

PHƯƠNG PHÁP HÒA TAN - TÁCH ĐỂ THU HỒI HOÀN TOÀN NIKEN TỪ CHẤT THẢI CÔNG NGHIỆP MẠ NIKEN

● NGUYỄN THỊ PHƯƠNG LAN

Khoa Khoa học Ứng dụng, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

TÓM TẮT:

Chất thải từ ngành công nghiệp mạ niken chứa hàm lượng kim loại nặng cao, đặc biệt là niken, gây nguy cơ ô nhiễm môi trường và ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Nghiên cứu này tập trung xây dựng và đánh giá phương pháp hòa tan - tách nhằm thu hồi tối đa niken từ bùn thải mạ. Quá trình gồm 2 giai đoạn chính: hòa tan kim loại bằng dung dịch axit và tách chọn lọc niken bằng phương pháp kết tủa hoặc chiết dung môi. Kết quả cho thấy, hiệu suất thu hồi có thể đạt trên 95% trong điều kiện tối ưu. Phương pháp đề xuất không chỉ nâng cao hiệu quả tái chế kim loại mà còn góp phần giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

Từ khóa: niken, mạ điện, hòa tan axit, chiết dung môi, xử lý chất thải.

1. Đặt vấn đề

Ngành công nghiệp mạ điện, đặc biệt là mạ niken, phát triển mạnh trong các lĩnh vực cơ khí, điện tử và sản xuất thiết bị gia dụng. Tuy nhiên, quá trình này tạo ra lượng lớn chất thải rắn và lỏng chứa kim loại nặng như niken, đồng và crom. Trong đó, niken là nguyên tố có giá trị kinh tế cao nhưng cũng độc hại nếu phát tán ra môi trường.

Các phương pháp xử lý truyền thống như chôn lấp hoặc trung hòa hóa học không tận dụng được nguồn tài nguyên kim loại và tiềm ẩn nguy cơ ô nhiễm thứ cấp. Do đó, xu hướng hiện nay là phát triển các công nghệ thu hồi kim loại từ chất thải, vừa giảm thiểu tác động môi trường vừa mang lại lợi ích kinh tế.

Phương pháp hòa tan - tách (leaching - separation) được xem là một hướng tiếp cận hiệu quả nhờ khả năng thu hồi chọn lọc kim loại với hiệu suất cao. Bài báo tập trung nghiên cứu cơ chế, điều kiện tối ưu và hiệu quả của phương pháp này trong việc thu hồi hoàn toàn niken từ chất thải công nghiệp mạ.

2. Nguyên liệu và phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu tập trung xây dựng quy trình hòa tan -

tách nhằm thu hồi niken từ bùn thải phát sinh trong quá trình mạ điện. Các nội dung được triển khai theo hướng thực nghiệm kết hợp phân tích hóa lý, nhằm đánh giá đồng thời hiệu suất thu hồi và khả năng ứng dụng thực tế của quy trình.

2.1. Đặc điểm và xử lý sơ bộ nguyên liệu

Nguyên liệu chính sử dụng trong nghiên cứu là bùn thải thu gom từ hệ thống xử lý nước thải của cơ sở mạ niken. Loại bùn này thường hình thành từ quá trình trung hòa và kết tủa kim loại trong nước thải mạ, do đó chứa hàm lượng đáng kể các hydroxit kim loại như Ni(OH)_2 , Fe(OH)_3 cùng với các tạp chất vô cơ khác.

Sau khi thu thập, mẫu bùn được tiến hành xử lý sơ bộ nhằm đảm bảo tính đồng nhất trước khi đưa vào thí nghiệm. Cụ thể, mẫu được lọc bỏ phần nước tự do, sau đó sấy khô ở nhiệt độ khoảng 105°C trong thời gian 12 - 24 giờ để loại bỏ độ ẩm. Bùn khô tiếp tục được nghiền mịn và sàng qua rây kích thước 100 - 200 μm nhằm tăng diện tích tiếp xúc trong quá trình hòa tan.

Thành phần hóa học của mẫu được xác định bằng

các phương pháp phân tích phổ hấp thụ nguyên tử (AAS) hoặc quang phổ phát xạ plasma (ICP - OES). Kết quả phân tích thường cho thấy hàm lượng niken dao động trong khoảng 5 - 15% khối lượng, ngoài ra còn có sự hiện diện của sắt, đồng, kẽm và một lượng nhỏ các ion khác. Việc xác định thành phần ban đầu là cơ sở quan trọng để thiết kế điều kiện thí nghiệm và lựa chọn phương pháp tách phù hợp.

