

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ TUYỂN QUẶNG GỐC VÀ SA KHOÁNG DELUVI MỎ TITAN CÂY CHÂM

KS. Vũ Tân Cơ, Th.S. Trần Thị Hiền
Viện Khoa học và Công nghệ Mỏ - Luyện kim

Báo cáo trình bày kết quả thí nghiệm tuyển mẫu quặng gốc mỏ titan Cây Châm với sơ đồ kết hợp tuyển trọng lực và tuyển nổi đã thu được quặng tinh có hàm lượng 46,44 TiO₂ và thực thu 76,35%. Khi tuyển mẫu quặng sa khoáng deluvi mỏ titan Cây Châm với sơ đồ kết hợp tuyển rửa, tuyển trọng lực và tuyển từ đã thu được quặng tinh có hàm lượng 50,59% TiO₂ và mức thực thu là 88,11%.

1. Mở đầu

Việt Nam có nguồn quặng titan với tổng trữ lượng các cấp (B+C₁+C₂) khoảng 14 triệu tấn, nếu tính cả tài nguyên dự báo, cả nước có khoảng 34.762 ngàn tấn.

Mỏ Titan Cây Châm phân bố ở phía Tây Bắc khối Núi Chúa Thái Nguyên, nằm sát rìa tiếp xúc của đá xâm nhập gabro phức hệ Núi Chúa với trầm tích hệ tầng, Phú Ngũ. Gabro phức hệ Núi Chúa có thành phần thạch học chủ yếu là: Đá gabronorit, gabro diorit, gabropegmatit, gabrolivin, pyroxenit, gabrodiabas, diabas. Trong đó gabrolivin chiếm phần trung tâm khối, phần rìa là gabropegmatit. Các đá thường có màu xám xanh, xanh lục, xanh thẫm cấu tạo khối, kiến trúc hạt từ nhỏ đến lớn. Thành phần khoáng vật chủ yếu của đá gabro là plagiocla 50–70%, pyroxen 25–30%, amfibol 3-5%, olivin 1–3%.

Mỏ titan Cây Châm có trữ lượng ở cấp B+C₁+C₂ là 4.832.400 tấn inmenit, trong đó quặng gốc là 4 441 600 tấn và quặng sa khoáng là 390.800 tấn inmenit.

Công nghệ tuyển quặng titan sa khoáng ven biển trong nước đã khá phổ biến bằng phương pháp tuyển trọng lực (chủ yếu tuyển bằng vít đứng) và tuyển từ đã có thể thu được quặng tinh đạt chất lượng xuất khẩu. Nhưng công nghệ tuyển quặng titan gốc và sa khoáng dạng eluvi-deluvi ở Việt Nam chưa tiến hành nghiên cứu. Vì vậy việc nghiên cứu công nghệ tuyển quặng gốc và sa khoáng deluvi mỏ Cây Châm là cần thiết.

2. Tình hình chế biến quặng titan gốc và sa khoáng

2.1 Tình hình chế biến quặng titan gốc và sa khoáng trên thế giới

Quặng gốc titanomanhetit là nguồn nguyên liệu quan trọng để sản xuất titan. Quặng này thuộc loại tổ hợp thường chứa sắt (manhetit và hematit), ngoài ra còn pyrit, apatit, nephelin... Vì vậy trong sơ đồ công nghệ tuyển hiện nay yêu cầu thu hồi tất cả các khoáng sản đi kèm. Để đạt được mục đích trên cần sử dụng các sơ đồ công nghệ, phối hợp các quá trình tuyển nổi, tuyển trọng lực và tuyển từ. Quặng gốc titanomanhetit và khoáng vật titanohematit có thể chia ra các loại inmenit-manhetit, inmenit-hematit và titanomanhetit.

Trong quặng inmenit-manhetit và inmenit-hematit, inmenit tồn tại ở dạng liên kết độc lập với manhetit, hematit hoặc các khoáng phi quặng. Khi làm giàu loại quặng này có thể nhận được quặng tinh titan và tinh quặng sắt đạt chất lượng tiêu chuẩn.

