấp phối thí nghiệm với hàm lượng keo APP khác nhau như Bảng 21 như dưới đây.

Tiến hành các thực hiện các bước thực hiện trong phòng thí nghiệm, mẫu sau nung có kết quả thí nghiệm như Bảng 22.

Từ kết quả Bảng 22 nhận thấy tăng lượng keo APP sẽ tăng khả năng kết khối của mẫu thử (biểu thị qua cường độ mẫu sau nung tăng, độ xốp biểu kiến giảm). Nhưng lượng keo tăng cao sẽ gây cho mẫu sau nung bị nở thể tích lớn, khó kiểm soát độ nở của mẫu nung. Do đó, lựa chọn lượng keo APP 2,0 %, ứng với mẫu N4-A3. Mẫu sau nung có độ giãn nở thấp +0,1 %, tương thích với độ giãn nở của lớp làm việc mẫu V3-X3 sau nung.

- Khảo sát nhiệt độ nung trong phòng thí nghiệm:

Nghiên cứu sử dụng cấp phối theo Bảng 23, tiến hành các thực hiện các bước thí nghiệm trong phòng thí nghiệm với nhiệt độ nung ở: 1350 °C, 1380 °C, 1410 °C, 1450 °C và 1500 °C, thời gian lưu 3 giờ (tốc độ nâng nhiệt 5°C/phút), kết quả thí nghiệm mẫu sau nung có các thông số như ở Bảng 24.

Bảng 21. Cấp phối lớp ngăn nhiệt với hàm lượng keo APP khác nhau cho lớp ngăn nhiệt.

TT	Vật tư sử dụng	N4-A0	N4-A1	N4-A2	N4-A3	N4-A4	N4-A5
1	Bô xít 80 (3-5 mm)	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
2	Bô xít 80 (1-3 mm)	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
3	Bô xít 80 (0-1 mm)	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
4	Bô xít 80 (mịn)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
5	SF94U	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
6	Đất sét chịu lửa	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
7	CL370	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
	Tổng cộng	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	Keo CLS (%)	2,0%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%
	Keo APP (%)	0,0%	1,0%	1,5%	2,0%	2,5%	3,0%
	Lượng nước trộn (%)	4,00%	3,80%	3,70%	3,60%	3,50%	3,40%

Bảng 22. Tính chất lớp ngăn nhiệt với hàm lượng keo APP khác nhau.

TT	Tên chỉ tiêu	N4-A0	N4-A1	N4-A2	N4-A3	N4-A4	N4-A5
1	Độ co nở sau nung, %	-2,0	-1,2	-0,4	+0,1	+0,6	+1,0
2	Cường độ sau nung, MPa	85,5	86,4	88,9	91,5	92,0	92,4
3	Độ xốp biểu kiến, %	17,6	17,3	17,4	17,6	17,7	18,0
4	Bề mặt mẫu sau nung	Bề mặt mẫu phẳng đẹp, không bị nứt					

Bảng 23. Cấp phối lớp ngăn nhiệt khảo sát nhiệt độ sấy nung.

TT	Vật tư sử dụng	LN
1	Bô xít 80 (3-5 mm)	13,0
2	Bô xít 80 (1-3 mm)	27,0
3	Bô xít 80 (0-1 mm)	26,0
4	Bô xít 80 (mịn)	20,0
5	SF94U	2,0
6	Đất sét chịu lửa	8,0
7	CL370	4,0
	Tổng cộng	100,0
	Keo CLS (%)	1,5
	Keo APP (%)	2,0
	Lượng nước trộn (%)	3,6

Bảng 24. Tính chất lớp ngăn nhiệt sau nung ở các nhiệt độ khác nhau.

TT	Tên chỉ tiêu	Nhiệt độ nung mẫu LN, °C				
		1350	1380	1410	1450	1500
1	Độ co nở sau nung, %	+0,4	+0,2	+0,2	+0,2	+0,0
2	Cường độ nén nguội sau nung, MPa	80,8	90,4	91,5	92,5	93,0
3	Độ hút nước, %	7,0	6,7	6,6	6,6	6,5
4	Độ xốp biểu kiến, %	17,3	17,6	17,6	17,0	16,5
5	Bề mặt mẫu sau nung	Bề mặt mẫu phẳng đẹp, không bị nứt				

Từ kết quả Bảng 24 nhận thấy tăng nhiệt độ nung thì độ kết khối của mẫu tốt hơn, thông qua chỉ số cường độ sau nung tăng, độ xốp biểu kiến giảm. Nhiệt độ nung lớp ngăn nhiệt từ 1380-1500°C đều đảm bảo mẫu thí nghiệm kết khối tốt.

