



TỔNG QUAN VỀ CÁC THIẾT BỊ TUYỂN NỔI MỚI TRÊN THẾ GIỚI VÀ TRIỂN VỌNG ỨNG DỤNG TẠI VIỆT NAM

Nhữ Thị Kim Dung

Trường Đại học Mở - Địa chất, 18 Phố Viên, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 19/9/2024

Ngày nhận bài sửa: 11/11/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/11/2024

Tác giả liên hệ:

Email: nhuthikimdung@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Tuyển nổi được áp dụng công nghiệp trong chế biến khoáng sản từ đầu thế kỷ hai mươi, đến nay đã được hơn thế kỷ. Trong suốt thời gian dài này thiết bị tuyển nổi phổ biến hơn cả là các máy tuyển nổi dạng ngăn máy - bánh khuấy. Kết cấu thiết bị tuyển nổi này cũng ít thay đổi và chính vì vậy người ta gọi máy tuyển nổi ngăn máy - bánh khuấy là thiết bị tuyển nổi truyền thống. Trong nhà máy tuyển, mỗi công đoạn tuyển nổi sẽ gồm nhiều ngăn nổi tiếp nhau, dung tích ngăn to nhỏ tùy theo lưu lượng bùn, còn số lượng ngăn phụ thuộc vào thời gian tuyển nổi. Tuy nhiên càng ngày các máy truyền thống càng lộ nhiều khuyết điểm: Khó thiết kế các máy có dung tích lớn, dẫn đến số lượng lớn ngăn máy trong nhà máy; chi phí điện năng nhiều; chế độ khuấy trộn không tối ưu; bảo hành, bảo dưỡng khó khăn; khó khăn trong điều chỉnh công nghệ (các ngăn phải điều chỉnh khác nhau, chiều dày bọt trong các ngăn khác nhau...). Chính vì vậy trong vài chục năm gần đây người ta đã tập trung nghiên cứu các loại thiết bị mới có hiệu quả cao, giảm chi phí đầu tư và chi phí giá thành. Các thiết bị mới không có dạng ngăn máy - bánh khuấy gọi chung là các máy tuyển nổi không truyền thống. Bài báo này giới thiệu đặc điểm cấu tạo, nguyên lý của một số máy tuyển nổi mới quan trọng nhất, được sử dụng hiệu quả trong lĩnh vực chế biến khoáng sản trên thế giới và triển vọng ứng dụng ở Việt Nam.

Từ khóa: chế biến khoáng sản, thiết bị tuyển nổi, lưu lượng bùn

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tuyển nổi là phương pháp làm giàu khoáng sản dựa vào khả năng bám dính khác nhau lên bề mặt phân chia các pha như nước - không khí hoặc nước - dầu. Nói cách khác, phương pháp tuyển nổi được thực hiện dựa trên cơ sở sự khác nhau về các tính chất hóa lý của bề mặt các hạt khoáng vật. Tuyển nổi là quá trình phân tách khoáng vật dựa trên sự khác biệt về tính ưa, kỵ nước của hạt khoáng. Nguyên lý chung của phương pháp tuyển nổi là phân chia các pha rắn khác nhau hoặc tách các hạt chất rắn lơ lửng ra khỏi chất lỏng dựa vào khả năng bám dính của chúng lên các bóng khí hoặc giọt dầu và nổi lên trên bề mặt chất lỏng tạo thành bọt. Quá trình tuyển nổi được thực hiện trong

các thiết bị tuyển nổi. Thiết bị tuyển nổi phải đảm bảo huyền phù quặng ổn định không bị sa lắng; tạo các bọt khí có kích thước tối ưu và giữ được kích thước đó trong quá trình tuyển nổi; tạo chế độ thủy động học (khuấy) đủ mạnh để tạo ra tổ hợp bóng khí - hạt khoáng, nhưng cũng không được khuấy mạnh quá sẽ phá vỡ tổ hợp đó. Khuấy đủ mạnh còn để đảm bảo tính chọn riêng của quá trình, để cho những hạt không kỵ nước đủ rung khỏi bóng khí. Đồng thời, thiết bị tuyển nổi phải tạo ra một chế độ nổi ổn định, an toàn kho bóng khí khoáng hoá; tạo ra một lớp bọt hình thành ổn định và được tách ra khỏi máy với hiệu suất cao. Máy cần có năng suất cao, tổn ít năng lượng, thuận tiện chắc chắn khi sử dụng, dễ dàng sửa chữa, lắp ráp.



Sự khác biệt giữa các thiết bị tuyển nổi chủ yếu là cách thức tạo ra bọt khí, cũng như cách thức hình thành tổ hợp bóng khí - hạt khoáng (phương pháp thông khí cho bùn). Phân chia các thiết bị tuyển nổi còn theo nguyên lý chuyển động dọc theo máy của bùn đối với các máy kiểu máng, máy có cùng mức bùn chung và máy chia ngăn. Các thiết bị tuyển nổi truyền thống (cơ giới, cơ giới khí nén) có cấu tạo theo từng ngăn, gồm nhiều ngăn riêng (thường là ngăn kép), mỗi ngăn có bánh khuấy. Các loại máy này được áp dụng phổ biến trong thực tế. Máy tuyển nổi không truyền thống, bao gồm: Máy tuyển nổi cột, thùng đơn, DAF (máy thoát khí từ dung dịch), phân ly bọt, tuyển nổi trọng lực. Máy dạng tuyển nổi tách khí từ dung dịch: tuyển nổi cao áp, tuyển nổi chân không, tuyển nổi điện [5], [6].

Các máy tuyển nổi truyền thống có ưu điểm nổi bật là chế độ khuấy mạnh tạo xác suất va chạm và xác suất khoáng hoá bóng khí tốt; hoạt động ổn định; có tính vạn năng khi lắp ghép vào các sơ đồ tuyển khác nhau; thuận tiện cho việc tổ chức một sơ đồ tuyển nổi chỉ trên một dãy nhờ khả năng hút bùn ở một khoảng cách xa và có thể hút sản phẩm trung gian quay vòng. Nhưng chúng có nhược điểm: Tiêu hao nhiều năng lượng điện, vì phải khuấy mạnh mới hút được khí; hao mòn nhiều hệ thống bánh khuấy làm ảnh hưởng đến hoạt động của máy; khả năng hút và phân tán khí phụ thuộc nhiều vào khe hở giữa bánh khuấy và stator; do chế độ khuấy mạnh nên rất khó thiết kế máy lớn mà vẫn đảm bảo mức độ, phân tán khí đồng đều, hay không thiết kế được ngăn máy to; xác suất bảo toàn tổ hợp bóng khí - hạt khoáng kém do bị khuấy mạnh nên không tuyển được vật liệu thô quá [7], [8].

