

Cốt liệu chịu lửa chế tạo từ xỉ nhôm

Lưu Thị Hồng ¹, Phạm Thanh Mai ^{2*}, Nguyễn Đức Khoa ², Kim Yến Chi ², Chu Thị Minh Chi ², Trần Quốc Đạt ², Phùng Minh Hằng ², Nguyễn Hải Long ³, Tạ Ngọc Dũng ⁴

¹ Viện Vật liệu xây dựng

² Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

³ Công ty Cổ phần INA

⁴ Trường Hóa và Khoa học sự sống, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TỪ KHOÁ

Xi nhôm
Cốt liệu chịu lửa
Vật liệu chịu lửa
Phụ gia

TÓM TẮT

Bài báo cáo này trình bày kết quả nghiên cứu khả năng tái chế xỉ nhôm để chế tạo cốt liệu chịu lửa. Các cấp phối được thiết kế với hàm lượng xỉ nhôm từ 80% trở lên kết hợp với phụ gia liên kết, sử dụng hai phương pháp tạo hình (dẻo và ép bán khô), các cấp phối được nung ở 2 nhiệt độ khác nhau là 1250°C và 1350°C, sau đó xác định một số tính chất cơ bản của các mẫu cốt liệu chịu lửa đã thu được. Kết quả cho thấy, mẫu cốt liệu chịu lửa chế tạo từ 85% xỉ nhôm và 15% phụ gia liên kết, tạo hình bằng phương pháp ép bán khô, nung ở nhiệt độ 1350°C có cấu trúc đặc chắc, khối lượng thể tích cao, độ hút nước và độ xốp biểu kiến thấp, phù hợp ứng dụng trong sản xuất vật liệu chịu lửa.

KEYWORDS

Aluminum slag
Refractory aggregates
Refractory materials
Additive

ABSTRACT

This paper presents research results on the ability to reuse aluminum slag to make refractory aggregates. Proportional samples were mixed using over 80% aluminum slag by mass, combined with binder additive, which plays the role of as a binder. There were two forming methods: plastic forming and semi-dry pressing. After forming, samples were fired at two different temperatures, 1250°C and 1350°C, to create refractory aggregates products. The products were then tested for several basic properties. The results shows that the aggregates made from 85% aluminum slag and 15% binder additive, formed by the semi-dry pressing technique and fired at 1350°C, had good quality. They had a dense structure, high bulk density, and appropriate water absorption and apparent porosity, making them suitable for applications in refractory material production.

1. Giới thiệu

Vật liệu chịu lửa là vật liệu giữ vai trò quan trọng trong các ngành công nghiệp luyện kim, sản xuất xi măng, hoá chất, năng lượng và vật liệu xây dựng [1,2]. Trong các hệ vật liệu chịu lửa, cốt liệu chịu lửa là thành phần chiếm tỷ lệ lớn và có ảnh hưởng quyết định đến các tính chất làm việc của sản phẩm, đặc biệt là độ bền nhiệt, độ ổn định thể tích, khả năng chống sốc nhiệt và cường độ cơ học ở nhiệt độ cao [1]. Hiện nay, cốt liệu chịu lửa chủ yếu được sản xuất từ các nguồn nguyên liệu khoáng thiên nhiên như samôt, bôxít, corundon, spinel..., đòi hỏi quá trình khai thác và chế biến phức tạp, tiêu hao nhiều năng lượng và gây áp lực lớn lên tài nguyên cũng như môi trường [2,3]. Trong bối cảnh phát triển mạnh mẽ của ngành luyện kim và tái chế nhôm, lượng xỉ nhôm phát sinh ngày càng lớn và trở thành một trong những loại chất thải công nghiệp cần được xử lý hiệu quả. Nếu không được xử lý và tái sử dụng hợp lý, xỉ nhôm không chỉ chiếm dụng diện tích bãi thải mà còn tiềm ẩn nguy cơ gây ô nhiễm môi trường đất, nước và không khí. Trên thực tế, việc xử lý xỉ nhôm hiện nay chủ yếu tập trung vào

thu hồi nhôm kim loại, trong khi phần xỉ còn lại chưa được khai thác hiệu quả cho các mục đích vật liệu có giá trị gia tăng cao [6,8].

