



# TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC

## KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG (ERSD 2024)

HÀ NỘI 14 - 11 - 2024

**ERSD 2024**



**NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI**

**TIỂU BAN  
NHỮNG TIẾN BỘ TRONG CHẾ BIẾN  
KHOÁNG SẢN VÀ TÁI CHẾ**

## MỤC LỤC

Công nghệ thu hồi kim loại trong xỉ đồng trên thế giới và Việt Nam <i>Vũ Thị Chinh, Nhữ Thị Kim Dung, Phạm Thị Nhung</i> .....	973
Sử dụng hỗn hợp thuốc tập hợp trong tuyển nổi quặng đồng sunfua <i>Nhữ Thị Kim Dung, Vũ Thị Chinh, Phạm Thị Nhung, Lê Việt Hà</i> .....	982
Thực tế xử lý bùn đỏ tại các nhà máy nhôm trên thế giới <i>Lê Việt Hà, Phạm Văn Luận, Nguyễn Anh Tuấn</i> .....	990
Tổng quan về công nghệ chế biến và sử dụng than siêu sạch trên thế giới và triển vọng ứng dụng ở Việt Nam <i>Phạm Thanh Hải, Trần Trung Tới</i> .....	999
Nghiên cứu sử dụng bể lắng lamella bán công nghiệp để lắng đọng bùn thải xưởng tuyển rửa của Công ty Nhôm Đắk Nông - TKV <i>Phạm Văn Luận, Lê Việt Hà, Nguyễn Đăng Tấn, Nguyễn Bá Phong, Nguyễn Vũ Hoàng</i> ...	1010
Nghiên cứu công nghệ thu hồi than sạch từ tro bay của phân xưởng nhiệt điện tại Công ty Nhôm Đắk Nông <i>Phạm Thị Nhung, Trần Văn Được, Nhữ Thị Kim Dung, Vũ Thị Chinh, Phan Chí Khanh, Lưu Công Hậu</i> .....	1017
Nghiên cứu xác định chế độ thuốc tuyển hợp lý để tuyển quặng kẽm oxit mỏ Chợ Điền - Bắc Kạn <i>Đỗ Thị Như Quỳnh, Phạm Văn Luận, Lê Việt Hà</i> .....	1024
Tổng quan về các phương pháp thu hồi titan từ bùn đỏ của các nhà máy sản xuất nhôm <i>Phùng Tiến Thuật, Trần Trung Tới, Phạm Thị Loan, Vũ Văn Thảo, Nguyễn Văn Luân, Trần Trung Dũng</i> .....	1031

## Tổng quan về các phương pháp thu hồi titan từ bùn đỏ của các nhà máy sản xuất nhôm

Phùng Tiến Thuật<sup>1,3,\*</sup>, Trần Trung Tới<sup>1,3</sup>,  
Phạm Thị Loan<sup>2</sup>, Vũ Văn Thảo<sup>2</sup>, Nguyễn Văn Luân<sup>2</sup>, Trần Trung Dũng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Mở - Địa chất

<sup>2</sup>Công ty Nhôm Đắk Nông – TKV

<sup>3</sup>Nhóm nghiên cứu Công nghệ tiên tiến trong Chế biến khoáng sản và Tái chế (MinPro)

---

### TÓM TẮT

Trong quá trình sản xuất nhôm, tùy theo nguyên liệu đầu vào, ước tính để sản xuất 1 tấn nhôm sẽ thải ra từ 1 đến 1,5 tấn bùn đỏ. Ở Việt Nam, hiện tại có hai nhà máy sản xuất nhôm với tổng công suất khoảng 1,3 triệu tấn nhôm/năm, lượng bùn đỏ của hai nhà máy thải ra khoảng 1,2 triệu tấn/năm, trong đó có chứa các kim loại như Fe, Al, Ti,.... Hàm lượng titan tính theo oxit khoảng 3% đến 7%  $\text{TiO}_2$ . Hàm lượng này cao hơn cả hàm lượng  $\text{TiO}_2$  trong một số mỏ quặng titan. Do đó, đây có thể coi là một nguồn nguyên liệu rất có giá trị để thu hồi titan. Bài báo này sẽ trình bày một số đặc điểm của bùn đỏ và các phương pháp đang được nghiên cứu trên thế giới nhằm thu hồi titan từ bùn đỏ. Từ đó, định hướng cho các nghiên cứu xử lý một cách có hiệu quả đối với bùn đỏ của các nhà máy nhôm tại Việt Nam, góp phần tận thu khoáng sản, bảo vệ tài nguyên và môi trường.

*Từ khóa:* Tận thu bùn đỏ; xử lý bùn đỏ; tận thu titan; bùn thải nhôm

---

### 1. Đặt vấn đề

Titan là kim loại có giá trị sử dụng cao do có khả năng chống ăn mòn và tỷ lệ độ bền riêng theo trọng lượng cao. Hiện tại, titan đã được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau, bao gồm công nghiệp hàng không vũ trụ, công nghiệp đóng tàu và công nghiệp hóa chất (<https://vi.wikipedia.org/wiki/Titani>). Nguồn nguyên liệu để chế biến thu hồi titan được khai thác chủ yếu từ các mỏ quặng titan sa khoáng và quặng titan gốc. Tuy nhiên, gần đây các nghiên cứu cho thấy, trong bùn đỏ của quá trình sản xuất nhôm chứa một lượng titan đáng kể, và đây có thể coi là nguồn tài nguyên cho ngành công nghiệp chế biến titan (Li Wang và nnk, 2019; Matic và nnk, 2024; Nikhil Dhawan, 2021).