Vì những hạn chế của các thiết bị tuyển nổi truyền thống, trong vài chục năm gần đây người ta đã tập trung nghiên cứu, thiết kế các loại thiết bị tuyển nổi mới có hiệu quả cao, giảm chi phí đầu tư và chi phí giá thành. Các thiết bị mới không có dạng ngăn máy - bánh khuấy gọi chung là các thiết bị tuyển nổi không truyền thống. Nội dung bài báo trình bày một số máy điển hình, được sử dụng tương đối rộng rãi để tuyển khoáng sản trên thế giới và có một số ứng dụng tại Việt Nam.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Một số thiết bị tuyển nổi mới

2.1.1. Máy tuyển nổi trụ tròn (dạng Tankcell)

Tiền thân của các máy tuyển nổi Tankcell là các thùng khuấy được cải tạo để nâng cao năng suất nhà máy tuyển vào những năm 1980 thế kỷ trước. Khi đó đáp ứng nhu cầu nâng công suất nhà máy mà diện tích mặt bằng có hạn, một số nhà máy tuyển đã chuyển đổi một số thùng khuấy lớn thành các máy tuyển nổi để tuyển chính. Sau đó, sau khi phát hiện nếu chuyển đổi các ngăn máy sang dạng hình trụ tròn thì chế độ khuấy trộn dễ tối ưu hóa và chi phí năng lượng giảm hẳn. Từ đây, đầu những năm 1990 nhiều hãng bắt đầu chế tạo các ngăn máy có hình trụ tròn. Cuộc cách mạng các ngăn máy tuyển nổi diễn ra vào thời điểm chuyển đổi giữa hai thế kỷ. Các hãng sản xuất chạy đua để đưa ra các ngăn máy mới có dung tích lớn hơn và cho đến nay dung tích ngăn lớn nhất thuộc về hãng Outotec với dung tích ngăn lên tới 500 m³. Nói chung hiện nay các nhà máy tuyển nổi thiết kế mới, trừ những nhà máy quá nhỏ đều sử dụng các ngăn dạng Tankcell. Ưu điểm của thiết kế này, như các số liệu nghiên cứu và thực tế đã chỉ ra, có thể kể ra như sau:

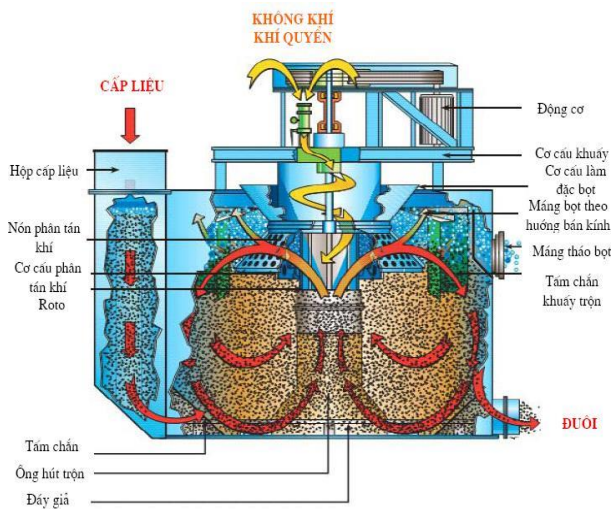
- Thiết kế dạng thùng tròn cho phép giảm đáng kể chi phí năng lượng so với ngăn thùng vuông. Các ngăn dạng này có chi phí năng lượng riêng (KW/m³ dung tích ngăn) giảm nhiều lần so với ngăn vuông truyền thống;

- Thiết kế thùng tròn cho phép thiết kế những ngăn máy có dung tích lớn. Đã từ lâu các nhà thiết kế luôn cố gắng tăng dung tích ngăn máy tuyển nổi vì các ngăn lớn đáp ứng nhu cầu xây dựng những nhà máy tuyển nổi lớn hơn, đồng thời có chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật cao hơn so với các ngăn nhỏ. Trong hàng chục năm trước, ngăn máy tuyển nổi chỉ tăng lên đến vài chục m³, nhưng khi chuyển sang ngăn tròn thì chỉ trong vài năm thì dung tích ngăn đã tăng đến vài trăm m³. Hiện tại, ngăn tự hút của Dorr-Oliver Eimco có dung tích đến 257 m³, còn ngăn Tankcell của Outokumpu có dung tích 500 m³. Còn một lý do đơn giản là các thùng tròn có kết cấu vững chãi hơn nhiều so với thùng vuông và điều này cho phép dễ thiết kế các thùng có dung tích khổng lồ;



- Các ngăn thùng tròn với dung tích lớn cho phép giảm số lượng ngăn trong dây chuyền máy (<10) và cho phép lắp đặt phân xưởng tuyển nổi ngoài trời với mặt bằng chiếm chỗ không lớn. Điều này làm giảm đáng kể chi phí đầu tư cơ bản về xây dựng nhà xưởng cũng như chi phí vận hành, bảo dưỡng. Thiết kế ngăn tròn được tối ưu hoá về thủy khí động học và dễ dàng tự động hoá. Chẳng hạn, Outokumpu có công nghệ thiết kế ngăn tuyển nổi gọi là “FloatForce” có sử dụng công cụ tính toán

động lực học chất lỏng bằng máy tính (Computational Fluid Dynamics - CFD). Công nghệ này cho phép thiết kế hình dáng, vị trí các chi tiết (stator, rotor) nhanh chóng, đảm bảo hoạt động tối ưu mà không phải chế tạo và thử nghiệm vật lý nhiều. Ba nhà sản xuất thiết bị tuyển nổi lớn nhất ngày nay đều đưa ra các ngăn tuyển nổi dạng này, Outokumpu với Tankcell, DorOliver Eimco với Smartcell (Hình 1) và Metso với serie RCS (Hình 2).



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý ngăn Smartcell [5]



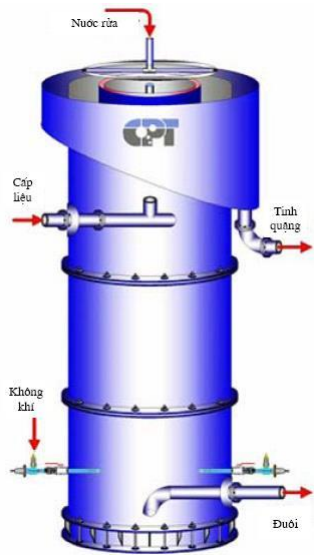
Hình 2. Mô hình ngăn máy RCS của hãng Metso [5]