Kết luận: Từ các kết quả nghiên cứu và khảo sát cho thấy đề chế tạo được lớp ngăn nhiệt theo các thông số dự kiến của đề tài thì cần các điều kiện sau:

- + Tạo hình sản phẩm: ép bán khô sản phẩm, với áp lực tạo hình: 60 ÷ 80 MPa;
- + Hàm lượng keo CLS là 1,5 %, lượng nước trộn cho phối liệu 3,6 %;
- + Hàm lượng keo nhôm phốt phát lỏng là: 2,0 %;
- + Hàm lượng pha siêu mịn CL370: 4,0% và SF94U: 2,0 %;
- + Nhiệt độ nung sản phẩm từ 1380 ÷ 1500 °C.

3.2. Tổng hợp thông số công nghệ, chế tạo gạch nhiều lớp tiết kiệm năng lượng

Qua khảo sát chế tạo lớp vật liệu làm việc và lớp ngăn nhiệt của gạch chịu lửa nhiều lớp, tiết kiệm năng lượng xây lò quay nung clanke xi măng nhóm đề tài đã chọn được thông số chung để chế tạo gạch nhiều lớp như Bảng 25.

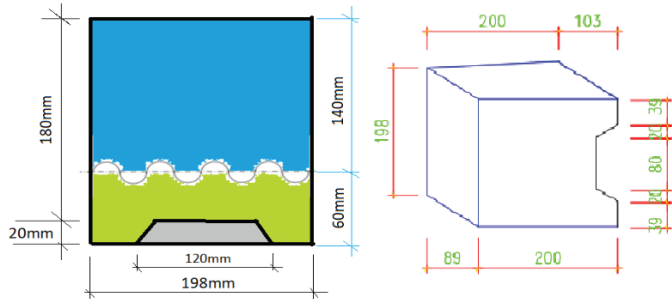
Bảng 25. Cấp phối và thông số chung chế tạo lớp làm việc và lớp ngăn nhiệt.

TT	Lớp làm việc (LV)		Lớp ngăn nhiệt (LN)	
	Vật tư sử dụng	Tỷ lệ, %	Vật tư sử dụng	Tỷ lệ, %
1	BFA 85 (3-5 mm)	12,0	Bô xít 80 (3-5 mm)	13,0
2	Mulít 70 (1-3 mm)	28,0	Bô xít 80 (1-3 mm)	27,0
3	Mulít 70 (0-1 mm)	20,0	Bô xít 80 (0-1 mm)	26,0
4	BFA mịn (200 mesh)	10,0	Bô xít 80 (mịn)	20,0
5	SiC (0-1 mm)	5,0	-	-
6	SiC (0,08 mm)	9,0	-	-
7	Đất sét chịu lửa	4,0	Đất sét chịu lửa	8,0
8	CL370	8,5	CL370	4,0
9	SF94U	1,5	SF94U	2,0
10	Bột kim loại (Si/Al = 3/1)	2,0	-	-
	Tổng cộng:	100,0		100,0
	Keo CLS (%)	2,00		1,5
	Nước trộn (%)	4,0		3,6
	Keo APP (%)	-		2,0
	Áp lực tạo hình, MPa	60 ÷ 80		
	Nhiệt độ nung, °C	1380 ÷ 1410		

3.3. Thiết lập chiều dày các lớp vật liệu trong gạch chịu lửa nhiều lớp

Lựa chọn kích thước gạch: $A \times B \times H \times L = 103 \times 89 \times 200 \times 198$ mm, qua thực tế khảo sát nhóm nghiên cứu lựa chọn thiết kế gạch chịu lửa như Hình 1, với chiều dày từng lớp vật liệu theo thiết kế gạch chịu lửa như sau:

- + Chiều dày lớp làm việc: 140 mm
- + Chiều dày lớp ngăn nhiệt: 50 mm, ứng với chiều cao từ lớp làm việc đến vỏ lò là: 60 mm
- + Chiều dày lớp cách nhiệt: 10 mm, ứng với chiều cao nằm trong hốc lớp ngăn nhiệt là: 20 mm.



Hình 1. Kích thước và chiều dày các lớp vật liệu trong gạch chịu lửa 3 lớp.