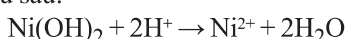
2.2. Quy trình hòa tan niken từ bùn thải

Quá trình hòa tan đóng vai trò là bước đầu tiên và có ý nghĩa quyết định đến hiệu suất thu hồi kim loại. Mục tiêu của giai đoạn này là chuyển niken từ dạng rắn khó tan sang dạng ion hòa tan trong dung dịch, tạo điều kiện thuận lợi cho các bước tách tiếp theo.

- Lựa chọn tác nhân hòa tan

Các dung dịch axit vô cơ được lựa chọn làm tác nhân hòa tan do khả năng phản ứng mạnh với các hydroxit kim loại. Trong nghiên cứu này, hai loại axit phổ biến là axit sulfuric (H_2SO_4) và axit clohydric (HCl) được sử dụng để khảo sát.

Phản ứng hòa tan cơ bản có thể được biểu diễn như sau:



Ngoài ra, các kim loại khác như sắt và đồng cũng tham gia phản ứng tương tự, dẫn đến dung dịch sau hòa tan chứa hỗn hợp nhiều ion kim loại. Điều này đặt ra yêu cầu cần có bước tách chọn lọc hiệu quả ở giai đoạn tiếp theo.

- Thiết lập hệ thống thí nghiệm

Quá trình hòa tan được tiến hành trong bình phản ứng có gia nhiệt và khuấy trộn liên tục nhằm đảm bảo sự tiếp xúc đồng đều giữa pha rắn và pha lỏng. Nhiệt độ được kiểm soát bằng bể ổn nhiệt, trong khi tốc độ khuấy được duy trì ở mức 300 - 500 vòng/phút để hạn chế hiện tượng lắng cặn.

Tỷ lệ rắn/lỏng là một thông số quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến nồng độ ion kim loại trong dung dịch. Trong nghiên cứu, tỷ lệ này được thay đổi trong khoảng 1:5 đến 1:20 (g/mL) để xác định điều kiện tối ưu.

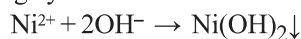
2.3. Phương pháp tách và thu hồi niken

Sau khi hòa tan, dung dịch thu được chứa nhiều ion kim loại khác nhau. Do đó, bước tách đóng vai trò quan trọng nhằm thu hồi niken với độ tinh khiết cao.

Phương pháp kết tủa hóa học

Kết tủa là phương pháp đơn giản và dễ thực hiện, dựa trên việc điều chỉnh pH của dung dịch để tạo ra các hợp chất không tan.

Dung dịch sau hòa tan được trung hòa từ từ bằng dung dịch kiềm như NaOH hoặc $Ca(OH)_2$. Khi pH tăng đến khoảng 8-10, niken bắt đầu kết tủa dưới dạng hydroxit:



Tuy nhiên, các ion kim loại khác cũng có thể kết tủa trong khoảng pH tương tự, làm giảm độ chọn lọc của phương pháp. Để khắc phục, quá trình kết tủa được thực hiện theo từng giai đoạn pH nhằm loại bỏ tạp chất trước khi thu hồi niken.

Phương pháp chiết dung môi

Chiết dung môi được xem là phương pháp hiệu quả hơn trong việc tách chọn lọc niken. Nguyên tắc của phương pháp này là sử dụng một chất chiết hữu cơ có khả năng tạo phức với ion kim loại, sau đó chuyển kim loại từ pha nước sang pha hữu cơ.

Trong nghiên cứu, các chất chiết như D2EHPA và Cyanex 272 được sử dụng. Quá trình chiết được tiến hành trong phễu chiết hoặc thiết bị khuấy trộn 2 pha. Các thông số quan trọng bao gồm: pH dung dịch, nồng độ chất chiết, tỷ lệ pha nước/pha hữu cơ, thời gian tiếp xúc.

Sau khi chiết, pha hữu cơ chứa niken được tách ra và tiến hành phản chiết bằng dung dịch axit mạnh để thu hồi niken ở dạng dung dịch tinh khiết hơn.

So sánh các phương pháp tách

2 phương pháp kết tủa và chiết dung môi được đánh giá dựa trên các tiêu chí:

- Hiệu suất thu hồi.
- Độ tinh khiết sản phẩm.
- Chi phí hóa chất.
- Khả năng áp dụng thực tế.