Trong quặng titanomanhetit, inmenit tồn tại ở dạng hạt tự do, nhưng một phần tồn tại ở dạng titanomanhetit, loại này không thể nhận quặng tinh titan và sắt riêng rẽ bằng quá trình tuyển cơ học. Sản phẩm titan được tách trong quá trình tách sắt (có từ) và chuyển vào xỉ khi luyện xỉ titan.

Để làm giàu quặng titanomanhetit có độ xâm nhiễm không đồng đều người ta sử dụng sơ đồ công nghệ gồm tuyển trọng lực, tuyển từ và tuyển nổi. Quặng sau khi đập đến -50 hoặc 60 mm qua tuyển từ tách đất đá vào quặng đuôi có độ hạt -60+15mm. Quặng được tiếp tục đập nghiền để tuyển trên bàn đãi, và tuyển nổi (các nhà máy tuyển “Mac-Intair (Mỹ); “Titania” (Na-Uy).

Đối với các khoáng vật inmenit xâm nhiễm mịn thường dùng phương pháp tuyển nổi để tuyển lại quặng đuôi của khâu tuyển từ (Các nhà máy vùng Kusin của Nga và “Otanmaki” của Phần Lan).

Tại nhà máy tuyển “Kusin” (Nga): đã tuyển tổ hợp quặng vùng Ural, thu được các sản phẩm là titan, sắt, pyrit và vanadi. Giai đoạn đầu sơ đồ tuyển của nhà máy gồm công đoạn tuyển từ khô, tuyển từ ướt và đãi lại sản phẩm titan trung gian. Quặng tinh sắt-vanadi thu được từ sơ đồ này chứa tới 66% Fe, 4,5% TiO_2 , 0,9% V_2O_5 ứng với thực thu 78% Fe và 80% V_2O_5 . Quặng tinh titan chứa 41 % TiO_2 với thực thu 37%. Trong quặng tinh titan còn chứa các tạp chất có hại khá cao: lưu huỳnh ở dạng pyrit (đến 0,9%), photpho ở dạng apatit (đến 0,19%), silic oxyt ở dạng granata-almandin (đến 6%) trong khi đó giới hạn cho phép của các tạp chất nói trên tương ứng không vượt quá 0,2; 0,008 và 2,5 %. Để nâng cao thực thu và chất lượng quặng tinh titan có thể sử dụng phương pháp tuyển nổi.

Một trong các sơ đồ thử nghiệm của nhà máy tuyển Kusin (Nga) là quặng sau đập được đưa tuyển từ để thải bỏ các khoáng silicat (sản phẩm không từ). Sản phẩm có từ được nghiền tới cỡ hạt 0,21 mm, được tuyển qua hai lần tuyển từ. Sản phẩm có từ (quặng tinh sắt) chứa gần 66 % Fe ứng với thực thu 80 %. Sản phẩm không từ sau khi cô đặc đưa tuyển nổi sunfua, quặng đuôi của tuyển nổi sunfua được tiếp tục tuyển inmenit với một tuyển nổi chính và hai lần tuyển tinh. Quặng tinh inmenit thu được chứa 43 đến 45 % TiO_2 với thực thu 68 – 70 %. Ở sơ đồ tuyển tiếp sau đã được hoàn thiện một cách đáng kể.

2.2. Tình hình chế biến quặng titan gốc và sa khoáng ở trong nước

Trong những năm gần đây, sa khoáng biển nước ta đã được khai thác ở hầu hết các khoáng sàng, trải đều trên các tỉnh ven biển với tổng sản lượng quặng tinh hàng năm tăng một cách nhanh chóng. Ngoài một số cơ sở có hệ thống thiết bị tương đối đồng bộ như: Tổng Công ty Khoáng sản và Thương mại Hà Tĩnh, Công ty liên doanh Bình Định-Malaysia (BIMAL), Công ty Khoáng sản Thừa Thiên –Huế (HUMEXCO), còn phần lớn các cơ sở khai thác và chế biến sa khoáng titan ven biển còn lại việc đầu tư thiết bị chấp

và không đồng bộ... dẫn đến hiệu suất thu hồi khoáng sản có ích thấp, chi phí sản xuất cao và đặc biệt là chất lượng các sản phẩm còn thấp (ngoại trừ quặng tinh inmenit), không phù hợp với tiêu chuẩn khu vực và thế giới.