Bùn đỏ là chất thải rắn công nghiệp được sản xuất trong ngành công nghiệp alumina. Tùy theo nguyên liệu, ước tính khoảng 1,0–1,5 tấn bùn đỏ được tạo ra trong quá trình sản xuất 1 tấn nhôm (Li Wang và nnk, 2019; Shrey Agrawal, Nikhil Dhawan, 2021). Thành phần của bùn đỏ khá phức tạp, chủ yếu bao gồm  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  và các oxit khác (Li Wang và nnk, 2019; Matic và nnk, 2024; Nikhil Dhawan, 2021). Hàm lượng  $\text{TiO}_2$  trong bùn đỏ nhìn chung nằm trong khoảng từ 4% đến 12%, hàm lượng này thậm chí còn cao hơn ở các mỏ quặng titan.

Theo thống kê năm 2015, trữ lượng bùn đỏ trên thế giới đạt khoảng 4 tỷ tấn và lượng bùn đỏ dự kiến tăng khoảng 150 triệu tấn/năm (Li Wang và nnk, 2019; Matic và nnk, 2024). Tại Việt Nam, ngành công nghiệp bauxite-alumina mới chỉ phát triển khoảng 10 năm gần đây với 2 nhà máy chế biến nhôm, tổng sản lượng nhôm theo thiết kế đạt khoảng 1,3 triệu tấn/năm, lượng bùn đỏ thải ra khoảng 1,2 triệu tấn/năm (<https://www.statista.com/statistics>; Nguyễn Bá Phong, Phạm Thanh Hải, 2023). Sản lượng bùn đỏ sẽ tăng khi các nhà máy nhôm được xây dựng thêm hoặc mở rộng quy mô công suất. Điều này đang gây ra một áp lực lớn đối với việc lưu trữ và quản lý bùn đỏ.

Các phân tích ở trên cho thấy, vấn đề nghiên cứu thu hồi titan từ bùn đỏ không chỉ có ý nghĩa về mặt kinh tế đối với ngành công nghiệp titan mà còn góp phần tận thu khoáng sản từ bùn đỏ theo chủ trương thực hiện kinh tế tuần hoàn trong chế biến khoáng sản. Trong báo cáo này sẽ trình bày một số nghiên cứu trên thế giới hiện nay về bùn đỏ và phương án xử lý để thu hồi titan từ nguồn nguyên liệu này.

### 2. Đặc điểm thành phần của bùn đỏ

\* Tác giả liên hệ

Email: [phungtienthuat@humg.edu.vn](mailto:phungtienthuat@humg.edu.vn)

Bùn đỏ là vật liệu hạt cực mịn có kích thước hạt trung bình dưới 100  $\mu\text{m}$  tùy thuộc vào kích thước hạt của nguyên liệu ban đầu (Zhaobo Liu và Hongxu Li, 2015). Thành phần và tính chất của bùn đỏ phụ thuộc vào nguồn quặng và quy trình sản xuất. Hàm lượng sắt trong bùn đỏ thay đổi trong khoảng 7–24%,  $\text{SiO}_2$  trong khoảng 8–23%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  khoảng 7–19%, khoảng dao động về thành phần của các nguyên tố vi lượng cũng lớn.

Trên thế giới hiện nay, có 3 quy trình để sản xuất nhôm gồm quy trình bayer; quy trình thiêu kết và quy trình kết hợp bayer với thiêu kết. Mỗi quy trình phù hợp với một đối tượng quặng nhất định. Cũng bởi vậy mà bùn đỏ sản xuất theo các quy trình khác nhau sẽ có thành phần và đặc điểm khác nhau. Bùn đỏ theo quy trình Bayer có hàm lượng  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  và  $\text{Al}_2\text{O}_3$  cao hơn nhiều so với hai quy trình còn lại. Các đặc tính của bùn đỏ được tạo ra bằng quy trình kết hợp tương tự như các đặc tính được tạo ra bằng quy trình thiêu kết, đồng thời hàm lượng  $\text{CaO}$  và  $\text{SiO}_2$  trong bùn đỏ cao hơn nhiều so với quy trình của Bayer. Sự khác nhau về thành phần của bùn đỏ cũng tùy thuộc vào thành phần của quặng ban đầu ở các khu vực khác nhau (Li Wang và nnk, 2019). Bảng 1 và Bảng 2 thống kê về thành phần hóa học chính của bùn đỏ theo từng quy trình và ở các khu vực khác nhau.

*Bảng 1: Thành phần hóa học của bùn đỏ trong các quy trình chế biến nhôm khác nhau (Li Wang và nnk, 2019)*

Thành phần hóa học	CaO	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	$\text{Na}_2\text{O}$
Quy trình thiêu kết	38,09	9,18	6,66	18,1	6,72	4
Quy trình kết hợp	40,78	7,68	10,97	22,67	3,26	2,93
Quy trình Bayer	20,88	17,67	28,3	8,34	7,34	2,29

*Bảng 2: Thành phần hóa học của bùn đỏ ở một số khu vực trên thế giới (Li Wang và nnk, 2019)*

Khu vực	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	CaO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$
Úc (Quy trình Bayer)	27,7	40,5	19,9	-	2	3,5
Ấn Độ (quy trình Bayer)	21,9	28,1	7,5	10,2	4,5	15,8
Sơn Đông, Trung Quốc (Quy trình thiêu kết)	8,32	5,7	32,5	41,62	2,33	-
Hà Nam, Trung Quốc (Quy trình thiêu kết)	25,48	11,77	20,58	13,97	6,55	4,14
Sơn Tây, Trung Quốc (Quy trình Bayer)	10,5	6,75	22,2	42,25	3	2,55

Các thống kê cho thấy, biên độ dao động về tỷ lệ các thành phần kim loại trong bùn đỏ là khá lớn, tùy thuộc vào nguồn nguyên liệu và quy trình sản xuất. Đây cũng là khó khăn để nghiên cứu đưa ra một quy trình xử lý chung cho tất cả các loại bùn đỏ. Trong bùn đỏ, hàm lượng titan dao động trong khoảng 3,5% - 15%  $\text{TiO}_2$ . Với khối lượng lớn được thải ra hàng năm, bùn đỏ sẽ là nguồn nguyên liệu tiềm năng quan trọng để thu hồi titan (Li Wang và nnk, 2019; Gözde Alkan và nnk, 2017; Shoppert.A và Loginova. I. V, 2017).