2.1.2. Máy tuyển nổi cột truyền thống (cột Canada)

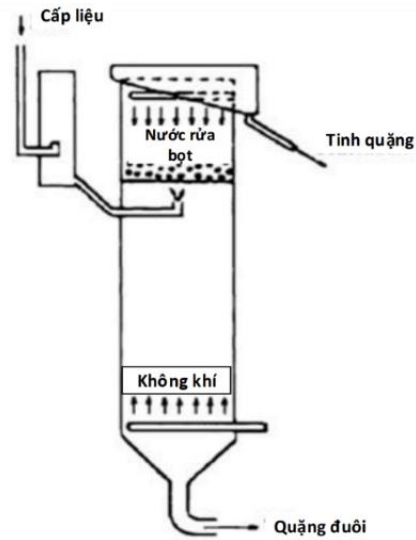
Máy tuyển nổi cột được bắt đầu quan tâm sau khi áp dụng thành công ở quy mô công nghiệp tại nhà máy tuyển molybden Mines Gaspé tại Canada năm 1980 [6]. Tại đây, với tuyển nổi cột từ 13 giai đoạn tuyển tinh đã giảm xuống còn 3 và lý do thật đơn giản: cột tuyển nổi cho phép duy trì chiều dày lớp bọt đến hơn 1m và có thể tổ chức cấp nước rửa bọt, điều mà không thực hiện được với máy tuyển nổi truyền thống. Máy tuyển nổi cột truyền thống này có dạng ống thẳng đứng (tiết diện vuông hoặc tròn) với tháo tải bọt ở đỉnh và tháo tải đuôi tại đáy. Một số điểm cơ bản khác biệt với máy tuyển nổi truyền thống: không có cơ cấu chuyển

động, duy trì được lớp bọt dày và bọt tự tháo tải, có hệ thống nước rửa bọt, cơ cấu tạo bọt khí bằng cách sục khí qua vật liệu rỗng hoặc vòi phun hỗn hợp nước/khí. So với máy tuyển nổi truyền thống thì tuyển nổi cột cho chất lượng quặng tinh cao hơn, chi phí ít hơn, song nhược điểm lớn nhất của các thiết bị tuyển nổi cột dạng này là thực thu thấp.

Ngày nay thiết bị tuyển nổi cột dạng Canada đã bị thay thế bởi các thiết bị tuyển nổi cột tiến tiến hơn. Hiện tại thiết bị tuyển nổi CPT vẫn được hãng Eriez (Mỹ) bán tại Bắc Mỹ. Nói chung thiết bị này được sử dụng trong các khâu tuyển tinh cũng như tại các xưởng tuyển nổi năng suất thấp. Hình 3 thể hiện sơ đồ nguyên lý máy tuyển nổi Canada, Hình 4 là sơ đồ nguyên lý máy tuyển nổi cột truyền thống.



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý máy tuyển nổi Canada [6]

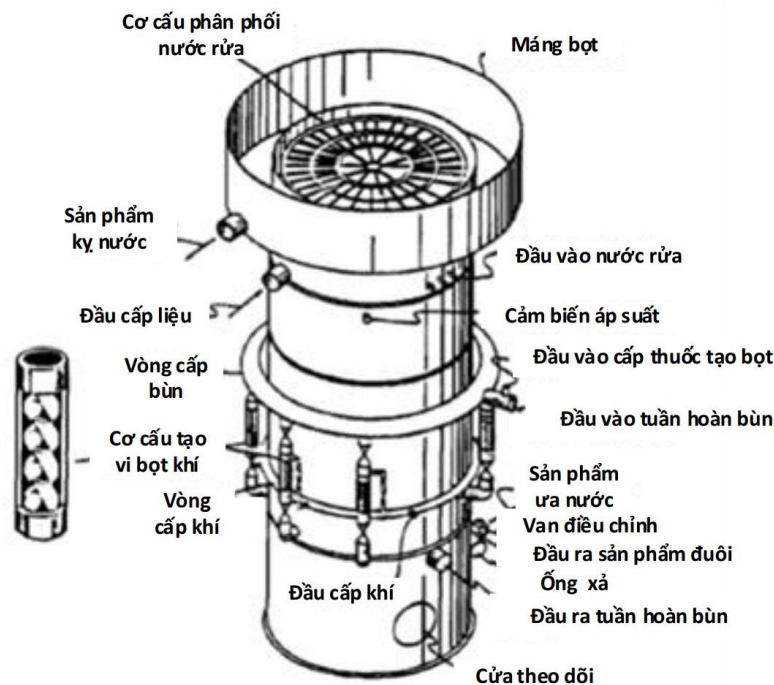


Hình 4. Sơ đồ nguyên lý máy tuyển nổi cột truyền thống [6]

2.1.3. Máy tuyển nổi cột Microcell

Máy tuyển nổi cột Microcell (Hình 5) là thiết kế của trường Đại học Bách khoa Virginia để tuyển bùn vật liệu kết hợp với khí nén đi qua ống trộn tĩnh (static mixer) và phun vào đáy cột. Khi đi qua ống trộn, không khí sẽ được phân tán thành những

than cực mịn và nay được Metso bán ra với thương hiệu CISA [2]. Đặc điểm nổi bật của thiết bị này là cơ cấu tạo bọt khí bằng cách bơm tuần hoàn bọt khí rất nhỏ (vài chục micromet so với vài trăm micromet ở máy tuyển nổi thông thường) phù hợp với tuyển những hạt vật liệu rất mịn.



Hình 5. Sơ đồ cấu tạo máy tuyển nổi Microcell [5]



2.1.4. Máy tuyển nổi dạng ống phun Jameson

Máy tuyển nổi dạng Jameson do giáo sư Graeme Jameson thuộc Đại học tổng hợp Newcastle phát minh vào năm 1989 rất phổ biến tại Australia ngày nay. Sự khác biệt cơ bản của máy Jameson so với các loại máy tuyển nổi khác là cách thức tạo ra bóng khí cũng như cách thức tương tác bóng khí hạt khoáng. Trong máy Jameson thì quá trình tạo bóng khí và tạo tổ hợp bóng khí diễn ra đồng thời, nhanh, hiệu quả cao trong cơ cấu được gọi là ống phun đứng hay downcomer. Đối với máy có năng suất lớn thì chia làm nhiều ống phun. Thiết kế này cho phép tăng hiệu suất va chạm hạt khoáng - bóng khí, đồng thời giảm đáng kể chiều cao cột tuyển nổi. Về mặt cấu tạo thì ngăn Jameson gồm ba vùng chính, mỗi vùng có chức năng riêng biệt trong quá trình tuyển nổi:

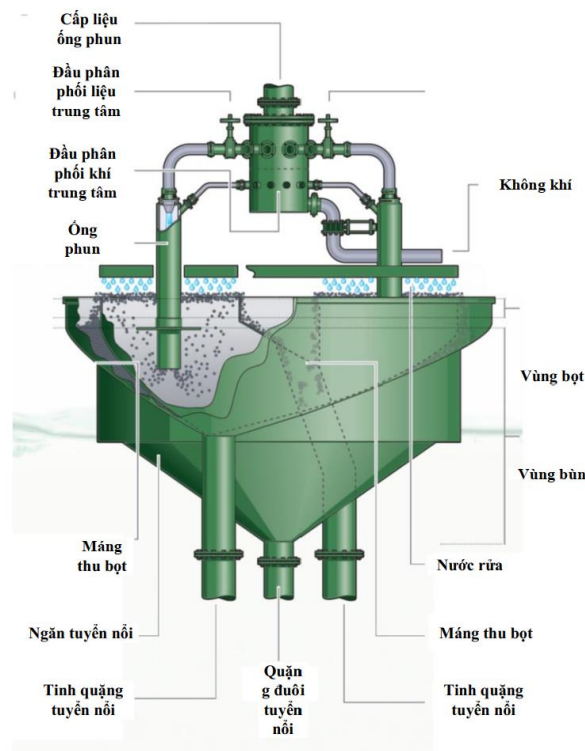
- Vùng thứ nhất - vùng downcomer là nơi tạo ra bóng khí và tạo ra tổ hợp bóng khí - hạt khoáng.