Công nghệ tuyển quặng titan gốc và sa khoáng dạng eluvi - deluvi ở Việt Nam chưa được quan tâm. Tại một mỏ titan Cây Châm có đến ba công ty tham gia khai thác, nhưng mới chỉ khai thác sa khoáng eluvi-deluvi. Quặng nguyên khai được khai thác bằng máy gạt, máy xúc... và được vận chuyển vào xưởng tuyển thô. Các thiết bị ở xưởng tuyển thô thường là máy rửa và vít đứng. Thạch anh, bùn đất và các khoáng vật nhẹ khác được thải bỏ tại chỗ, tập hợp khoáng vật nặng (chủ yếu là inmenit) được sấy khô rồi đưa tuyển từ. Sản phẩm quặng tinh inmenit đạt hàm lượng xấp xỉ 50% TiO_2 . Mức thực thu không cao vì có tồn thất trong cấp hạt lớn và bùn thải.

3. Kết quả nghiên cứu tuyển mẫu quặng titan gốc mỏ Cây Châm

3.1 Thành phần vật chất mẫu nghiên cứu

Các kết quả phân tích cho thấy thành phần khoáng vật của mẫu nghiên cứu chủ yếu gồm: Inmenit, titanomanhetit chiếm tới ~44%, các khoáng sunfua sắt như: pyrit, pyrotin (~14%), các khoáng oxit sắt hematit, manhetit chiếm tới ~16 % , các khoáng phi quặng chủ yếu gồm amphybol, pyroxen, thạch anh, mica, biôtit... (~26%) ngoài ra còn gặp các khoáng vật khác như chalcopyrit, graphit, leucocen...

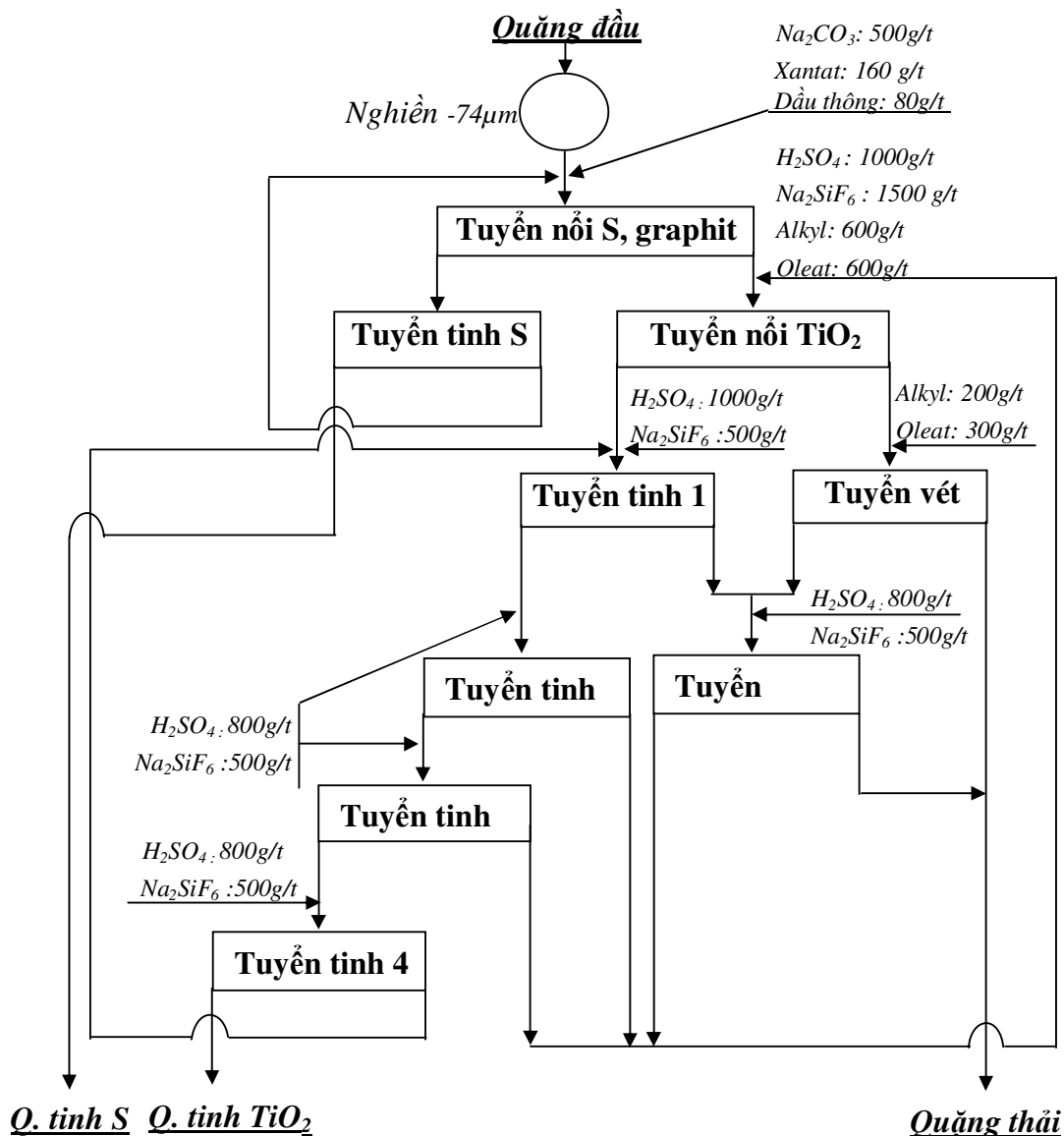
Quặng có cấu tạo khối đặc xít, ô, xâm tán, kiến trúc dạng tấm hạt, thường là tha hình, ít tấm tự hình, xếp sắp liền nhau tạo thành khối đặc xít, chỉ phân biệt được ranh giới hạt dưới hai nicol chéo. Các tấm có song tinh dạng tấm hoặc song tinh cắt chéo nhau. Trên bề mặt titanomanhetit xuất hiện hiện tượng limônit hoá và leucocen hoá với mức độ nhẹ tạo thành limônit và leucocen phát triển rải rác, đôi khi tạo thành các vi mạch hoặc bám theo ranh giới hạt... Kết quả phân tích mẫu nguyên khai nhận được hàm lượng $TiO_2=22,06\%$; $Fe_2O_3=37,19\%$, kết quả phân tích thành phần độ hạt của mẫu nghiên cứu cho thấy titan phân bố khá đồng đều trong các cấp hạt. Cấp-0.074 mm cũng có hàm lượng TiO_2 đến 14,36%, với phân bố 4,47%.