3.4. Chế tạo gạch chịu lửa nhiều lớp trên dây chuyền công nghiệp

3.4.1. Lựa chọn đơn vị sản xuất thử nghiệm

Đề tài đã tiến hành khảo sát các nhà máy sản xuất gạch chịu lửa tại Việt Nam và lựa chọn Nhà máy gạch chịu lửa Tam Tầng để hợp tác sản xuất thử nghiệm. Đây là đơn vị có dây chuyền công nghệ đảm bảo quy trình chế tạo sản phẩm gạch chịu lửa nhiều lớp, hiện nhà máy đang chạy gạch cao nhôm xây lò quay nung clanhke xi măng.

3.4.2. Các bước tiến hành chế tạo

Tiến hành chế tạo sản phẩm trên dây chuyền công nghiệp tại Nhà máy gạch chịu lửa Tam Tầng với các bước tiến hành như sơ đồ hình 2, sử dụng cấp phối chế tạo sản phẩm theo Bảng 25.

Một số các bước thực hiện chính trong quá trình sản xuất như sau:

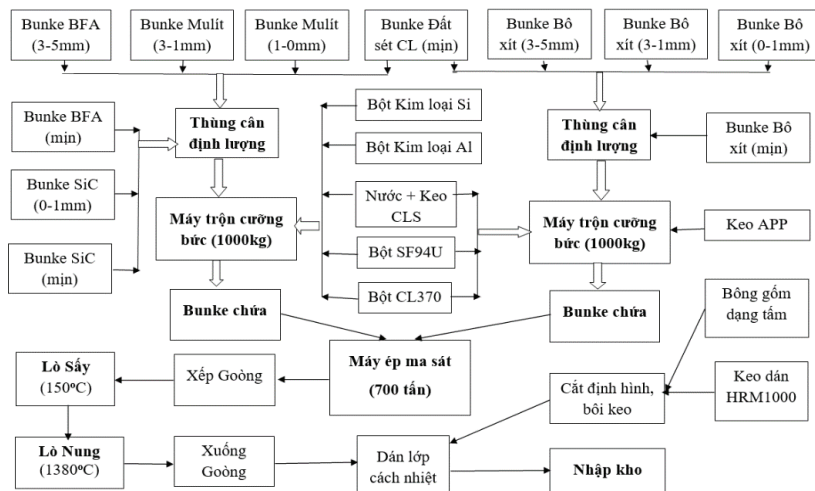
- Trộn ẩm phối liệu: Các nguyên liệu định lượng trong thùng cân được xả vào máy trộn và tiến hành trộn đồng nhất khoảng 2-3 phút. Sau đó bơm dung dịch keo CLS (keo CLS được hòa tan vào nước trộn) / keo APP theo phối liệu vào máy trộn, tiến hành trộn để phân tán đều keo và ẩm lên bề mặt cốt liệu trong vòng 3 phút. Tiếp tục đổ thủ công các thành phần pha siêu mịn (CL370 + SF94U) / chất chống ô xy hóa (kim loại Si + Al) vào máy trộn, tiến hành trộn đồng nhất khoảng 5 phút ta thu được hỗn hợp phối liệu bán khô.

- Ép tạo hình: nguyên liệu trong bunke chứa được xả vào các khay định lượng theo khối lượng tương ứng với lớp làm việc và lớp ngăn nhiệt, kích thước lòng khuôn tạo hình: 200 x 198 x 103/89 mm, các nguyên liệu nguyên được đổ vào khuôn, ngăn cách 2 lớp ngăn nhiệt và lớp làm việc bằng miếng tôn sóng (dạng hình sin). Sau khi đàn liệu ra khắp bề mặt khuôn thì tiến hành rút tôn sóng và tiến hành thực hiện các hành trình ép gạch với 5 bước ép đập với lực tăng dần, lực ép cuối cùng đạt 80 MPa.

- Sấy - Nung: gạch xếp trên xe goòng được đẩy vào lò sấy, thực hiện sấy trong vòng 48 giờ, nhiệt độ sấy cao nhất 250 °C. Xe goòng ra khỏi lò sấy đi vào lò nung, thực hiện theo quy trình nung gạch cao nhôm của nhà máy với nhiệt độ nung khoảng 1380 °C, tốc độ đẩy goòng 2,4 giờ, thời gian nung 72 giờ, lưu ở nhiệt độ nung cao nhất ứng với 2 xe goòng.