Bùn quặng được bơm vào ống phun bằng một vòi phun tạo ra một dòng chảy áp suất cao. Dòng chất lỏng này tạo ra một vùng chân không, hút khí từ ngoài khí quyển vào downcomer. Động năng của dòng chảy xé lượm khí hút vào thành các bóng khí nhỏ và tạo va chạm với các hạt khoáng trong bùn quặng. Do có bề mặt pha lỏng khí lớn cùng với quá trình khuấy trộn mạnh nên các hạt khoáng va chạm và bám dính với các bóng khí rất nhanh với năng suất cao;

- Vùng thứ hai là ngăn xả bùn từ vùng downcomer. Dòng bùn được giảm tốc độ, các tổ hợp bóng khí hạt khoáng được tách ra và nổi lên bề mặt ngăn;

- Vùng thứ ba là vùng rửa bọt. Nước rửa được cấp vào bề mặt bọt để róc trôi tất cả các hạt bẩn lẫn vào.

Hình 6 thể hiện sơ đồ nguyên lý máy tuyển nổi Jameson.



Hình 6. Sơ đồ nguyên lý máy tuyển nổi Jameson [5]

Nguyên lý và cơ chế tác dụng của downcomer được mô tả trong Hình 7. Tùy theo điều kiện thủy khí động học mà downcomer được chia làm các vùng: Dòng tự do, va chạm cảm ứng, khuấy trộn, dòng nhúng, và dòng chảy ống.

- Vùng dòng tự do là vùng mà dòng bùn quặng được phun ra từ vòi phun với áp suất cao. Dòng bùn này va sát mạnh với không khí và cuốn chung đi vào trong dòng bùn.

- Vùng va chạm cảm ứng là nơi dòng bùn phun va chạm với bề mặt nước trong ống. Kết quả va chạm tạo ra vùng lõm trên bề mặt nước và không khí được đưa vào.

- Vùng dòng nhúng là vùng dòng phun ma sát mạnh trong nước và các bóng khí bị phân tán thành các vi bóng khí (kích thước trung bình 0,3-0,5 mm) chuyển dịch xuống phía dưới.

- Vùng khuấy trộn: động năng dòng phun tạo ra các tâm xoáy thúc đẩy quá trình va chạm và hình thành tổ hợp bóng khí - hạt khoáng.

- Vùng dòng chảy ống: vùng mà các bóng khí và hạt khoáng di chuyển tích tụ ống tạo ra một dòng chảy nhiều pha đồng nhất đi xuống ngăn xả bùn



Hình 7. Nguyên lý ống phun trong máy tuyển nổi Jameson [5]

Các ưu điểm chính của ngăn máy Jameson:

- Năng suất cao và diện tích chiếm chỗ ít. Điều này do khả năng tạo ra các bóng khí nhỏ trên bề mặt bóng khí lớn, tốc độ va chạm bóng khí hạt khoáng và tốc độ tuyển nổi nhanh;

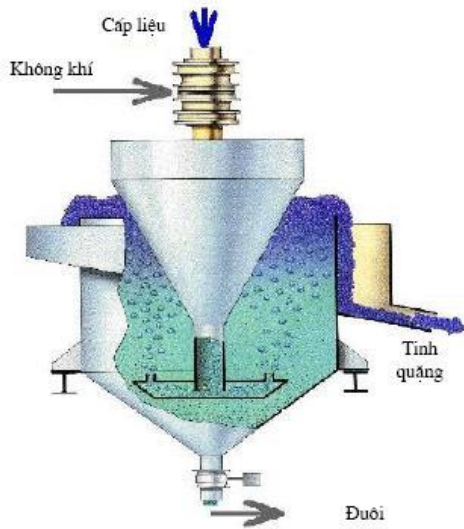
- Chất lượng quặng tinh cao: Kích thước bóng khí nhỏ, mức độ khuấy trộn lớn, tải trọng mang của bóng khí lớn cùng quá trình rửa bọt là các yếu tố đảm bảo chất lượng quặng tinh cao hơn so với máy tuyển nổi truyền thống. Các hạt tuyển nổi nhanh và được giải phóng có thể thu hồi bằng một giai đoạn để ra quặng tinh thành phẩm;

- Dễ điều chỉnh và thời gian ổn định thấp;

- Vận hành ổn định, nhu cầu bảo dưỡng thấp, lắp đặt dễ.

2.1.5. Máy tuyển nổi Pneufлот

Hệ thống tuyển nổi Pneufлот được lắp đặt đầu tiên tại Công ty Pittston Coal tại bang Pennsylvania để tuyển nổi than. Từ đó đến nay công nghệ này được sử dụng rộng rãi để tuyển nổi bùn than mịn, quặng phi kim, quặng sắt, quặng kim loại màu cơ bản như đồng, chì, kẽm, nickel và cả quặng vàng, bạch kim. Cùng một kích thước, không thay đổi về thiết kế, các máy này có thể tuyển nổi các vật liệu có độ hạt khác nhau trong khoảng 80% lọt qua lỗ lưới 45, 180, 350, 500 hoặc 1000 µm. Công ty sở hữu công nghệ này trước kia là Humboldt Wedag và nay là MBE-CMT đã cung cấp hàng trăm thiết bị cho ngành tuyển than cốc và than năng lượng tại các nước Trung Quốc, Ấn Độ, Australia và Châu Âu. Năm 2008, công nghệ Pneufлот được đưa vào để tuyển quặng kali độ hạt thô ở Nam Mỹ, tại đó chỉ một ngăn máy Pneufлот đã thay thế nhiều ngăn tuyển tinh tuyển nổi bánh khuấy truyền thống. Trên cơ sở kết quả đạt được này, công nghệ được chuyển sang tuyển quặng kali tương tự tại Bắc Mỹ. Các nhà sản xuất quặng sắt tại Nam Mỹ cũng đang nghiên cứu để sử dụng Pneufлот để tuyển nổi ngược quặng sắt manhetit siêu mịn tại đây (tuyển nổi thạch anh). So với các công nghệ tuyển nổi khác thì công nghệ Pneufлот cho độ chọn riêng cao hơn, ít hao mòn và ít chi phí năng lượng hơn. Điểm khác biệt cơ bản của thiết bị Pneufлот là cơ cấu tạo bọt khí. Bộ phận tạo bọt khí gồm các tấm gốm đặt sát nhau kích thước vài chục µm. Bùn quặng được bơm qua bộ phận tạo bọt khí đi vuông góc với các tấm gốm cuốn theo các bọt khí nhỏ tự hút qua các khe hở giữa các tấm gốm. Kết quả là đã tạo ra được các bóng khí với kích thước từ 0 đến 1000 µm. Kết cấu và cách hoạt động của cơ cấu tạo bọt thúc đẩy quá trình va chạm và tạo tổ hợp bóng khí - hạt khoáng. Một đặc điểm khác của máy Pneufлот là cơ cấu điều chỉnh khe tháo bọt, gọi là froth crowder. Cơ cấu này cho phép điều chỉnh độ đậm đặc và nhất là tốc độ chuyển động của bọt tuyển nổi. Một ưu điểm có thể kể ra là cùng một ngăn máy có thể sử dụng chúng như là ngăn tuyển chính, tuyển vét và tuyển tinh. Sơ đồ nguyên lý máy tuyển nổi Pneufлот cho ở Hình 8.