3.2 Các phương pháp thí nghiệm

Nghiên cứu áp dụng phương pháp tuyển trọng lực: Đã thí nghiệm tuyển trên vít đứng mẫu quặng titan gốc nhận được quặng tinh có chất lượng khá thấp hàm lượng TiO_2 chỉ đạt 27,73%, ứng với thực thu 70,09%. Phần titan mịn bị trôi vào quặng thải tương đối nhiều, cần được xử lý tiếp để thu hồi nâng cao thực thu sản phẩm. Kết quả thí nghiệm trên bàn đãi cũng đã nhận được quặng tinh không như mong muốn, hàm lượng TiO_2 đều thấp, cao nhất đạt là 34,12% ứng với thực thu 80,83%. Như vậy khả năng nhận được quặng tinh có chất lượng cao từ khâu tuyển trọng lực bằng bàn đãi và vít đứng sẽ không hiện thực.

Phương pháp tuyển từ: Đối với mẫu nghiên cứu, nếu chỉ bằng phương pháp tuyển từ sẽ không nhận được quặng tinh titan đạt chất lượng cao và các chỉ tiêu tuyển cũng ở

mức hạn chế. Khi tuyển từ quặng tinh bàn đãi các cấp -2mm và -1 mm cũng không nhận được quặng tinh chất lượng cao. Quặng tinh ở cấp từ trường 2A khi tuyển từ quặng tinh đãi cấp -1mm có hàm lượng TiO_2 cao nhất cũng chỉ đạt 39,34%. Do trong mẫu có chứa một lượng sunfua sắt (pyrit, pyrotin) nên quặng tinh tuyển từ thu được từ các thí nghiệm đã không đạt được chất lượng cao. Vấn đề này đã được giải quyết bằng phương pháp tuyển nổi và kết hợp giữa phương pháp tuyển nổi và tuyển trọng lực.