### 3. Các phương pháp thu hồi Ti từ bùn đỏ

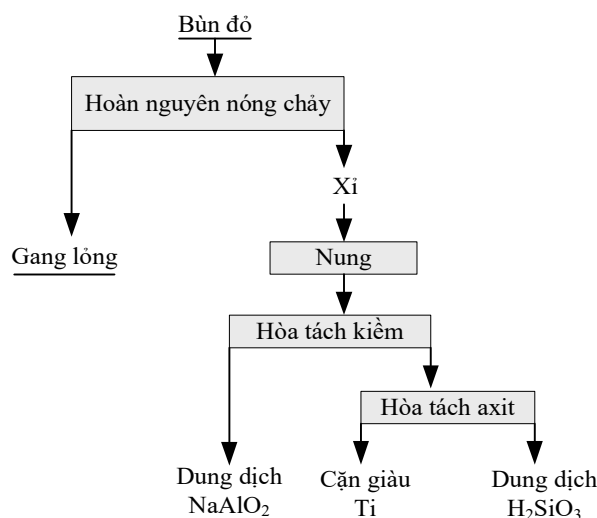
#### 3.1. Phương pháp hòa luyện

Hiện nay, các nghiên cứu trên thế giới thường dùng phương pháp hòa luyện, thủy luyện hoặc kết hợp để thu hồi titan. Các quy trình hòa luyện thường được sử dụng để thu hồi sắt từ bùn đỏ. Sản phẩm sắt thu được là gang lỏng và xỉ chứa titan, nhôm và silic. Sau khi thu hồi gang lỏng, xỉ được xử lý bằng quá trình hòa tách để thu hồi nhôm và titan (Chiara Bonomi và nnk, 2016; Siwei Li và nnk, 2023; Zhaobo Liu và Hongxu Li, 2015). Quy trình tổng quát về phương pháp này thể hiện như trong hình 1.

Phương pháp hòa luyện đã được thử nghiệm từ lâu bởi Ercag và Apak từ năm 1997. Trong nghiên cứu này, các tác giả đã tiến hành trộn bùn đỏ với dolomit và than cốc, sau đó vè viên và thiêu kết hỗn hợp ở nhiệt độ 1100  $^{\circ}\text{C}$ . Viên thiêu kết được đưa vào nấu chảy ở 1550 $^{\circ}\text{C}$ , sản phẩm thu được là gang và xỉ chứa titan. Xỉ được tách ra và đem hòa tách bằng  $\text{H}_2\text{SO}_4$  30% ở 90 $^{\circ}\text{C}$ , hiệu suất thu hồi titan theo trọng lượng xỉ là 84,7% (Ercag và Apak, 1997).

Phương pháp hòa luyện tiêu hao năng lượng lớn, hơn nữa thành phần của bùn đỏ chưa thực sự phù hợp cho quá trình luyện gang (Chiara Bonomi và nnk, 2016), do đó không có nhiều nghiên cứu về phương pháp này được công bố. Các nghiên cứu thu hồi titan từ bùn đỏ chủ yếu tập trung vào các quy trình thủy luyện bằng việc hòa tách trực tiếp trong axit hoặc sử dụng phương pháp hòa luyện như một quá trình tiền xử lý trước khi hòa tách.





Hình 1. Quy trình tổng quát xử lý bùn đỏ sử dụng kết hợp hóa luyện và thủy luyện

### 3.2. Phương pháp thủy luyện

Các quá trình thủy luyện được nghiên cứu theo 2 hướng: hòa tan trực tiếp titan sau đó tiến hành kết tủa thu hồi hoặc làm giàu titan bằng việc kết hợp hòa tan và thu hồi các kim loại khác.

Năm 2008, Agatzini-Leonardou và nhóm nghiên cứu của mình đã tiến hành hòa tách titan từ bùn đỏ bằng dung dịch  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ở nhiệt độ thường và không sử dụng bất kỳ biện pháp xử lý sơ bộ nào. Mẫu nghiên cứu có thành phần như trong bảng 3. Các chế độ công nghệ được khảo sát gồm: nồng độ axit từ 3-6N, nhiệt độ từ 40 – 60 °C và nồng độ pha rắn từ 5-20%.