Kết quả cho thấy, phương pháp kết tủa phù hợp với xử lý sơ bộ do chi phí thấp, trong khi chiết dung môi thích hợp cho giai đoạn tinh chế nhờ độ chọn lọc cao.

2.4. Phương pháp phân tích và đánh giá

Để đánh giá hiệu quả của toàn bộ quy trình, các phương pháp phân tích được sử dụng bao gồm:

- Phân tích nồng độ kim loại: Sử dụng AAS hoặc ICP-OES để xác định hàm lượng niken và các kim loại khác trong dung dịch trước và sau xử lý.
- Xác định pha rắn: Phân tích XRD để nhận diện các pha tinh thể trong bùn thải và sản phẩm kết tủa.
- Quan sát hình thái: Sử dụng kính hiển vi điện tử quét (SEM) để đánh giá cấu trúc bề mặt của mẫu.

Hiệu suất thu hồi niken được tính theo công thức:

Hiệu suất (%) = (lượng niken thu hồi / lượng niken ban đầu) $\times$ 100

Ngoài ra, độ tinh khiết của sản phẩm cũng được xác định để đánh giá khả năng sử dụng lại trong công nghiệp.

3. Kết quả và thảo luận

Quá trình thực nghiệm cho thấy, phương pháp hòa tan - tách có khả năng thu hồi niken từ bùn thải mạ điện với hiệu quả cao nếu các điều kiện phản ứng được kiểm soát phù hợp. Các kết quả thu được được phân tích theo từng giai đoạn nhằm làm rõ vai trò của từng bước trong toàn bộ quy trình.

3.1. Hiệu quả của quá trình hòa tan

Kết quả thí nghiệm cho thấy, khả năng hòa tan niken phụ thuộc mạnh vào nồng độ axit và nhiệt độ phản ứng. Khi sử dụng dung dịch axit sulfuric ở nồng độ thấp (0,5 M), hiệu suất hòa tan chỉ đạt khoảng 60-70% sau 120 phút. Tuy nhiên, khi tăng nồng độ lên 2 M, hiệu suất nhanh chóng tăng lên trên 95%. Điều này cho thấy, lượng ion H^+ đóng vai trò quyết định trong việc phá vỡ cấu trúc hydroxit kim loại và giải phóng ion Ni^{2+} vào dung dịch.

Nhiệt độ cũng là yếu tố có ảnh hưởng rõ rệt. Ở nhiệt độ phòng, phản ứng diễn ra chậm và chưa đạt trạng thái cân bằng trong thời gian khảo sát. Khi nâng nhiệt độ lên khoảng 70°C, tốc độ hòa tan tăng đáng kể, đồng thời giảm thời gian cần thiết để đạt hiệu suất tối đa. Tuy nhiên, nếu tiếp tục tăng nhiệt độ vượt quá 80°C, hiệu quả cải thiện không đáng kể trong khi chi phí năng lượng lại tăng lên.

Ngoài ra, tỷ lệ rắn/lỏng cũng ảnh hưởng đến nồng độ kim loại trong dung dịch sau hòa tan. Tỷ lệ thấp giúp tăng nồng độ Ni^{2+} , nhưng nếu quá thấp có thể làm giảm khả năng khuấy trộn và gây hiện tượng bão hòa cục bộ. Kết quả thực nghiệm cho thấy, tỷ lệ 1:10 (g/mL) là phù hợp để đảm bảo cân bằng giữa hiệu suất hòa tan và tính ổn định của hệ.

Một điểm đáng chú ý là trong quá trình hòa tan, không chỉ niken mà các kim loại khác như sắt và đồng cũng bị hòa tan với tỷ lệ đáng kể. Điều này khẳng định bước hòa tan không có tính chọn lọc cao, do đó cần có giai đoạn tách hiệu quả phía sau.

3.2. Hiệu quả tách niken bằng kết tủa

Phương pháp kết tủa hóa học được thử nghiệm như một bước xử lý sơ bộ nhằm loại bỏ tạp chất và thu hồi niken. Khi điều chỉnh pH dung dịch bằng NaOH, các ion kim loại bắt đầu kết tủa theo thứ tự phụ thuộc vào tích số tan của từng hợp chất.