- Dán lớp cách nhiệt: gạch sau nung khi đã nguội sẽ tiến hành dỡ khỏi goòng, các tấm bông gốm được cắt định hình theo kích thước lớp cách nhiệt, được phết keo chịu nhiệt HRM-1000 và dán vào lớp ngăn nhiệt. Do viên gạch còn ẩm nên lớp keo sẽ tự khô sau 6 giờ, bám dính tốt vào lớp ngăn nhiệt.

- Nhập kho: thành phẩm được làm sạch bề mặt bằng đá mài hoặc máy mài, kiểm tra kích thước gạch, kiểm tra các khuyết tật, thành phẩm sau kiểm tra được xếp kiện cất vào kho



Hình 2. Quy trình công nghệ chế tạo sản phẩm trên dây chuyền công nghiệp.



Hình 3. Lắp đặt và hiệu chỉnh khuôn ép đập



Hình 4. Kiểm tra sản phẩm sau khi ép tạo hình.



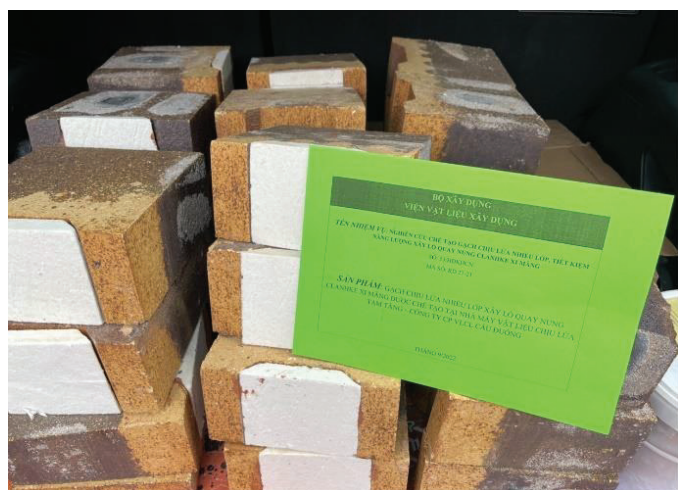
Hình 5. Ảnh gạch trên xe goòng khi vào lò sấy.



Hình 6. Ảnh gạch trên xe goòng sau nung.



Hình 7. Dán lớp cách nhiệt vào gạch sau nung.



Hình 8. Chuyển sản phẩm về kho viện VLXD.

3.4.3. Kiểm tra đặc tính sản phẩm

Sản phẩm gạch chịu lửa nhiều lớp, tiết kiệm năng lượng sau khi chuyển vào kho Viện VLXD, được lấy mẫu đem đi gia công: cắt, khoan rút mẫu, nghiền,... để thực hiện các thí nghiệm cơ - lý như: thí nghiệm thành phần hóa, cường độ nén nguội, độ xốp biểu kiến, khối lượng thể tích, độ mài mòn, độ chịu lửa, nhiệt độ biến dạng dưới tải trọng, độ dẫn nhiệt và có được thông số sản phẩm chế tạo như Bảng 26.

Bảng 26. Chỉ tiêu kỹ thuật của sản phẩm gạch chịu lửa chế tạo.

TT	Tên chỉ tiêu	Gạch nhiều lớp, tiết kiệm năng lượng	
		Lớp làm việc	Lớp ngăn nhiệt
1	Al ₂ O ₃ , %	65,54	75,51
2	SiO ₂ , %	16,84	18,20
3	SiC, %	13,12	-
4	Khối lượng thể tích, g/cm ³	2,67	2,66
5	Độ xốp biểu kiến, %	16,8	17,5
6	Cường độ nén nguội, Mpa	94,6	91,0
7	Nhiệt độ biến dạng dưới tải trọng 0,2 MPa, °C (T ₄)	1.650	1.580
8	Độ dẫn nhiệt ở 1000°C, W/mK	2,78	1,54
9	Độ chịu mài mòn, cm ³	1,51	3,15
10	Độ bền sốc nhiệt (1.100 °C, nước lạnh), lần	20	15
11	Độ co nở phụ theo chiều dài ở 1500 °C, %	0,24	0,25

4. Đánh giá hiệu quả tiết kiệm năng lượng

Sản phẩm gạch chịu lửa nhiều lớp, tiết kiệm năng lượng được thiết kế với 3 lớp, kích thước tổng: 200x198x103/89mm, độ dày gạch δ = 0,2 m và độ dày các lớp như sau:

- + Lớp làm việc có chiều dày δ₁ = 0,14 m; độ dẫn nhiệt ở 1000 °C λ₁ = 2,78 W/m.K;
- + Lớp làm việc có chiều dày δ₂ = 0,055 m; độ dẫn nhiệt ở 1000 °C λ₂ = 1,54 W/m.K;
- + Lớp làm việc có chiều dày δ₃ = 0,005 m; độ dẫn nhiệt ở 1000 °C, λ₃ = 0,20 W/m.K.