Bảng 3. Thành phần bùn đỏ trong nghiên cứu của S.Agatzini-Leonardou và nhóm nghiên cứu (Agatzini-Leonardou và nnk, 2008)

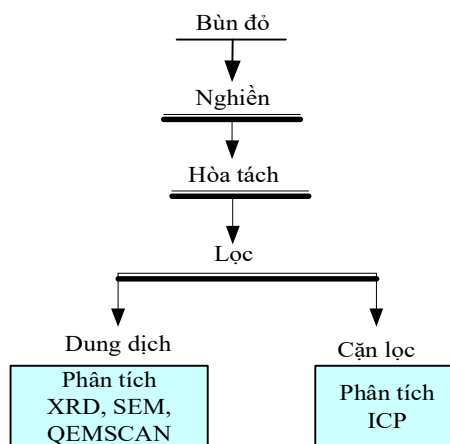
Thành phần	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{SiO}_2$
hàm lượng (%)	41,3	21,2	7,1	5,35
Thành phần	CaO	MgO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$
hàm lượng (%)	11,02	0,25	2,15	0,31

Theo kết quả nghiên cứu của S.Agatzini-Leonardou và cộng sự, hiệu suất thu hồi titan theo khối lượng bùn đỏ đạt 64,5% ở điều kiện tối ưu: nồng độ axit là 6N, nhiệt độ là 60°C và nồng độ pha rắn là 5%. Ở điều kiện đó, sắt cũng hòa tan theo khá nhiều. Khả năng hòa tan sắt đạt 46%, trong khi với nhôm không vượt quá 37% (Agatzini-Leonardou và nnk, 2008).

Năm 2017, Gözde Alkan và các đồng nghiệp đã thực hiện các nghiên cứu với axit sulfuric, axit clohydric và sự kết hợp của hai axit với tỷ lệ  $\text{HCl}:\text{H}_2\text{SO}_4$  là 1:3 trong cùng điều kiện thí nghiệm. Mục đích của các nghiên cứu nhằm đánh giá hiệu suất hòa tách của titan khi sử dụng các dung môi khác nhau. Điều kiện thí nghiệm với nồng độ axit là 4 mol/l, tỷ lệ lỏng/rắn là 50/1, hòa tách ở nhiệt độ 70°C. Mẫu sau hòa tách được đưa đi phân tích để đánh giá hiệu suất hòa tách titan (Gözde Alkan và nnk, 2017). Sơ đồ thí nghiệm thể hiện như hình 2.

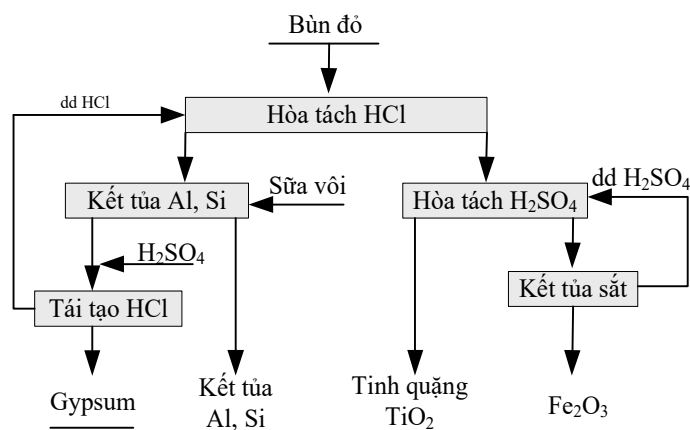
Kết quả thí nghiệm của Gözde Alkan và các đồng nghiệp đã xác định rằng: hiệu suất hòa tách titan cao nhất đạt 67% trong trường hợp hòa tách bằng axit sulfuric. Trong trường hợp sử dụng HCl, hiệu suất hòa tách titan không chỉ thấp hơn mà sắt cũng được hòa tan nhiều hơn, điều này có nghĩa là tính chọn lọc trong hòa tách titan giảm. Trong cả 3 trường hợp thì axit sulfuric là tốt nhất để xử lý bùn đỏ đối với titan. Gözde Alkan cũng lưu ý rằng, Fe có tác dụng cản trở quá trình hòa tan của Ti và cần có một lượng Fe hòa tan nhất định để quá trình hòa tan của Ti tốt hơn (Gözde Alkan và nnk, 2017 ).

Trong một nghiên cứu khác về quá trình hòa tách titan trong bùn đỏ bằng axit sunfuric, năm 2015, Xiao-bo ZHU và các đồng nghiệp đã bổ sung axit citric và trong axit sunfuric. Kết quả cho thấy việc bổ sung axit citric có thể làm tăng khả năng thu hồi titan và giảm tiêu thụ axit sulfuric. Khi sử dụng axit citric 5%, tỷ lệ thu hồi titan tăng từ 65% lên 82% và lượng tiêu thụ axit sulfuric giảm khoảng 30%. Tỷ lệ thu hồi titan tăng khi tăng tỷ lệ axit citric. Các khoáng perovskite, brookite và hematit trong bùn đỏ có thể dễ dàng hòa tan bằng axit citric (Xiao-bo ZHU và nnk, 2015).



Hình 2. Sơ đồ thí nghiệm theo nghiên cứu của Gözde Alkan và các đồng nghiệp năm 2017

Cũng nghiên cứu thu hồi titan từ bùn đỏ bằng quá trình hòa tách trong dung môi  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , Shoppert và I.V.Loginova đã sử dụng thêm công đoạn tiền xử lý mẫu bằng dung dịch HCl (Shoppert.A và Loginova.I.V, 2017). Sơ đồ thí nghiệm như hình 3.



Hình 3. Sơ đồ thí nghiệm hòa tách titan từ bùn đỏ của Shoppert và các đồng nghiệp năm 2015

Việc sử dụng dung dịch HCl loãng nhằm mục đích loại bỏ Ca, Na, Al, Si. Việc này cũng tránh sự thất thoát không mong muốn của axit sulfuric khi tạo thành thạch cao. Sau quá trình hòa tách bằng HCl, hàm lượng sắt và titan trong cặn tăng lên lần lượt là 57,7% và 6,4%. Giai đoạn thứ 2, hòa tách bằng  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , điều kiện hòa tách ở nhiệt độ  $50^\circ\text{C}$  và tỷ lệ  $\text{L/R} = 20:1$ , thực hiện khuấy trộn trong 90 phút với nồng độ axit sulfuric là 80g/L. Hàm lượng oxit titan trong cặn thu được lên tới 46,7%. Lượng titan hòa tan trong dung dịch  $\text{H}_2\text{SO}_4$  không quá 6% (Shoppert.A và Loginova.I.V, 2017).