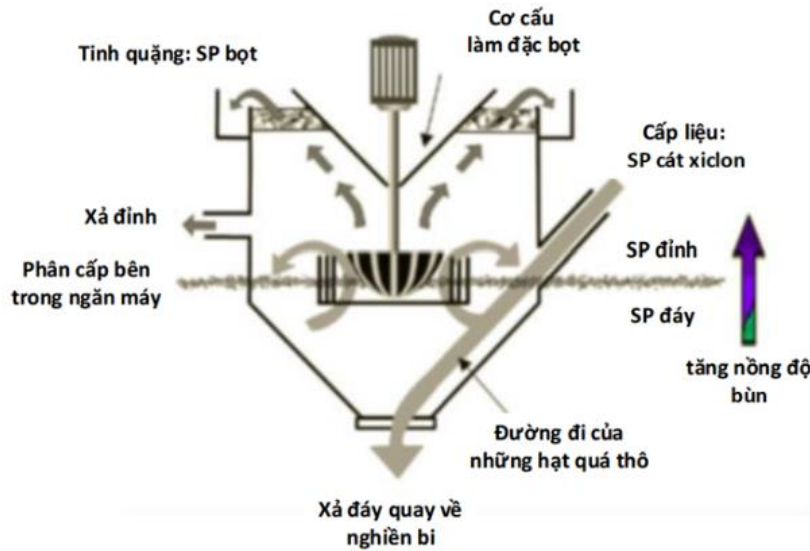


Hình 8. Sơ đồ nguyên lý máy tuyển nổi Pneufлот [5]

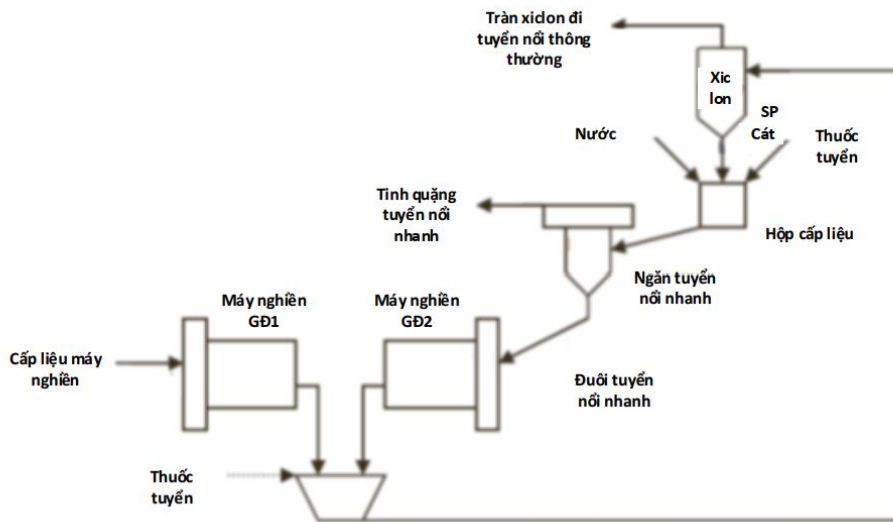
2.1.6. Máy tuyển nổi nhanh (Flash Flotation)

Tuyển nổi nhanh là công đoạn tuyển nổi các hạt khoáng được giải phóng có hàm lượng cao có trong tải tuần hoàn của sơ đồ nghiền phân cấp. Quan điểm "tuyển nổi nhanh" đã có từ lâu nhưng cho đến gần đây, khi mà xuất hiện các thiết bị phù hợp thì các sơ đồ có tuyển nổi nhanh mới được đưa vào thực tế. Như chúng ta đã biết, các khoáng vật quặng thường có khối lượng riêng cao hơn các khoáng vật đá thải trong khi lại mềm hơn chúng. Chính vì vậy trong các sơ đồ nghiền phân cấp chúng thường tập trung vào tải trọng tuần hoàn. Điều này dẫn đến hiện tượng quá nghiền các hạt khoáng vật có giá trị trước khi chúng có thể thoát ra đi vào sản phẩm của nước tràn máy phân cấp và làm cho thực thu tuyển nổi thấp. Nói chung thì điều kiện tuyển nổi trong sản phẩm cát xyclon phân cấp thì tốt hơn nhiều so với sản phẩm nước tràn. Các hạt trong sản phẩm cát xyclon có bề mặt sạch hơn, ít bề mặt bị ô xy hóa và không quá mịn để tuyển nổi (ít slam hơn). Chính vì vậy việc lắp đặt các ngăn máy tuyển nổi đặc biệt trong sơ đồ nghiền phân cấp sẽ cải thiện đáng kể kết quả tuyển toàn nhà máy. Thường thì sơ đồ Tuyển nổi nhanh được tổ chức như sau: Sản phẩm cát máy xyclon phân cấp trong sơ đồ nghiền vòng kín chảy vào hộp cấp liệu và được chia làm 2 dòng. Một dòng