Trong những năm gần đây, xu hướng tận dụng phế thải công nghiệp làm nguyên liệu cho vật liệu xây dựng và vật liệu chịu lửa đang được nhiều quốc gia quan tâm bởi xỉ nhôm chứa hàm lượng đáng kể các oxit như $Al_2O_3 = 45-90\%$, $SiO_2 = 1-3,5\%$, $MgO = 0,1-2,5\%$ ngoài ra còn oxit khác như: CaO , Fe_2O_3 ,... [7,8] Nhiều nghiên cứu cho thấy xỉ nhôm sau khi xử lý có thể được sử dụng trong sản xuất xi măng alumin, gốm kỹ thuật và vật liệu chịu lửa nhờ hàm lượng Al_2O_3 cao và cấu trúc khoáng ổn định [8,9,10,11]. Tại Việt Nam, nhu cầu vật liệu chịu lửa phục vụ các ngành xi măng, luyện kim, gốm sứ và năng lượng ngày càng tăng, trong khi nguồn nguyên liệu truyền thống như bôxít, corundon, mullite hoặc magnesit còn phụ thuộc nhiều vào nhập khẩu [2,4,5]. Đồng thời, việc tái chế chất thải công nghiệp phù hợp với định hướng phát triển kinh tế tuần hoàn và giảm phát thải môi trường trong ngành vật liệu xây dựng theo Luật Bảo vệ môi trường 2020.

Chính vì vậy, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tập trung nghiên cứu khả năng tái sử dụng xỉ nhôm để chế tạo cốt liệu chịu lửa.

*Liên hệ tác giả: maipth@hau.edu.vn

Nhận ngày 12/05/2026, sửa xong ngày 26/06/2026, chấp nhận đăng ngày 28/06/2026

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2026.1357>

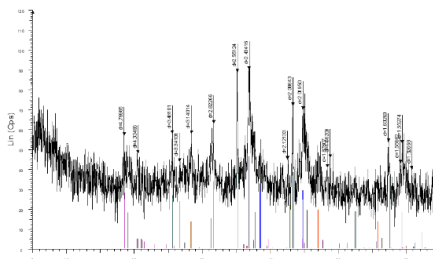
Nghiên cứu có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao, không chỉ góp phần giải quyết bài toán môi trường do phế thải công nghiệp gây ra mà còn góp phần cho sự phát triển xanh bền vững của ngành vật liệu chịu lửa nói chung và vật liệu xây dựng nói riêng.

2. Vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu sử dụng

Bảng 1. Thành phần hóa của vật liệu sử dụng.

Thành phần	Thành phần hoá, % khối lượng										
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MKN	Khác
XN	63,34	8,8	1,94	2,66	5,34	0,86	0,12	4,3	0,2	11,3	1,14
CL	25,31	55,12	1,35	0,53		-	0,37		0,01	0,41	16,9



Hình 1. XRD xỉ nhôm.



Hình 2. Xỉ nhôm nghiền mịn sử dụng trong nghiên cứu.



Hình 3. SEM xỉ nhôm.

Bảng 2. Tính chất của xỉ nhôm và phụ gia liên kết.

TT	Chi tiêu	Đơn vị	Phụ gia liên kết	Xỉ nhôm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,58	2,77
2	Khối lượng thể tích	kg/m ³	1100	1200
3	Độ ẩm	%	1,5	0,5
4	Lượng sót sàng 0,09 mm	%	10	5,2

Các vật liệu sử dụng trong nghiên cứu gồm xỉ nhôm (XN) và phụ gia liên kết (CL). Xỉ nhôm sau khi thu gom, phân loại, được gia công xử lý tại Công ty cổ phần INA (Phú Thọ). Thành phần hóa và tính chất của xỉ nhôm và phụ gia liên kết được thể hiện trong Bảng 1 và Bảng 2. Kết quả phân tích XRD, ảnh chụp SEM của xỉ nhôm được thể hiện trong Hình 1, Hình 3.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Các phương pháp tiêu chuẩn:

- TCVN 7453:2004 – Thuật ngữ và định nghĩa vật liệu chịu lửa.
- TCVN 7949:2008 – Vật liệu chịu lửa cách nhiệt định hình – Phương pháp thử
- + Phần 1: Xác định độ bền nén ở nhiệt độ thường;
- + Phần 2: Xác định khối lượng thể tích và độ xốp thực của vật liệu chịu lửa cách nhiệt định hình.
- TCVN 6530-3:2016: Vật liệu chịu lửa – Phương pháp thử - Phần 3: Xác định khối lượng thể tích, độ xốp biểu kiến, độ hút nước, độ xốp thực của vật liệu chịu lửa định hình sét đặc.