Một nghiên cứu năm 2021 của Qingyuan Lei và các cộng sự đã thực hiện với bùn đỏ từ quy trình sản xuất nhôm theo phương pháp Bayer của Công ty TNHH Tập đoàn Pinglu Quảng Tây, Trung Quốc. Trong quy trình này, bùn đỏ ban đầu được hòa tách trong HCl, sắt hòa tan trong dung dịch sẽ được tách ra bằng quá trình chiết ly. Dung dịch sau chiết ly được sử dụng để thu hồi titan và Scandium. Hình 4 là mô tả cho quy trình nghiên cứu của Qingyuan Lei và các cộng sự.

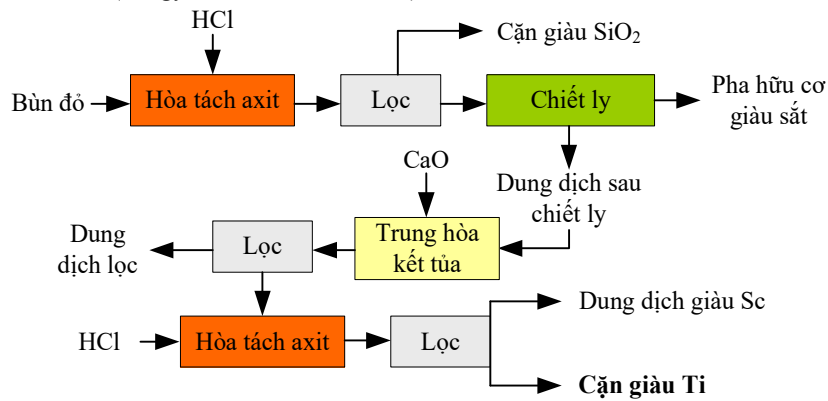
Dung dịch sau chiết ly có thành phần như trong bảng 4 sẽ được điều chỉnh pH bằng  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  để kết tủa chọn lọc Ti và Sc. Tiếp tục hòa tách chọn lọc Sc từ kết tủa này trong HCl để thu được cặn giàu Ti.

Bảng 4. Thành phần dung dịch sau chiết ly (Qingyuan Lei và cộng sự, 2021)

Nguyên tố	Ti	Sc	Al	Na	Ca	Fe	Zr	S
C (mg/l)	5354	19,5	13829	9012	20932	579,7	425	454

Qingyuan Lei và cộng sự xác định, việc tách và thu hồi có chọn lọc Sc và Ti từ dung dịch sau chiết ly đã đạt được thông qua quá trình kết tủa trung hòa và sau đó là hòa tách bằng axit. Trong giai đoạn kết tủa trung hòa, hiệu suất kết tủa tối đa của Sc và Ti có thể lần lượt đạt tới 93,74% và 99,47%. Trong giai đoạn hòa tách axit, hiệu suất hòa tách của Sc và Ti lần lượt là 99,97% và 5,44%. Tổng tổn thất của Sc và Ti lần

lượt chỉ là 6,3% và 5,9% (Qingyuan Lei và nnk, 2021).

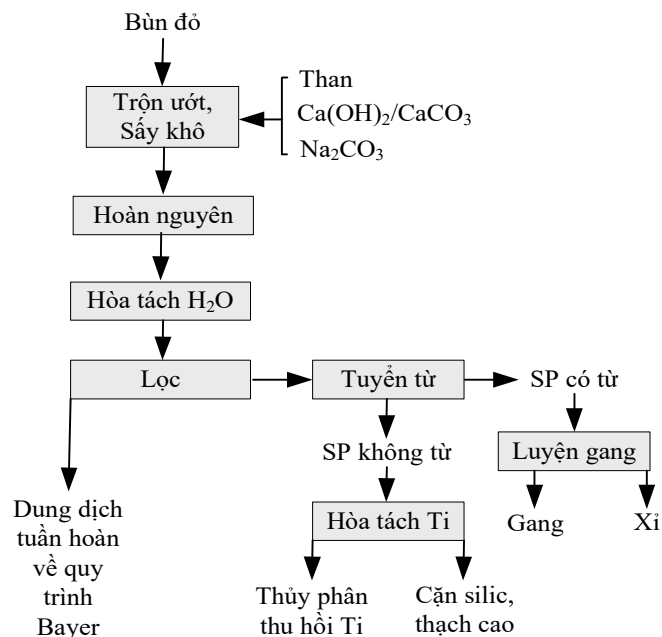


Hình 4. Quy trình trung hòa kết tủa để thu hồi Sc và Ti được nghiên cứu bởi Qingyuan Lei và cộng sự năm 2021

### 3.3. Phương pháp kết hợp quá trình hòa tách và tiền xử lý bằng nhiệt

Trong bùn đỏ, titan chủ yếu ở dạng anatase và rutile, và hàm lượng  $\text{TiO}_2$  khoảng 3,5–15,6%. Theo các báo cáo, anatase và rutile là các pha ổn định so với các khoáng chất khác có mặt trong bùn đỏ và cần nồng độ axit cao hơn để hòa tan (Nikhil Dhawan, 2021; Pepper và nnk, 2016). Do đó hiệu suất hòa tách trong các dung môi axit thường không cao.