chiếm khoảng một nửa hoặc 2/3 khối lượng dòng bùn được cấp liệu vào máy Tuyển nổi nhanh trong khi dòng còn lại quay trực tiếp về cấp liệu máy nghiền. Nước có thể được thêm vào để nồng độ bùn trong khoảng trên dưới 65%. Mặc dù quá trình tuyển nổi sẽ tốt hơn ở bùn loãng hơn nhưng như vậy phải cần thêm nhiều nước pha loãng và lượng nước này lại quay về máy nghiền và giảm hiệu quả nghiền. Các hạt khoáng vật có ích đã được giải phóng và có độ hạt phù hợp sẽ được tuyển nổi và đi vào quặng tinh. Lượng quặng tinh này thường chiếm khoảng 1-2% (đối với tuyển các loại quặng kim loại màu thông dụng) và có hàm lượng đủ để có thể ghép vào quặng tinh cuối cùng. Các hạt quá thô có thể tuyển nổi được thì đi vào đáy ngăn máy dạng hình côn và quay vòng lại máy nghiền. Cấp liệu của máy tuyển nổi nhanh có thể thô đến 10mm. Như đã nói ở trên thì lợi ích chính của tuyển nổi nhanh là tránh hiện tượng quá nghiền và slam hóa cấp liệu tuyển nổi. Ngoài ra Tuyển nổi nhanh còn góp phần ổn định hàm lượng cấp liệu tuyển nổi: khi hàm lượng quặng đầu cao lên thì khâu Tuyển nổi nhanh sẽ thu hồi lượng kim loại bổ sung để ổn định quá trình tuyển nổi. Hơn nữa quặng tinh tuyển nổi khi có Tuyển nổi nhanh sẽ thô hơn và thuận lợi cho quá trình khử nước sau đó. Ngăn máy Tuyển nổi nhanh (ví dụ như ngăn SkimAir của Outotec) thường có dạng máy tuyển nổi ngăn đơn có đáy hình côn (xem Hình 9) có bánh khuấy và cơ cấu cấp và phân tán khí. Bùn cấp liệu là sản phẩm cát xyclon phân cấp được tiếp xúc với thuốc tuyển và cấp vào ngăn máy tại cửa cấp liệu ở đáy phần hình trụ. Các hạt kỵ nước và nằm trong khoảng độ hạt phù hợp được tuyển nổi đi vào lớp bọt tháo tải phía trên, trong khi các hạt thô cũng như các hạt liên tinh không nổi được thì được tháo tải ở đáy con quay về cấp liệu máy nghiền. Trong một số trường hợp, phần mịn hơn của sản phẩm ngăn máy được tháo tải qua một cửa ở thành máy và ghép vào sản phẩm tràn xyclon đi tuyển nổi, và khi này thì ngăn tuyển nổi nhanh đóng vai trò phân cấp bổ sung cho xyclon. Ngày nay sơ đồ có tuyển nổi nhanh được sử dụng phổ biến trong tuyển nổi các quặng đồng, nickel và vàng. Chẳng hạn ngăn SkimAir của Outotec hiện có số lượng đến hơn 200 ngăn đang hoạt động trên thế giới. Sơ đồ có Tuyển nổi nhanh được thể hiện trên Hình 10.



Hình 9. Sơ đồ nguyên lý ngăn Tuyển nổi nhanh [5]



Hình 10. Sơ đồ tuyển nổi nhanh [5]

2.1.7. Tuyển nổi - trọng lực

Như chúng ta được biết, trong quá trình tuyển nổi thì giai đoạn phân tách tổ hợp bóng khí - hạt khoáng ra khỏi bùn quặng có bản chất trọng lực. Tổ hợp bóng khí hạt khoáng do có tỷ trọng nhẹ hơn nước nên nổi lên khỏi bùn tuyển nổi, vào sản phẩm bột và được tách ra ngoài. Tuy nhiên các hạt thô quá không tuyển nổi được cho dù chúng kỵ nước và bám vào được bóng khí. Nguyên nhân là do trong điều kiện thủy động học của ngăn máy tuyển nổi thì trọng lực cũng như các lực ly tâm sinh ra

luôn phá vỡ các tổ hợp bóng khí - hạt khoáng hình thành và do đó ngăn cản các hạt thô đi vào sản phẩm bột. Để khắc phục hiện tượng trên, người ta kết hợp quá trình tuyển nổi và tuyển trọng lực, tức là tuyển nổi vật liệu trong một thiết bị trọng lực nào đó và các quá trình này được gọi là tuyển nổi - trọng lực. Trong các tài liệu tham khảo [3],[7],[8] có mô tả các quá trình tuyển nổi - máy lắng, tuyển nổi - phân ly vít, tuyển nổi bàn đãi. Trong các quá trình trên, vật liệu được xử lý thuốc tuyển để tạo sự khác biệt về tính ưa kỵ nước của các hạt vật liệu cần phân tách trước khi cấp vào thiết bị trọng lực.

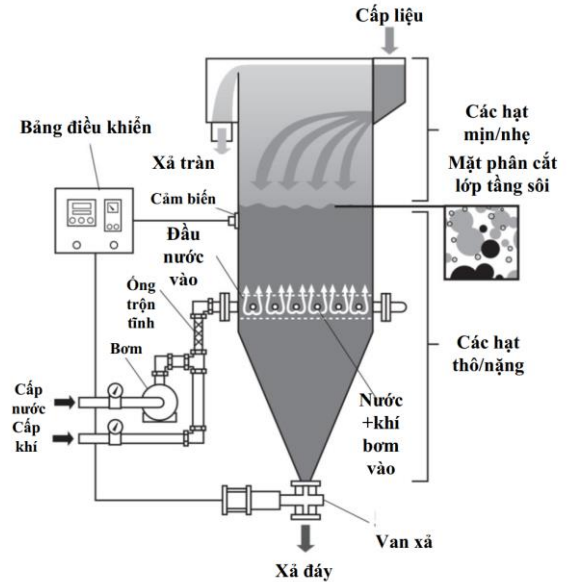
Thông thường ngoài các thuốc tập hợp phổ biến thì người ta bổ sung thêm dầu không cực để tăng cường độ kỵ nước của hạt vật liệu thô. Trong quá trình tuyển nổi - máy lắng, nước dưới lưới được cấp dưới dạng hỗn hợp nước - bóng khí trong đó pha khí được phân tán dưới dạng các bóng khí mịn. Các bóng khí này khi đi qua lớp vật liệu sẽ bám dính vào các hạt kỵ nước, tạo tổ hợp với chúng và thúc đẩy quá trình phân tầng vật liệu trong đó các hạt kỵ nước tập trung trên bề mặt lớp vật liệu. Trong quá trình tuyển nổi bàn đãi thì các hạt kỵ nước được tiếp xúc với không khí khi chúng vượt qua các gờ đặt vuông góc với các gờ thông thường của bàn đãi và sau đó nổi trên bề mặt màng nước tương tự như tuyển nổi màng. Quá trình tuyển nổi bàn đãi được áp dụng phổ biến để tuyển tách khử lưu huỳnh ra khỏi các quặng tinh trọng lực, ví dụ như tách arsenopyrit ra khỏi quặng tinh thiếc. Gần đây, tại Trường Đại học Virginia (Mỹ) đã nghiên cứu phát triển quá trình tuyển kết hợp tuyển nổi với tuyển tầng sôi trong thiết bị gọi là Hydrofloat. Thiết bị này về cấu tạo hoàn toàn giống như thiết bị tuyển tầng sôi cấp liệu theo phương ngang (máy Crossflow TBS). Sự khác biệt ở đây là nước tạo tầng sôi được sục khí và chứa các bóng khí nhỏ được tạo ra bởi các ống khuấy tĩnh (static mixer). Vật liệu được gia công với các thuốc tuyển cần thiết để tạo ra sự khác biệt về tính kỵ nước giữa các khoáng vật cần phân tách. Bọt khí khi đi qua lớp tầng sôi sẽ va chạm, tạo tổ hợp với hạt kỵ nước và thúc đẩy các hạt này đi vào sản phẩm nhẹ thoát ra qua ngưỡng tràn ở trên. Các hạt ưa nước tích tụ và được tháo ra tại đáy thiết bị. Sơ đồ cấu tạo và hoạt động của thiết bị Hydrofloat được trình bày tại Hình 11. Các thiết bị tuyển nổi - trọng lực cho phép nâng cao độ hạt tuyển nổi đến vài mm.