Hình 1. Sơ đồ công nghệ tuyển nổi quặng titan gốc Cây Châm

3.3. Kết quả thí nghiệm sơ đồ tuyển

Thí nghiệm sơ đồ tuyển nổi: Tuyển nổi theo sơ đồ như Hình 1 gồm 1 khâu tuyển chính sunfua, 1 khâu tuyển tinh sunfua, sản phẩm ngăn máy tuyển tinh sunfua được vòng lại khâu tuyển chính sunfua. 1 khâu tuyển chính titan, 1 khâu tuyển vết titan và 4 khâu tuyển tinh titan, 1 khâu tuyển trung gian sản phẩm bột vết và ngăn máy tuyển tinh 1. Các sản phẩm trung gian và bột khâu tuyển trung gian được vòng lại khâu tuyển chính titan.

Sản phẩm ngăn máy của khâu tuyển trung gian kết hợp với quặng thải khâu tuyển vét. Quặng tinh titan cuối cùng nhận được, có thu hoạch 37,04%, hàm lượng $TiO_2 = 45,68\%$, với thực thu TiO_2 là 76,88%. Quặng thải có hàm lượng $TiO_2 = 8,93\%$, với phân bố TiO_2 là 21,96 %.

Thí nghiệm sơ đồ kết hợp giữa tuyển trọng lực và tuyển nổi: Để nâng cao chất lượng quặng tinh titan, đã tiến hành thí nghiệm sơ đồ kết hợp giữa tuyển trọng lực và tuyển nổi. Sơ đồ gồm 1 khâu đãi, 2 nhánh tuyển nổi, mỗi nhánh gồm 1 khâu tuyển chính sunfua, 1 khâu tuyển tinh sunfua, sản phẩm ngăn máy tuyển tinh sunfua được vòng lại khâu tuyển chính sunfua. 1 khâu tuyển chính titan và 3 khâu tuyển tinh titan. Quặng đầu được nghiền tới -0,25 mm, đưa đãi trên bàn đãi, quặng tinh đãi tiếp tục được nghiền đến 86,67% cấp -0,074 mm và tuyển nổi riêng rẽ theo hai nhánh. Với sơ đồ phối hợp giữa tuyển trọng lực và tuyển nổi đã thu được quặng tinh titan 1 có chất lượng cao, hàm lượng TiO_2 đạt 49,05%, cao hơn sơ đồ tuyển nổi đến 3,37% (49,05% so với 45,68%) tuy nhiên thực thu TiO_2 lại giảm đi đáng kể (76,88% so với 60,41%). Ở sơ đồ này còn có sản phẩm quặng tinh titan 2 hàm lượng TiO_2 đạt 38,66% ứng với thực thu 15,94%, quặng tinh tổng hợp của sơ đồ có hàm lượng TiO_2 đạt 46,44% ứng với thực thu 76,35%.

4. Kết quả nghiên cứu tuyển mẫu quặng deluvi mỏ titan Cây Châm

4.1. Thành phần vật chất mẫu nghiên cứu

Các kết quả phân tích thành phần vật chất cho thấy thành phần khoáng vật của mẫu nghiên cứu chủ yếu gồm: Khoáng vật quặng chính trong mẫu là inmenit, titanomanhetit. Chúng có dạng tấm hạt, kích thước lớn 0,1-1-2mm tạo thành đám ổ, xâm tán đều trong phi quặng. Các khoáng oxit sắt chủ yếu là limônit, gotit, các khoáng phi quặng chủ yếu gồm thạch anh, ngoài ra, trong mẫu có gặp pyroxen tàn dư, một vài đám chalcopyrit dạng hạt nhỏ, tàn dư, phần lớn hạt đã bị biến đổi thành covelin, số lượng rất ít; các khoáng vật khác ít gặp hơn như graphit, leucocen... Quặng có cấu tạo khối, xâm tán, kiến trúc dạng tấm hạt tự hình, ít hạt tha hình, dạng keo, vẩy. Thành phần các khoáng vật chủ yếu theo cấp hạt phân tích bằng phương pháp phân tích trọng sa nhân tạo thu được Inmenit khoáng ~60%. Tạp chất chủ yếu là các khoáng vật sắt (limônit, hematit, manhetit) khoáng ~26%, thạch anh, caolinit và khoáng vật đá ~14 %.