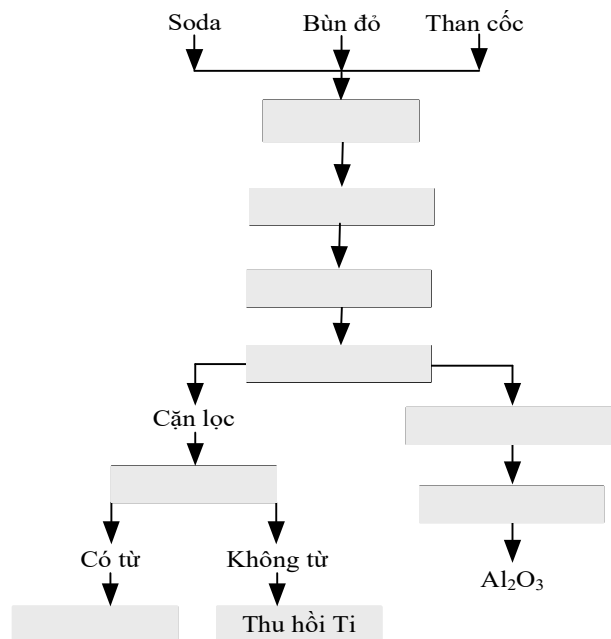
Một sơ đồ kết hợp quá trình nhiệt để tiền xử lý bùn đỏ, sau đó sử dụng các quá trình hòa tách để thu hồi Al, Fe và Ti đã được nghiên cứu năm 1993 bởi Piga và các đồng nghiệp (Piga và nnk, 1993). Quy trình xử lý được mô tả như hình 5.



Hình 5. Sơ đồ kết hợp thủy luyện và tiền xử lý nhiệt để thu hồi AL, Fe và Ti

Theo quy trình này, mẫu ban đầu gồm bùn đỏ, than, vôi và natri cacbonat được trộn đều sau đó nung trong lò ở nhiệt độ  $800^\circ\text{C}$  -  $1000^\circ\text{C}$ . Sản phẩm thiêu kết mịn thu được sẽ ngâm trong nước ở nhiệt độ  $65^\circ\text{C}$  trong 1 giờ. Kết quả xác định 89% nhôm được hòa tan vào dung dịch. Dung dịch này có thể tuần hoàn lại quy trình Bayer để sản xuất alumin. Cặn lọc tiếp đó được đem đi tuyển từ, sản phẩm có từ chứa Fe được đem đi nấu luyện thu hồi gang 73-79% Ti đi vào sản phẩm không từ sẽ được hòa tách trong axit để thu hồi Ti (Piga và nnk, 1993).





Hình 6. Sơ đồ sử dụng quá trình tiền xử lý nhiệt trước khi hòa tách của Kumar và Srivastava

Phương án này cũng được nhiều nhà khoa học nghiên cứu thử nghiệm, như nghiên cứu của Kumar và Srivastava năm 1998 (Hình 6). Nhưng quá trình tiền xử lý thực hiện ở nhiệt độ 750°C, thấp hơn so với nghiên cứu của Piga và các đồng nghiệp năm 1993.

Trong một nghiên cứu khác bằng phương án kết hợp hòa tách với xử lý nhiệt của Kasliwal và Sai, năm 1999, sản phẩm titan thu được dưới dạng cặn được làm giàu TiO<sub>2</sub> qua 2 bước. Bước đầu tiên là hòa tách trong dung dịch HCl để loại bỏ một lượng oxit sắt, canxi, natri và nhôm. Cặn hòa tách sau đó được thiêu kết với Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ở 1150°C trong 115 phút, sau đó được lọc bằng nước để hòa tan natri aluminate (hình thành trong quá trình thiêu), cặn rắn sau cùng được làm giàu TiO<sub>2</sub> lên tới 76% (Kasliwal và Sai, 1999).

Mặc dù có nhiều nghiên cứu tận thu titan từ bùn đỏ của các nhà máy nhôm, tuy nhiên chưa thấy có báo cáo nào về các kết quả triển khai thực tế sản xuất. Qua các công trình được công bố cho thấy, các quy trình hòa luyện, thủy luyện đều được sử dụng trong các nghiên cứu để xem xét khả năng thu hồi titan từ bùn đỏ. Trong đó, quy trình thủy luyện được nhiều tác giả quan tâm hơn cả. Trong quy trình này, các loại axit được sử dụng để tách trực tiếp titan hoặc hòa tan tạp chất để lại cặn không tan giàu titan. Tuy nhiên, công đoạn hòa tách được thực hiện với nồng độ axit cao và nhiệt độ cao nên gặp nhiều khó khăn trong quá trình thực hiện.

Phương pháp hòa luyện là quá trình nấu luyện bùn đỏ để thu hồi sắt dưới dạng gang lỏng, xỉ của quá trình nấu luyện sẽ được xử lý tiếp bằng các quá trình hòa tách để thu hồi nhôm và titan. Phương pháp này tuy đơn giản nhưng chi phí năng lượng cao, hơn nữa tính chất của bùn đỏ cũng chưa thực sự phù hợp để nấu luyện.

Để đạt hiệu quả cao trong quá trình hòa tách, việc sử dụng các quá trình xử lý trước nguyên liệu là cần thiết để tận thu tối đa các thành phần có ích trong bùn đỏ. Trong phương án này, các quá trình chiết ly và tuyển từ cũng được sử dụng kết hợp nhằm tách các thành phần kim loại thành các sản phẩm giá trị riêng biệt.