2.2. Triển vọng ứng dụng thiết bị tuyển nổi mới tại Việt Nam

2.2.1. Các nhà máy tuyển sử dụng máy tuyển nổi trụ tròn (Tankcell)

Ở Việt Nam, các nhà máy trong nước đang sử dụng Tankcell có thể kể đến: Nhà máy tuyển quặng đa kim Núi Pháo - Thái Nguyên (nhà máy đã được các chuyên gia Úc thiết kế và đưa vào vận hành từ

năm 2013); Nhà máy tuyển đồng Sin Quyền 1 - Lào Cai.



Hình 11. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo máy Hydrofloat [3]



Hình 12. Máy tuyển nổi Tankcell tại Nhà máy tuyển đồng Sin Quyền 1 [1]

Sau khi thay thế thiết bị tuyển nổi truyền thống tại nhà máy tuyển đồng Sin Quyền bằng thiết bị tuyển Tankcell (xem Hình 12) thì các chỉ tiêu công nghệ của nhà máy đều vượt so với thiết kế, cụ thể như sau:

- Quặng tinh đồng có hàm lượng tăng từ 25% Cu lên trên 25,52% Cu và thực thu tăng từ 92,02% lên trên 94%. Lượng quặng tinh đồng tăng lên khoảng 1.000 tấn/năm;

- Quặng tinh sắt có hàm lượng tăng từ 64,5% Fe lên trên 65% Fe, thực thu quặng tinh sắt tăng từ 25,2% lên 28% và hàm lượng lưu huỳnh trong quặng tinh sắt giảm từ trên 1,5% S xuống còn dưới



1% S. Lượng quặng tinh sắt tăng lên khoảng 6.500 tấn/năm;

- Hàm lượng đồng trong đuôi thải giảm từ 0,08% Cu xuống 0,06% Cu và hàm lượng sắt trong đuôi thải giảm từ 7,97% Fe xuống 7,65% Fe;

- Tiêu hao vật tư, điện năng, nhân công, giá thành tuyển giảm so với máy tuyển nổi truyền thống.

Năm 2022, tác giả Trần Thị Hiền đã thực hiện thành công đề tài: “Nghiên cứu thiết kế chế tạo máy tuyển nổi quặng kim loại màu kiểu thùng trụ tròn (Tankcell)” [1]. Đề tài đã nghiên cứu thiết kế, chế tạo thành công máy tuyển nổi quặng kim loại màu Tankcell với các thông số kỹ thuật như sau: Dung tích làm việc: 8 m³; Lưu lượng theo bùn đến 200 m³/giờ; Lưu lượng khí nén 4,3 m³/phút; Áp suất khí nén 25 kPa; Công suất động cơ 22 kW. Nhóm nghiên cứu đã tiến hành lắp đặt thiết bị tuyển nổi Tankcell 8 m³, hệ thống đo lường và tự động hóa dòng khí là sản phẩm nghiên cứu, thiết kế chế tạo của đề tài vào khâu tuyển tinh kẽm 2 tại nhà máy tuyển quặng chì kẽm Chợ Điền, Bắc Kạn thuộc Công ty Cổ phần Kim loại màu Thái Nguyên – Vimico.

- Đánh giá hiệu quả tuyển trên thiết bị tuyển nổi Tankcell 8 m³ chế tạo của đề tài đã đáp ứng được yêu cầu về hàm lượng, thực thu sản phẩm kẽm. Tổng hợp sản phẩm quặng tinh thu được sau quá trình tuyển đạt hàm lượng 52,66% Zn, thực thu 92,63% Zn. Thiết bị hoạt động ổn định trong suốt quá trình tuyển. Hệ thống ổn định lưu lượng khí hoạt động hiệu quả, với lưu lượng khí luôn giữ ở mức ổn định 3 m³/phút, tốc độ khuấy 970 vòng/phút.

- So sánh kết quả tuyển tại nhà máy và kết quả thí nghiệm tuyển trên dây chuyền pilot liên tục về sản phẩm quặng tinh kẽm: Kết quả tuyển thí nghiệm trên dây chuyền pilot lắp đặt thiết bị Tankcell 80 lít thu được sản phẩm quặng tinh kẽm đạt hàm lượng 52,79% Zn, thực thu kẽm tương ứng đạt 92,18%. Kết quả tuyển tại nhà máy tuyển chì kẽm Chợ Điền, Bắc Kạn thu được sản phẩm quặng tinh kẽm đạt hàm lượng 52,66% Zn, thực thu 92,63% Zn.

- So sánh kết quả tuyển tại nhà máy trước và sau khi lắp đặt thiết bị Tankcell 8 m³ để thay thế cho 2 ngăn máy hình vuông truyền thống với tổng dung tích 8 m³, sản phẩm quặng tinh kẽm có hàm

lượng trung bình tăng từ 51,67% Zn lên 52,66% Zn, thực thu kẽm tăng từ 91,95% lên 92,63%.

- Ngoài các chỉ tiêu về công nghệ thì hiệu quả tiết kiệm diện tích lắp đặt, tiết kiệm điện năng thể hiện rõ nét. Về chỉ tiêu về điện năng, với cùng thể tích bùn quặng trong ngăn máy tuyển nổi là 8 m³, điện năng giảm từ 36 kWh xuống 22 kWh.