Phương pháp phi tiêu chuẩn: XRD, SEM để xác định cấu trúc tinh thể và thành phần pha khoáng trong vật liệu.

Phương pháp tạo hình:

- Phương pháp tạo hình dẻo: Đối với phương pháp tạo hình dẻo, hỗn hợp nguyên liệu gồm xỉ nhôm và phụ gia liên kết được phối trộn theo tỷ lệ ở trạng thái ẩm. Hỗn hợp sau khi trộn được ủ trong thời gian 24 giờ nhằm đảm bảo sự đồng nhất về thành phần và tạo điều kiện cho các phản ứng sơ bộ giữa các pha vật liệu. Sau thời gian ủ, hỗn hợp được tạo hình thành dạng viên, sau đó sấy ở nhiệt độ 105-110 °C đến khối lượng không đổi rồi nung trong lò nung thí nghiệm ở nhiệt độ 1250 °C và 1350 °C.

- Phương pháp tạo hình ép bán khô: Đối với phương pháp tạo hình ép bán khô, hỗn hợp nguyên liệu được phối trộn với tỷ lệ 85 % xỉ nhôm và 15 % phụ gia liên kết theo khối lượng. Hỗn hợp sau khi trộn được đưa vào khuôn và ép tạo hình với các lực ép: 50 kN, 100 kN và 150 kN. Sau đó, các mẫu được sấy ở nhiệt độ 105-110 °C đến khối lượng không đổi rồi nung trong lò nung thí nghiệm ở nhiệt độ 1250 °C và 1350 °C.

2.3. Cấp phối nghiên cứu

Sau quá trình nghiên cứu lý thuyết và tiến hành thử nghiệm, nhóm nghiên cứu đưa ra được cấp phối như Bảng 3 và Bảng 4.

Bảng 3. Cấp phối nghiên cứu theo phương pháp dẻo.

TT	Ký hiệu mẫu	Xi nhôm, %	Phụ gia liên kết, %	Nhiệt độ nung, °C
1	CL5-1250	95	5	1250
2	CL10-1250	90	10	
3	CL15-1250	85	15	
4	CL20-1250	80	20	
5	CL5-1350	95	5	1350
6	CL10-1350	90	10	
7	CL15-1350	85	15	
8	CL20-1350	80	20	

Bảng 4. Cấp phối nghiên cứu theo phương pháp ép bán khô.

TT	Ký hiệu mẫu	Xi nhôm, %	Phụ gia liên kết, %	Nhiệt độ nung, °C	Lực ép, kN
1	CL50-1250	85	15	1250	50
2	CL100-1250	85	15		100
3	CL150-1250	85	15		150
4	CL50-1350	85	15	1350	50
5	CL100-1350	85	15		100
6	CL150-1350	85	15		150

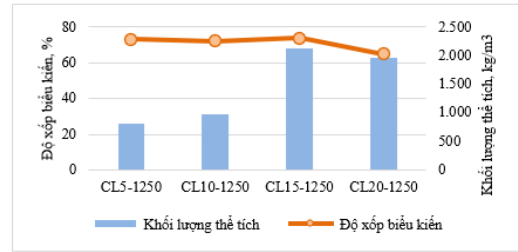
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Tính chất của cốt liệu chịu lửa tạo hình theo phương pháp dẻo

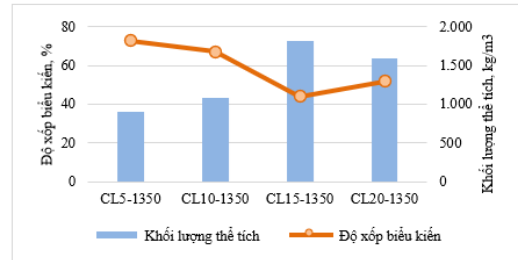
Kết quả thí nghiệm độ hút nước, khối lượng thể tích và độ xốp biểu kiến của mẫu cốt liệu chịu lửa (CLCL) chế tạo từ xi nhôm và phụ gia liên kết khi tạo hình theo phương pháp dẻo khi nung ở 1250 °C và 1350 °C được thể hiện trong Bảng 5 và Hình 4.