Kết quả phân tích thành phần độ hạt cho thấy cấp hạt mịn -0,074 mm trong mẫu chiếm tỷ lệ khá lớn (43,92%), tuy nhiên phân bố TiO_2 trong cấp hạt này chỉ chiếm 11,79 %, trong đó cấp -0,04mm chiếm đến 40,19 % với phân bố TiO_2 đến 10,76 %. Titan nằm trong các cấp hạt thô khá đồng đều và chiếm tỷ lệ chủ yếu. Kết quả phân tích mẫu nguyên khai nhận được hàm lượng $TiO_2=21,70\%$; $Fe_2O_3=46,83\%$.

4.2. Các phương pháp thí nghiệm

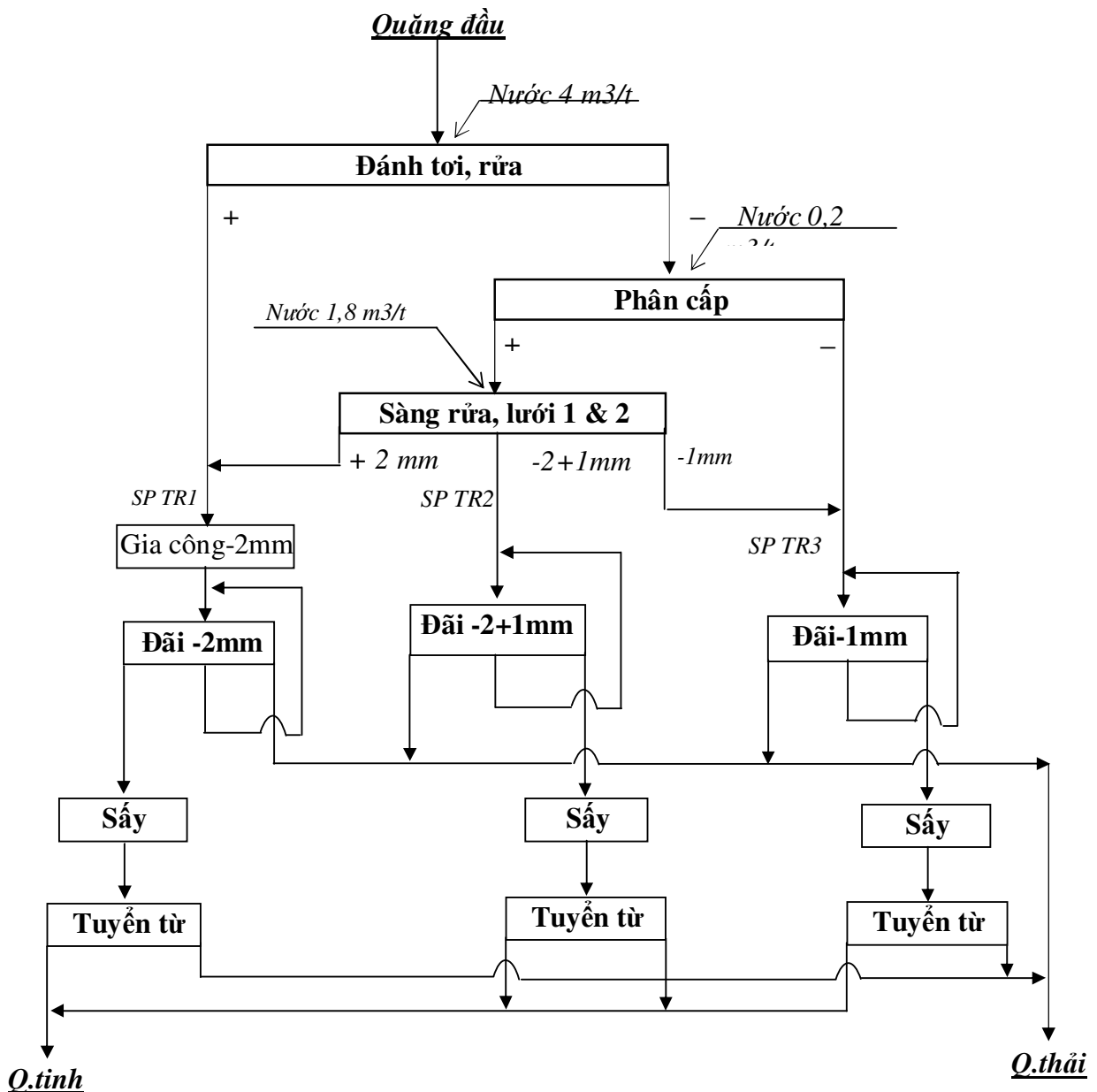
Đặc điểm của quặng titan sa khoáng deluvi mỏ Cây Châm là khoáng vật quặng inmenit phần lớn tồn tại dưới dạng hạt thô và một ít hạt nhỏ tồn tại cùng các khoáng vật không quặng và bùn sét. Kết quả nghiên cứu thành phần độ hạt mẫu cho thấy bằng phương pháp tuyển rửa có thể thu hồi các cấp hạt lớn vào quặng tinh thô, một phần nhỏ titan đi vào các cấp hạt mịn, bùn sét, có thể thu hồi bằng cách khử bùn sau đó đưa đãi để thu hồi quặng tinh.