2.2.2. Nghiên cứu sử dụng thiết bị tuyển nổi trọng lực và tuyển nổi cột

Trong những năm qua, trên thế giới vấn đề tuyển nổi cấp hạt thô là một chủ đề được quan tâm nghiên cứu với nhiều thiết bị mới được đề xuất trong đó có thiết bị tuyển nổi trọng lực Hydrofloat. So với các thiết bị tuyển nổi truyền thống, thiết bị Hydrofloat có các ưu điểm nổi bật: Cho phép tuyển vật liệu độ hạt thô hơn, năng suất riêng thiết bị cao hơn, chi phí tuyển thấp hơn. Ở Việt Nam, hiện có nhiều khoáng sản phi kim xâm nhiễm thô như quặng apatit - carbonat Mỏ Cốc - Lào Cai, quặng fenspat, barit, talc ... có độ hạt giải phóng lớn hơn 0,5 mm, trong đó các quặng apatit - carbonat và quặng fenspat là những loại quặng có trữ lượng lớn đến hàng chục triệu tấn. Các đối tượng quặng trên hiện nay đang gặp khó khăn khi triển khai công nghệ tuyển do giá thành tuyển cao, đặc biệt là chi phí nghiền. Nếu nâng được độ hạt cấp liệu tuyển nổi lên đến 0,5 mm thì góp phần giảm chi phí nghiền, đồng thời giảm các chi phí đầu tư, xử lý chất thải. Trên cơ sở đó, năm 2018, tác giả Nguyễn Hoàng Sơn đã chế tạo được thiết bị tuyển nổi trọng lực dạng Hydrofloat quy mô năng suất 0,2 tấn/giờ và thiết lập được công nghệ tuyển quặng apatit - carbonat Mỏ Cốc - Lào Cai và quặng fenspat vùng Phú Thọ trên thiết bị này với độ hạt cấp liệu đến 0,5 - 1,0 mm [2]. Kết quả đạt được rất khả quan: Đối với quặng fenspat Mỏ Ngọt có thể thu được tinh quặng fenspat có hàm lượng lớn hơn 12% K₂O + Na₂O với mức thực thu 79%; đối với quặng apatit carbonat Mỏ Cốc có thể thu được quặng tinh apatit với hàm lượng trên 32% P₂O₅ và mức thực thu trên 80%.

Năm 2019, tại Trường Đại học Mỏ - Địa chất, tác giả Phouvin Khamphouvon đã nghiên cứu tuyển than cấp hạt 0 – 8 mm mỏ Vàng Danh bằng sơ đồ tuyển kết hợp tuyển nổi - trọng lực Hydrofloat và tuyển nổi cột [4]. Kết quả nghiên cứu cho thấy, từ độ tro than đầu 27,35%, kết hợp tuyển nổi trọng



lực cấp hạt 0,3-8mm và tuyển nổi cột cấp hạt - 0,3mm cho phép thu được than sạch chất lượng cao, đơn giản hóa khâu khử nước. Than sạch thu được đạt độ tro 15,33%, đá thải độ tro 77,86% với mức thực thu phần cháy 94,14%.

3. KẾT LUẬN

➤ Trước đây, các máy tuyển nổi truyền thống dạng ngăn máy - bánh khuấy được ứng dụng phổ biến trên thế giới, nhưng càng ngày càng thấy chúng lộ rõ một số nhược điểm như: tiêu hao nhiều năng lượng điện, vì phải khuấy mạnh mới hút được khí; hao mòn nhiều hệ thống bánh khuấy làm ảnh hưởng đến hoạt động của máy; rất khó thiết kế máy lớn hay không thiết kế được ngăn máy to. Để khắc phục những hạn chế của máy tuyển nổi

truyền thống, trên thế giới đã chuyển sang thiết kế những thiết bị tuyển nổi mới - không truyền thống. Các máy này cho hiệu quả cao, giảm chi phí đầu tư và chi phí giá thành so với các máy truyền thống;

➤ Tại Việt Nam, các nhà máy tuyển nổi cũng dần nghiên cứu, thay thế các thiết bị truyền thống bằng các thiết bị không truyền thống. Nhà máy tiên phong trong lĩnh vực này là Nhà máy tuyển quặng đa kim Núi Pháo - Thái Nguyên. Tiếp đến là Nhà máy tuyển đồng Sin Quyền 1 - Lào Cai đã thay thế toàn bộ thiết bị truyền thống bằng thiết bị tuyển Tankcell, các chỉ tiêu công nghệ của nhà máy đều vượt so với thiết kế, chi phí sản xuất giảm. Hiện tại, đã có một số nghiên cứu ứng dụng các thiết bị tuyển nổi mới để tuyển một số đối tượng khoáng sản như than, quặng chì kẽm, apatit, fenspat... □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Thị Hiền (2022). *Nghiên cứu thiết kế chế tạo máy tuyển nổi quặng kim loại màu kiểu thùng trụ tròn (Tankcell)*. Đề tài ĐTĐLCN.09/20, Bộ Công Thương
- [2]. Nguyễn Hoàng Sơn (2018). *Nghiên cứu công nghệ và chế tạo thử nghiệm thiết bị tuyển nổi trọng lực dạng Hydrofloat để tuyển một số khoáng sản phi kim độ hạt thô tại Việt Nam*. Đề tài B2016-MDA-08ĐT, Trường Đại học Mỏ - Địa chất
- [3]. Nguyễn Hoàng Sơn (2012). *Kỹ thuật mới trong tuyển nổi*. Giáo trình cao học, Trường Đại học Mỏ - Địa chất
- [4]. Phouvin Khamphouvon (2019). *Nghiên cứu tuyển than cấp hạt 0-8mm mỏ Vàng Danh bằng sơ đồ tuyển kết hợp tuyển nổi - trọng lực Hydrofloat và tuyển nổi cột*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ - Địa chất
- [5]. Các thông tin trên các website: www.outotec.com, www.jamesoncell.com, www.metso.com, www.flsmidth.com
- [6]. J. Rubinstein (1995). *Column flotation: Process, Designs and Practices*. CRC Press
- [7]. Rafael Teixeira Rodrigues, Jorge Rubio (2007). *DAF-dissolved air flotation: Potential applications in the mining and mineral processing industry*. Int. J. Miner. Process. 82
- [8]. Shouci Lu, Robert Pugh, Eric Forssberg (2005). *Interfacial Separation of Particle*. Elsevier

OVERVIEW OF NEW FLOTATION EQUIPMENT WORLDWIDE AND APPLICATION PROSPECTS IN VIETNAM

Dung Kim Thi Nhu

Hanoi University of Mining and Geology, 18 Vien Street, Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 19/09/2024

Revised: 11/11/2024

Accepted: 25/11/2024

Corresponding author:

Email: nhuthikimdung@humg.edu.vn

**ABSTRACT**

Flotation has been applied industrially in mineral processing since the early twentieth century, marking over a century of use. During this long period, the most common flotation equipment was the compartment - agitator type. The principal structure of this equipment also has been changed very little. This is why they are referred to as traditional flotation equipment. In a flotation plant, each flotation stage consists of many consecutive compartments, with compartment capacity depending on the pulp flow and the number of compartments determined by the flotation time. However, traditional machines are increasingly revealing more and more shortcomings: Difficulty in designing large-capacity machines, leading to many machine compartments in a plant; high electricity costs; suboptimal agitation mode; challenges in maintenance and warranty; difficulties in adjusting technology (each compartments requires different adjustment, foam thickness varies across compartments...). As a result, in recent decades, people have focused on researching new types of equipment with high efficiency, reduced investment costs and production costs. New equipment without machine compartment - agitator is commonly called non-traditional flotation machines. This paper introduces the structural characteristics and principles of some of the most important new flotation machines, which are being effectively used in the field of mineral processing worldwide, and explores their application prospects in Vietnam.

Keywords: Mineral processing, flotation equipment, pulp flow

@ Vietnam Mining Science and Technology Association