Bảng 5. Tính chất của cốt liệu chịu lửa tạo hình dẻo.

TT	Ký hiệu mẫu	Độ hút nước %	Khối lượng thể tích, kg/m ³	Độ xốp biểu kiến, %
$T_n = 1250\text{ }^\circ\text{C}$				
1	CL5-1250	91,32	803	73,32
2	CL10-1250	74,27	973	72,26
3	CL15-1250	34,58	2134	73,79
4	CL20-1250	33,24	1957	65,07
$T_n = 1350\text{ }^\circ\text{C}$				
5	CL5-1350	79,80	910	72,80
6	CL10-1350	61,30	1090	67,10
7	CL15-1350	24,40	1820	44,20
8	CL20-1350	32,30	1600	51,90

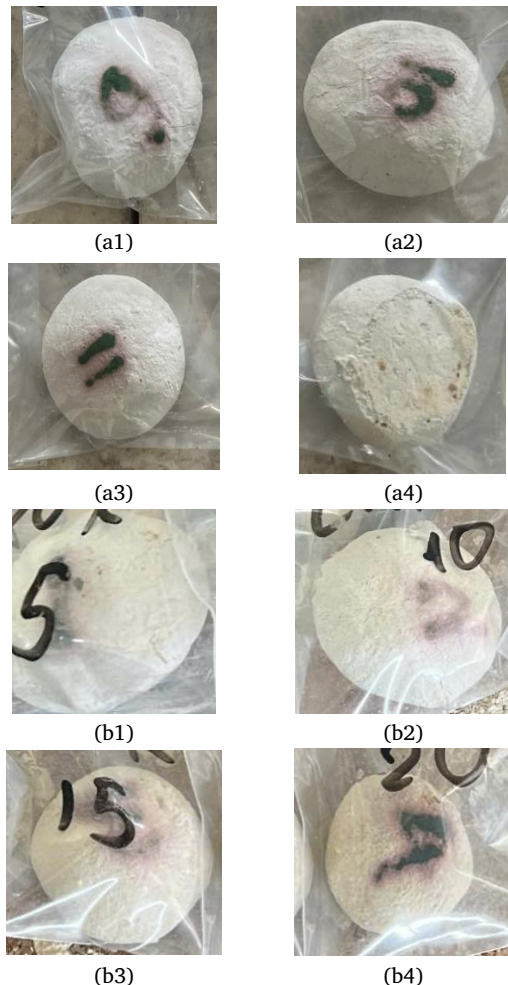


(a) nung ở 1250 °C



(b) nung ở 1350 °C

Hình 4. Khối lượng thể tích và độ xốp biểu kiến của CLCL tạo hình dẻo.



Hình 5. Mẫu cốt liệu chịu lửa tạo hình dẻo sau nung

(a1) CL5-1250; (a2) CL10-1250; (a3) CL15-1250; (a4) CL20-1250;
 (b1) CL5-1350; (b2) CL10-1350; (b3) CL15-1350; (b4) CL20-1350.

Các kết quả nghiên cứu cho thấy các mẫu cốt liệu chịu lửa đều đạt trạng thái kết khối với mức độ đặc chắc tăng dần khi hàm lượng phụ gia liên kết tăng lên đến 15 %, thể hiện qua độ hút nước giảm và khối lượng thể tích tăng. Khi nhiệt độ nung tăng từ 1250 °C lên 1350 °C, các mẫu có sự giảm mạnh về độ xốp biểu kiến cùng sự biến thiên khối lượng thể tích. Điều này chứng tỏ ở nhiệt độ cao đã thúc đẩy quá trình kết khối. Ở nhiệt độ 1350 °C, năng lượng nhiệt cao hơn làm xuất hiện pha lỏng từ các oxit dễ nóng chảy trong phối liệu. Pha lỏng này bao phủ các hạt rắn, lực mao dẫn kéo các hạt lại gần nhau, lấp đầy các lỗ hồng khí, dẫn đến việc giảm độ xốp biểu kiến và tăng khối lượng thể tích. Tại mẫu CL20 ở nhiệt độ 1350 °C, khối lượng thể tích giảm và độ hút nước tăng nhẹ so với CL15 có thể do tốc độ hình thành pha lỏng quá nhanh hình thành các lỗ rỗng trong cấu trúc cốt liệu.