Các sản phẩm titan thu được từ quá trình tuyển rửa đều có chất lượng thấp, chưa đảm bảo các yêu cầu chất lượng sản phẩm phục vụ cho xuất khẩu hay các khâu xử lý tiếp theo nên đòi hỏi phải tiếp tục tuyển nâng cao hàm lượng TiO_2 của các sản phẩm nói trên.

Đã tiến hành nghiên cứu khả năng nâng cao hàm lượng quặng tinh tuyển rửa bằng các phương pháp tuyển trọng lực trên bàn đãi và tuyển từ trên máy tuyển từ khô.

4.3. Kết quả sơ đồ thí nghiệm

Căn cứ vào những kết quả nghiên cứu thành phần vật chất mẫu quặng, thí nghiệm các chế độ tuyển như tuyển rửa, đãi, tuyển từ. Đã tiến hành nghiên cứu tiếp với các thí nghiệm sơ đồ kết hợp, nhằm kiểm tra lại các điều kiện và chế độ tuyển, đồng thời cũng để khẳng định lại các chỉ tiêu công nghệ tuyển có thể đạt được trong phòng thí nghiệm đối với mẫu quặng nghiên cứu. Đã tiến hành thí nghiệm trên sơ đồ công nghệ như Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ công nghệ tuyển quặng titan sa khoáng deluvi Cây Châm, Núi Chúa, Thái Nguyên

Sơ đồ công nghệ gồm 1 khâu sàng rửa đánh toí, 1 khâu đãi có phân cấp hạt hẹp -2 mm, -2+1mm, -1mm, tinh quặng bàn đãi đem sấy rồi tuyển từ khô. Thải bàn đãi và thải

tuyển từ gộp là quặng thái tổng hợp. Quặng tinh tuyển từ có thể gộp hoặc để tách riêng quặng tinh từng cấp hạt. Kết quả thí nghiệm thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm tuyển theo sơ đồ Hình 2

TT	Sản phẩm	Thu hoạch, γ %	Hàm lượng TiO ₂ , %	Thực thu TiO ₂ , %
1	Quặng tinh	37,20	50,59	88,11
2	Quặng thái	62,80	4,04	11,89
3	Tổng cộng	100,00	22,06	100,00

Kết quả tuyển theo sơ đồ đã nhận được quặng tinh titan với chất lượng cao, hàm lượng TiO₂ đạt yêu cầu xuất khẩu và đáp ứng mục tiêu đề tài đã đặt ra. Quặng tinh cuối cùng có thu hoạch 37,20%, hàm lượng $\beta_{\text{TiO}_2}=50,59\%$, với thực thu TiO₂ $\epsilon_{\text{TiO}_2}=88,11\%$. Quặng thái có thu hoạch 62,80%, hàm lượng $\beta_{\text{TiO}_2}=4,04\%$, với phân bố TiO₂ $\epsilon_{\text{TiO}_2}=11,89\%$.