Áp dụng gạch chịu lửa 3 lớp vào hệ lò quay nung clanhke xi măng có kích thước 4,0x 60m, ta có các thông số sau:

- + Đường kính trong của vỏ lò là d₁ = 4,0 m;
- + Đường kính đến lớp thứ nhất d₂ = 4,28 m;
- + đường kính đến lớp thứ hai d₃ = 4,39 m;
- + Đường kính vỏ lò đến lớp thứ ba d₄ = 4,40 m

+ Nhiệt độ của hệ thống lò nung là t₁ = 1350 °C, nhiệt độ phòng t_{mt} = 27 °C.

Công thức tính toán hệ số dẫn nhiệt gạch nhiều lớp và nhiệt độ lò như sau:

$$\lambda_{Gach} = \frac{\delta}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, W/m.K \quad (1)$$

$$T_{shell} = \frac{2t_1 + a d_4 t_{mt} (\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3})}{2 + a d_4 (\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{d_4}{d_3})}, °C \quad (2)$$

- Hệ số dẫn nhiệt tổng thể ở 1000 °C, gạch 3 lớp tính toán theo công thức (1):

$$\lambda_{Gach}(1000 °C) = \frac{0,2}{\frac{0,14}{2,78} + \frac{0,055}{1,54} + \frac{0,005}{0,20}} = 1,80 (W/m.K)$$

- Giả sử nhiệt độ truyền nhiệt đối lưu là 38 W/m.K (a = 38 W/m.K). Nhiệt độ vỏ lò là T_{shell} ta có thể tính được công suất tỏa nhiệt của lò theo công thức (2): T_{shell} = 274 °C. Như vậy, nhiệt vỏ lò thấp hơn khoảng 46 °C so với nhiệt độ của vỏ lò quay nung clanhke xi măng dùng gạch silicon mulít (T_{shell} gạch silicon mulít = 320 °C).

- Tính toán so sánh tổn thất nhiệt qua vỏ lò: được thể hiện tại Bảng 27.

Bảng 27. Tính toán so sánh hiệu quả tiết kiệm năng lượng của gạch nhiều lớp.

TT	Hạng mục	Gạch Silicon-Mulít (AZM)	Gạch 3 lớp tiết kiệm năng lượng	Công thức tính
1	Điều kiện sử dụng	Giả thiết vùng xây gạch từ mét thứ 15 đến mét 25, lò có kích thước 4,0 x 60m, nhiệt độ môi trường 27°C.		
2	Nhiệt độ mặt làm việc của lò	1350 °C	1350 °C	t ₁ = 1350
3	Nhiệt độ mặt ngoài ống lò	320 °C	274 °C	gạch AZM: t ₄ = 320 gạch 3 lớp: t ₄ = 274
4	Nhiệt mất đi trên đoạn lò 15-25 m (L = 10, 1 ngày 24h), W	45.280.750	31.067.954	$Q = \frac{2\pi L \sum_{i=1}^n (t_n - t_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_n} \ln \frac{r_{n+1}}{r_n}}$
5	Nhiệt tiết kiệm mỗi ngày, kcal	$\frac{45.280.750 - 31.067.954}{1,163} = 12.220.805$		1kcal/h = 1,163 W
6	Chất đốt tiết kiệm mỗi năm	$\frac{12.220.805 \times 4,184}{24.490} \times 320 = 668.117 (kg \text{ than}) = 668 (kg \text{ than})$		1 kcal = 4,184 kJ; Than cám 4B nhiệt trị: 24.490 kJ/kg; Lò chạy 320 ngày/năm

Các tính toán và so sánh tại cho thấy việc sử dụng gạch 3 lớp, tiết kiệm năng lượng cho vùng chuyển tiếp trên và dưới của lò quay có kích thước 4,0 x 60 m sẽ giúp giảm được nhiệt độ vỏ lò khoảng 46 °C, giảm được lượng nhiệt tổn thất ra môi trường qua vỏ lò nên tiết kiệm năng

lượng cho lò nung clanhke xi măng, giảm được lượng than sử dụng khoảng 668 tấn than cám 4B trong 1 năm lò quay hoạt động.