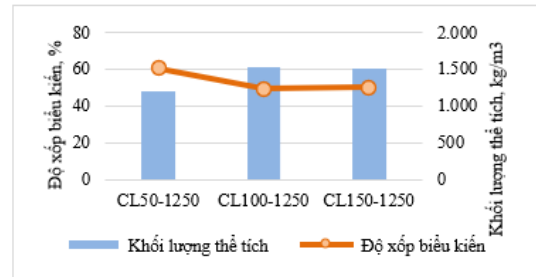
3.2. Tính chất của cốt liệu chịu lửa tạo hình theo phương pháp ép bán khô

Kết quả thí nghiệm độ hút nước, khối lượng thể tích và độ xốp biểu kiến của mẫu cốt liệu chịu lửa chế tạo từ xi nhôm và phụ gia liên kết khi tạo hình theo phương pháp ép bán khô khi nung ở nhiệt độ 1250 °C và 1350 °C được thể hiện trong Bảng 6 và Hình 6.

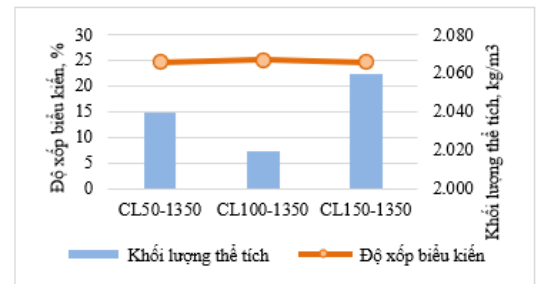
Kết quả cho thấy ở nhiệt độ nung 1250 °C, các mẫu cốt liệu có độ xốp biểu kiến rất cao (từ 50-60 %), độ hút nước rất cao (từ 30-50 %) và khối lượng thể tích thấp (từ 1200-1550 kg/m³) có thể là do cấu trúc cốt liệu chưa đạt được mức độ kết khối cần thiết, lỗ rỗng còn nhiều. Khi tăng nhiệt độ nung lên nhiệt độ 1350 °C, độ xốp biểu kiến giảm mạnh (24-25 %), độ hút nước giảm mạnh (12-12,5 %) và khối lượng thể tích tăng rõ rệt (từ 2020-2060 kg/m³). Đặc biệt, sự khác biệt giữa các mẫu khi ép ở các lực ép khác nhau là không đáng kể, cho thấy khả năng kết khối tốt với phương pháp ép bán khô. Khác với phương pháp tạo hình dẻo, cốt liệu chịu lửa tạo hình theo phương pháp ép bán khô có cấu trúc đặc chắc và độ đồng nhất cao hơn. Ở nhiệt độ cao hơn, pha lỏng xuất hiện nhiều hơn với độ nhớt thấp hơn, dễ dàng đi vào các lỗ rỗng mao quản được các hạt nén chặt bằng lực ép, giúp các hạt liên kết chặt chẽ hơn và giảm rõ rệt độ xốp biểu kiến và độ hút nước của cốt liệu.

Bảng 6. Tính chất của cốt liệu chịu lửa tạo hình theo phương pháp ép bán khô.

TT	Ký hiệu mẫu	Độ hút nước %	Khối lượng thể tích, kg/m ³	Độ xốp biểu kiến, %
$T_n = 1250\text{ }^\circ\text{C}$				
1	CL50-1250	50,0	1210	60,6
2	CL100-1250	32,1	1540	49,5
3	CL150-1250	33,2	1520	50,5
$T_n = 1350\text{ }^\circ\text{C}$				
4	CL50-1350	12,1	2040	24,7
5	CL100-1350	12,4	2020	25,1
6	CL150-1350	12,0	2060	24,7



(a) nung ở 1250 °C



(b) nung ở 1350 °C

Hình 6. Khối lượng thể tích và độ xốp biểu kiến của CLCL tạo hình ép bán khô.