#### 4. Hiện trạng xử lý bùn đỏ ở Việt Nam

Việt Nam hiện nay có 2 nhà máy sản xuất nhôm bằng phương pháp Bayer. Lượng bùn đỏ thải ra hàng năm khoảng 1,2 triệu tấn (<https://vinacom.vn/>; Nguyễn Bá Phong, Phạm Thanh Hải, 2023). Hiện tại, chưa có một phương án xử lý nào ngoài việc thải ứ đọng và lưu trữ trong các hồ chứa. Các hồ chứa gây chiếm dụng một diện tích đất rất lớn, về lâu dài sẽ là một nguy cơ vô cùng lớn với môi trường. Hơn nữa việc quản lý và vận hành các hồ chứa đang tiêu tốn một khoản chi phí không nhỏ cho các công ty.

Về thành phần hóa học, trong bùn đỏ chứa phần lớn là oxit sắt, ngoài ra Al cũng đi theo bùn đỏ khoảng 8-15% tùy thuộc vào hàm lượng silic ban đầu, hàm lượng Ti dao động trong khoảng từ 3-7%. Bùn đỏ có kích thước hạt mịn, trên 90% cấp hạt dưới 0,074mm, độ kiềm của bùn đỏ cao, pH trong khoảng 12-13. Bằng nghiên cứu của mình, nhóm tác giả tiến hành phân tích xác định thành phần độ hạt, thành phần hóa học của 01 mẫu bùn đỏ tại nhà máy nhôm Đắk Nông-TKV, kết quả thể hiện ở Bảng 5.

Bảng 5. Thành phần độ hạt mẫu bùn đỏ của công ty nhôm Đắk Nông-TKV

Cấp hạt ( $\mu\text{m}$ )	Tỷ lệ %	Thành phần hóa học					
		$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{TiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$
+125	3,06	9,82	66,71	4,71	2,06	1,84	0,94
74-125	2,06	10,7	66,14	3,93	-	1,41	1,42
35-74	1,38	11,23	65,26	3,82	0,28	1,52	1,42
-35	93,5	18,43	44,57	7,11	7,06	2,08	3,3
<b>Cộng</b>	<b>100</b>	<b>17,91</b>	<b>45,98</b>	<b>6,93</b>	<b>6,67</b>	<b>2,05</b>	<b>3,16</b>

Kết quả phân tích cho thấy trong mẫu chứa tới 6,67%  $\text{TiO}_2$ , hàm lượng này là khá cao so với các mỏ quặng sa khoáng ven biển của Việt Nam. Ngoài ra còn chứa Fe, Al, Na,... với hàm lượng đáng kể.

Trên thế giới có nhiều nghiên cứu về các phương pháp thu hồi titan từ bùn đỏ, tuy nhiên do sự khác biệt về thành phần quặng của các khu vực mỏ, các quy trình sản xuất nhôm được áp dụng cũng khác nhau, dẫn đến sự không giống nhau về thành phần và tính chất của bùn đỏ. Do vậy không có một quy trình chung nào được áp dụng cho việc xử lý bùn đỏ. Phương pháp áp dụng cần dựa trên các nghiên cứu về đối tượng cụ thể.

Trong bùn đỏ ở Việt Nam, ngoài Ti, các kim loại Fe, Al, Na, Si,... cũng tồn tại trong bùn đỏ với một lượng đáng kể. Do đó, cần nghiên cứu các quy trình công nghệ hướng tới không chỉ thu hồi Ti và cần tận thu đồng thời các kim loại này.

## 5. Kết luận

Trên thế giới, từ lâu, bùn đỏ đã được xem xét là nguồn nguyên liệu trong tương lai cần nghiên cứu để thu hồi các kim loại có giá trị, trong đó có titan. Với hàm lượng titan dao động trong khoảng 3-15%, cao hơn hàm lượng titan trong một số mỏ quặng titan, bùn đỏ được coi là một nguồn nguyên liệu quan trọng để sản xuất titan. Vấn đề này được nhiều nhà khoa học trên thế giới quan tâm, cũng đã có nhiều công trình nghiên cứu cho thấy việc thu hồi titan và các kim loại khác từ bùn đỏ là hoàn toàn có thể.

Tại Việt Nam, hàm lượng  $\text{TiO}_2$  trong bùn đỏ dao động trong khoảng từ 3-7%. Với khối lượng hàng triệu tấn thải ra hàng năm, bùn đỏ sẽ là một nguồn tài nguyên giá trị để thu hồi titan. Trong bùn đỏ của Việt Nam cũng còn chứa một lượng lớn Fe, Al, Si, Na,... Để tránh lãng phí tài nguyên và tiết kiệm chi phí sản xuất, ngoài việc thu hồi titan, các quy trình công nghệ cần hướng tới việc tận thu đồng thời các kim loại này.

Hiện nay trên thế giới chưa có một quy trình chung nào được áp dụng để thu hồi titan từ bùn đỏ. Do đó cần thiết phải có những nghiên cứu thử nghiệm cụ thể trên đối tượng là bùn đỏ của Việt Nam. Cũng cần có những nghiên cứu kỹ lưỡng về các dạng tồn tại của các kim loại trong bùn đỏ, trên cơ sở đó định hướng cho các nghiên cứu nhằm đạt hiệu quả tối đa trong việc thu hồi titan và các kim loại khác với chi phí thấp nhất.