5. Kết luận và kiến nghị

– Đã nghiên cứu xác định được sơ đồ công nghệ tuyển cho quặng titan gốc và sa khoáng deluvi Cây Châm, Núi Chúa, Thái Nguyên. Quặng tinh titan gốc cuối cùng có thu hoạch 36,27%, hàm lượng $\beta_{\text{TiO}_2}=46,44\%$, với thực thu TiO₂ là $\epsilon_{\text{TiO}_2}=76,35\%$. Quặng thái có thu hoạch 63,73%, hàm lượng $\beta_{\text{TiO}_2}=8,18\%$, với phân bố TiO₂ là $\epsilon_{\text{TiO}_2}=23,64\%$.

– Khi tuyển quặng sa khoáng deluvi thu được quặng tinh có thu hoạch 37,20%, hàm lượng $\beta_{\text{TiO}_2}=50,59\%$, với thực thu TiO₂ là $\epsilon_{\text{TiO}_2}=88,11\%$. Quặng thái có thu hoạch 62,80%, hàm lượng $\beta_{\text{TiO}_2}=4,04\%$, với phân bố TiO₂ là $\epsilon_{\text{TiO}_2}=11,8\%$.

– Kết quả nghiên cứu khẳng định khả năng và hiệu quả tuyển quặng titan gốc và sa khoáng deluvi Cây Châm, Núi Chúa, Thái Nguyên. Quặng tinh thu được đạt yêu cầu chất lượng sản phẩm cho thị trường trong nước cũng như xuất khẩu. Kết quả nghiên cứu đã mở ra triển vọng xử lý được nguồn quặng titan gốc và titan sa khoáng deluvi vùng Núi Chúa, Thái Nguyên.

Kiến nghị

– Nhanh chóng cải tiến công nghệ và thiết bị đưa các sơ đồ tuyển quặng deluvi đang hoạt động để giảm tổn thất tài nguyên.

– Cần tiếp tục nghiên cứu hoàn thiện sơ đồ công nghệ và thiết bị tuyển quặng gốc để nâng cao các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật và thu hồi các nguyên tố có giá trị đi kèm./.

Tài liệu tham khảo

1. “Báo cáo kết quả thăm dò inmenit mỏ Cây Châm” 1963, Nguyễn Đình Ánh-Liên đoàn Địa chất Đông Bắc.
2. ”Sổ tay Tuyển khoáng, các quá trình cơ bản” - Nhà xuất bản “Lòng đất” - Matxcova - 1983 (Tiếng Nga).
3. “Sổ tay tuyển khoáng, tập 3”. Lòng đất. Matxcova. 1974. Tiếng Nga.
4. A. A. Abramov, “Những phương pháp tuyển nổi làm giàu quặng” – Nhà xuất bản “Lòng đất” – Matxcova – 1984 (Tiếng Nga).
5. A. X. Tremhiak, “Tuyển quặng bằng phương pháp hóa học” - Nhà xuất bản “Lòng đất” - Matxcova - 1976 (Tiếng Nga).

6. L. IA. Subov, "Những thuốc tuyển nổi đã được cấp bằng sáng chế và ứng dụng của chúng", Nhà xuất bản "Lòng đất" - Matxcova - 1973 (Tiếng Nga).

7. S. I. Polkin, E.V. Adamov, "Tuyển quặng kim loại màu" - Nhà xuất bản "Lòng đất" - Matxcova - 1983 (Tiếng Nga).

8. V. P. Nebera, "Tình hình và phương hướng phát triển chủ yếu của phương pháp tuyển nổi ở nước ngoài" - Nhà xuất bản "Lòng đất" - Matxcova - 1974 (Tiếng Nga).

9. V. V. Trôixki "Tuyển rửa khoáng sản có ích". Lòng đất. Matxcova. 1978 Tiếng Nga.

10. V.I. Karmazin, V. V. Karuxin. "Các phương pháp tuyển từ". Lòng đất, Matxcova. 1978 Tiếng Nga.

11. V.N. Sôkhin, A. G. Lôpatin." Các phương pháp tuyển trọng lực". Lòng đất. Matxcova. 1980. Tiếng Nga.

12. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/titanium/>.

13. http://search.usgs.gov/results.html?cx=005083607223377578371%3Ab5ixbbpqpx0&cof=FORID%3A11&q=titalium&as_sitesearch=www.usgs.gov%2Fnewsroom&sa=Search+Newsroom#221.