Hình 7. Mẫu cốt liệu chịu lửa tạo hình ép bán khô sau nung (a1) CL50-1250; (a2) CL100-1250; (a3) CL150-1250; (b1) CL50-1350; (b2) CL100-1350; (b3) CL150-1350.

4. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu, nhóm nghiên cứu đã rút ra một số kết luận sau:

- Có thể chế tạo thành công cốt liệu chịu lửa từ nguyên liệu chính là xi nhôm với hàm lượng sử dụng trên 80 % khối lượng, giải quyết được bài toán ô nhiễm môi trường.

- Mẫu tạo hình bằng phương pháp ép bán khô có khối lượng thể tích lớn hơn, độ hút nước và độ xốp biểu kiến thấp hơn các mẫu tạo hình phương pháp dẻo.

- Mẫu cốt liệu chịu lửa chế tạo từ 85 % xi nhôm và 15 % phụ gia liên kết tạo hình theo phương pháp ép bán khô (lực ép 150 kN) ở 1350 °C có tính chất phù hợp để chế tạo cốt liệu chịu lửa với độ xốp biểu kiến 24,7 %, khối lượng thể tích 2060 kg/m³ và độ hút nước 12 %.

- Cốt liệu chịu lửa chế tạo từ nghiên cứu này có thể sử dụng trong ngành công nghiệp vật liệu chịu lửa và xây dựng bền vững và góp phần bảo vệ môi trường.

Tài liệu tham khảo

- [1]. PGS.TS. Nguyễn Đăng Hùng, Công nghệ sản xuất Vật liệu chịu lửa, NXB Bách khoa Hà Nội, 2006.
- [2]. Bộ Nông Nghiệp Và Môi Trường, Tình hình quản lý nhà nước về khoáng sản trên phạm vi toàn quốc năm 2024, 2025.
- [3]. Nguyễn Khanh, Vấn đề sản xuất nguyên liệu cho vật liệu chịu lửa ở nước ta, 2002.
- [4]. TS Lưu Thị Hồng, Hoàn thiện công nghệ sản xuất xi măng alumin từ chất thải công nghiệp. 30/21-ĐTĐL.CN. Viện Vật liệu xây dựng.
- [5]. Nguyễn Thị Thu Hà, Trần Thị Minh Hải, Hoàng Lê Anh, Nghiên cứu chế tạo cốt liệu chịu lửa cao nhôm thiêu kết cao cấp tabular cho ngành công nghiệp sản xuất vật liệu chịu lửa từ nguồn nguyên liệu trong nước, Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, T.11 S. 6, 2021.
- [6]. Lưu Thị Hồng, Tạ Văn Luân, Trịnh Thị Châm, Nguyễn Hải Long, Nghiên cứu tiềm năng sử dụng xi nhôm làm nguyên liệu thay thế trong sản xuất xi măng alumin, Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, T.15 S. 4, 2025.
- [7]. L. West, Benefits of Aluminum Recycling, Eferit, 1, 2024.
- [8]. P. Tsakiridis, Aluminium salt slag characterization and utilization – A review, Journal of Hazardous Materials, Vols. 217-218, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.03.052>.
- [9]. Cinarli, U., Turan, A. Investigation of Alumina-Based Ceramic Production from Aluminum Black Dross. Mining, Metallurgy & Exploration 38, 257–267, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00344-0>.
- [10]. Shailendra Kumar Verma, Vijay Kumar Dwivedi, Shashi Prakash Dwivedi, Utilization of aluminium dross for the development of valuable product – A review, Materials Today: Proceedings, 43 (1), 547–550, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.045>.
- [11]. Lei Zhang, Yuxiang Li, Ziming Cai, Gang He, Haoze Li, Yongping Pu, Rapid restoration potential of ancient porcelain via ultrafast-heating, Ceramics International, 52 (4), 4588–4597, 2026. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2025.12.231>.