## Tài liệu tham khảo

Nguyễn Bá Phong, Phạm Thanh Hải, 2023. Nghiên cứu thăm dò thu hồi phèn nhôm và sắt (III) oxit từ bùn đỏ của công ty nhôm Đắk Nông – TKV. *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, số 6-2023, 15-23;

Agatzini-Leonardou.S, Oustadakis.P, Tsakiridis.P.E, Markopoulos.Ch, 2008. Titanium leaching from red mud by diluted sulfuric acid at atmospheric pressure. *Journal of Hazardous Materials* 157 (2008) 579–586;

Chiara Bonomi, Chiara Cardenia, Pritii Tam waiyin, Dimitrios Panias, 2016. Review of Technologies in the Recovery of Iron, Aluminium, Titanium and Rare Earth Elements from Bauxite Residue (Red Mud). *3rd International Symposium on Enhanced Landfill Mining*, Lisbon – Portugal, 8th – 10th February 2016, Pag 259;

Ercag E, Apak R, 1997. Furnace smelting and extractive metallurgy of red mud: recovery of  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , and pig iron, *J. Chem. Technol Biotechnol.* 70 (3) (1997) 241–246;

Gözde Alkan, Lars Gronen, Claudia Vonderstein, Srećko Stopić, 2017. A Mineralogical Assessment on Residues after Acidic Leaching of Bauxite Residue (Red Mud) for Titanium Recovery. *Metals* 2017, 7, 458;

Huang, Y., Chai, W., Han, G., Wang, W., Yang, S., Liu, J., 2016. A perspective of stepwise utilisation of Bayer red mud: step two-extracting and recovering Ti from Tienriched tailing with acid leaching and precipitate flotation. *J. Hazard. Mater.* 307, 318–327;

Kasliwal, Pankaj, Sai, P.S.T., 1999. Enrichment of titanium dioxide in red mud: a kinetic study.

*Hydrometallurgy* 53 (1), 73–87;

Kumar R, Srivastava J. 1998. Utilization of iron values of red mud for metallurgical applications. *Environ. Environmental and Waste Management*, pages 108-119;

Li Wang, Ning Sun, Honghu Tang \* and Wei Sun, 2019. A Review on Comprehensive Utilization of Red Mud and Prospect Analysis. *Minerals* 2019, 9, 362;

Matic Jovičević-Klug, Isnaldi R. Souza Filho, Hauke Springer, Christian Adam & Dierk Raabe, 2024. Green steel from red mud through climate-neutral hydrogen plasma reduction. *Nature* volume 625, pages 703-709, 2024;

Pepper, Rachel.A, Couperthwaite, Sara.J, Millar, Graeme.J, 2016. Comprehensive examination of acid leaching behaviour of mineral phases from red mud: Recovery of Fe, Al, Ti, and Si. *Miner. Eng.* 99, 8–18;

Piga.L, Pochetti.F, Stoppa.L, 1993. Recovering metals from red mud generated during alumina production. *JOM* 45 (11), 54–59;

Qingyuan Lei, Dewen He, Kanggen Zhou, Xuekai Zhang, Changhong Peng, Wei Chen, 2021. Separation and recovery of scandium and titanium from red mud leaching liquor through a neutralization precipitation-acid leaching approach. *Journal of Rare Earths*, Volume 39, Issue 9, September 2021, Pages 1126-1132;

Shrey Agrawal, Nikhil Dhawan, 2021. Evaluation of red mud as a polymetallic source – A review. *Minerals Engineering* 171, 2021 107084;

Shoppert.A and Loginova. I. V, 2017. Red Mud as an Additional Source of Titanium Raw Materials. *International Conference with Elements of School for Young Scientists on Recycling and Utilization of Technogenic Formations*, KnE Materials Science, 150-157;

Siwei Li, Zhengqi Guo \*, Jian Pan , Deqing Zhu, Tao Dong and Shenghu Lu, 2023. Extracting Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub> from Red Mud Smelting Separation Slag by Alkali and Acid Leaching Methods. *Metals* 2023, 13, 552;

Xiao-bo ZHU, Wang LI, Xue-mao GUAN, 2015. Kinetics of titanium leaching with citric acid in sulfuric acid from red mud. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 25, 2015, 3139-3145;

Zhaobo Liu, Hongxu Li, 2015. Metallurgical process for valuable elements recovery from red mud-A review. *Hydrometallurgy* 155, 2015. 29-43;

<https://vi.wikipedia.org/wiki/Titani>

<https://www.statista.com/statistics/1130149/vietnam-alumina-production/>

<https://vinacomin.vn/>

## ABSTRACT

### An overview of titanium recovery methods from red mud

Phùng Tiến Thuật<sup>1,3\*</sup>, Trần Trung Tới<sup>1,3</sup>,  
Phạm Thị Loan<sup>2</sup>, Vũ Văn Thảo<sup>2</sup>, Nguyễn Văn Luân<sup>2</sup>, Trần Trung Dũng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hanoi University of Mining and Geology

<sup>2</sup>Vinacomin – Dak Nong alumin company

<sup>3</sup>Research Group Advanced Technologies in Mineral Processing and Recycling (MinPro)

During the alumin production process, depending on the raw materials, it is estimated that to produce 1 ton of alumin, 1 to 1.5 tons of red mud will be discharged. In Vietnam, there are currently two alumina factories with a total alumina capacity of about 1.5 million tons/year, the amount of red mud discharged from the two factories is about 2 million tons/year, which contains metals such as Fe, Al, Ti,... Titanium content in terms of oxide is about 3% to 7% TiO<sub>2</sub>, higher than the TiO<sub>2</sub> content in some titanium ore mines. Therefore, this can be considered a very valuable raw material source for titanium recovery. This article will present some properties of red mud and methods being researched around the world to recover titanium from red mud. This information will guide future research to effectively treat red mud from alumina factories in Vietnam, contributing to mineral recovery and protecting resources and the environment.

**Keywords:** Bauxite residue; red mud; recovery titan