4. Kết luận

- Đi từ các loại nguyên liệu chính là bột xi măng, mullit, SiC, BFA, đất sét chịu lửa, ô xít nhôm hoạt tính, SiO₂ siêu mịn hoạt tính, bông gốm dạng tấm và các loại phụ gia. Nhóm nghiên cứu chế tạo thành công gạch chịu lửa 3 lớp, tiết kiệm năng lượng, có các thông số kỹ thuật tương đương với sản phẩm nhập ngoại.

- Gạch chịu lửa 3 lớp có độ dẫn nhiệt thấp hơn gạch chịu lửa một lớp thông thường nên nhiệt độ vỏ lò quay nung clanhke xi măng thấp hơn khoảng 46 °C so với lò quay xây lót gạch chịu lửa AZM thông thường. Do độ dẫn nhiệt thấp nên nhiệt lượng tổn thất qua vỏ lò quay giảm, tiết kiệm lượng than tiêu thụ khoảng 668 tấn, giảm phát thải khí CO₂ ra môi trường.

- Đề tài đã chứng minh công nghệ chế tạo gạch chịu lửa nhiều lớp, tiết kiệm năng lượng hoàn toàn phù hợp với các dây chuyền sản xuất gạch chịu lửa xây lót lò quay nung clanhke hiện có ở Việt Nam.

- Việc có thể chuyển giao hoặc triển khai sản xuất gạch chịu lửa nhiều lớp, tiết kiệm năng lượng ở quy mô công nghiệp có ý nghĩa về mặt kinh tế, kỹ thuật, một mặt tạo ra sản phẩm thay thế hàng nhập ngoại, đa dạng hóa sản xuất các chủng loại gạch chịu lửa mới phục vụ xây lót lò quay nung clanhke xi măng.

Tài liệu tham khảo

[1]. TS. Lê Trung Thành, ThS. Lê Đức Thịnh, ThS. Hà Văn Lâm và các cộng sự “Nghiên cứu xây dựng chiến lược phát triển vật liệu xây dựng Việt Nam thời kỳ 2021-2030, định hướng đến năm 2050”, tháng 12 năm 2019.

[2]. KS. Nguyễn Ngọc Thắng và cộng sự, công ty CP vật liệu chịu lửa Cầu Đuống “ Nghiên cứu công nghệ sản xuất gạch chịu lửa cao nhôm cấp II có hàm lượng Al₂O₃ từ 53 % đến 75 %”, tháng 12/2006.

[3]. KS. Trần Hữu Tường và các cộng sự, Viện Vật liệu xây dựng “Nghiên cứu kỹ thuật sản xuất gạch chịu lửa cao nhôm liên kết alumô phot phát, phục vụ cho công nghiệp sản xuất xi măng”, tháng 9 năm 1999;

[4]. Ks. Trần Hữu Tường và các cộng sự, Viện Vật liệu xây dựng “ Nghiên cứu công nghệ sản xuất sản phẩm chịu lửa các – bua – silíc (SiC) làm tấm kê, trụ đỡ cho các lò công nghiệp;”, tháng 2 năm 2022;

[5]. PGS.TS. Nguyễn Đăng Hùng, nhà xuất bản Bách Khoa Hà Nội, Lò quay nung Clinker xi măng, năm 2011.

[6]. PGS.TS. Nguyễn Đăng Hùng, nhà xuất bản Bách Khoa Hà Nội, Công nghệ sản xuất vật liệu chịu lửa, năm 2012.

[7]. Vật liệu chịu lửa và gốm cao nhôm: D.N. Poluboiarinop, V.L. Bankevich, R.I. Papinxki.

[8]. Patent CN102030564A Composite material of light mullite brick and silicon carbide coating and production method of composite material.

[9]. Patent CN104567412A Energy-saving composite refractory brick.

[10]. Songlin Chen , Juntao Wang , Lin Yuan , and Quanyou Li, Composite Design of Low Thermal Conductivity Mullite Brick for Application to Cement Kiln, MATEC Web of Conferences 142, 02008 (2018).

[11]. Patent CN100337987C Mullite silicon carbide refractory material for production of dry coke and its production.

[12]. L.L. Faulkner, Refractories Handbook, Pages 42-47.

[13]. Ingo Götschel, Yusuke Hayashi, Ken-ichi Kakimoto, Andreas Roosen, Tape Casting of Al₂O₃, MgO, and MgAl₂O₄ for the Manufacture of Multilayer Composites for Refractory Applications, Applied Ceramic Technology, Volume 9, Issue 2, March/April 2012.