Kết quả cho thấy, ở pH khoảng 4-5, sắt kết tủa gần như hoàn toàn dưới dạng $Fe(OH)_3$, trong khi niken vẫn tồn tại trong dung dịch. Điều này tạo điều kiện thuận lợi để loại bỏ phần lớn sắt trước khi tiến hành thu hồi niken. Khi tiếp tục tăng pH lên khoảng 9-10, niken bắt đầu kết tủa dưới dạng $Ni(OH)_2$.

Hiệu suất thu hồi niken bằng phương pháp này đạt khoảng 85-90%. Tuy nhiên, phân tích thành phần cho thấy, sản phẩm kết tủa vẫn còn lẫn một lượng nhỏ các kim loại khác, đặc biệt là kẽm. Điều này cho thấy phương pháp kết tủa tuy đơn giản nhưng khó đạt được độ tinh khiết cao nếu sử dụng độc lập.

3.3. Hiệu quả tách bằng chiết dung môi

Để nâng cao độ chọn lọc, phương pháp chiết dung môi được áp dụng trên dung dịch sau khi đã loại bỏ phần lớn tạp chất bằng kết tủa. Kết quả thực nghiệm cho thấy, chất chiết Cyanex 272 có khả năng tạo phức với ion niken hiệu quả trong khoảng pH 5-6.

Trong điều kiện tối ưu (tỷ lệ pha hữu cơ/pha nước 1:1, thời gian tiếp xúc 10 phút), hiệu suất chiết niken đạt trên 95%. Đồng thời, các ion như Ca^{2+} và Mg^{2+} hầu như không bị chiết, giúp nâng cao độ tinh khiết của sản phẩm. Sau khi chiết, niken được phản chiết trở lại pha nước bằng dung dịch axit mạnh, thu được dung dịch niken có nồng độ cao và ít tạp chất.

So với phương pháp kết tủa, chiết dung môi cho thấy ưu thế rõ rệt về khả năng tách chọn lọc. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là chi phí hóa chất cao hơn và yêu cầu kiểm soát điều kiện vận hành chặt chẽ hơn.

3.4. Đánh giá tổng thể quy trình

Khi kết hợp cả 2 phương pháp, quy trình hòa tan - tách thể hiện hiệu quả rõ rệt. Giai đoạn hòa tan giúp chuyển hóa gần như toàn bộ niken vào dung dịch, trong khi giai đoạn kết tủa loại bỏ phần lớn tạp chất kim loại. Cuối cùng, chiết dung môi đóng vai trò tinh chế, giúp thu hồi niken với độ tinh khiết cao.

Hiệu suất thu hồi tổng thể của toàn bộ quy trình đạt trên 95%, đồng thời giảm đáng kể lượng chất thải rắn còn lại. So với các phương pháp xử lý truyền thống, quy trình này không chỉ tận dụng được nguồn tài nguyên kim loại mà còn góp phần giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

Nhìn chung, kết quả nghiên cứu cho thấy, phương pháp hòa tan - tách là hướng tiếp cận khả thi và có tiềm năng áp dụng trong xử lý chất thải mạ niken ở quy mô công nghiệp, đặc biệt trong bối cảnh yêu cầu về bảo vệ môi trường ngày càng khắt khe ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

Fenglian Fu & Qi Wang (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 407 - 418. Truy cập tại: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011>

Muammer Kaya (2016). Recovery of metals and nonmetals from electronic waste by physical and chemical recycling processes. *Waste Management*, 57, 64 - 90. Truy cập tại: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.004>.

Basudev Swain (2017). Recovery and recycling of lithium: A review. *Separation and Purification Technology*, 172, 388 - 403. Truy cập tại: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.08.031>.

Xiao Ni (2012). Developing flotation reagents for niobium oxide recovery from carbonatite Nb ores. *Minerals Engineering*, 36 -38, 111 - 118. Truy cập tại: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0892687512000775?via%3Dihub>.

Ngày nhận bài: 9/3/2026

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 24/3/2026

Ngày chấp nhận đăng bài: 11/4/2026

A DISSOLUTION–SEPARATION APPROACH FOR THE COMPLETE RECOVERY OF NICKEL FROM ELECTROPLATING WASTE

● NGUYEN THI PHUONG LAN

Faculty of Applied Sciences,
University of Economics - Technology for Industries

ABSTRACT:

Waste generated by the nickel electroplating industry contains elevated concentrations of heavy metals, particularly nickel, posing significant risks to environmental quality and human health. This study develops and evaluates a dissolution–separation process to maximize nickel recovery from plating sludge. The proposed approach comprises two principal stages: acid-mediated dissolution of metal constituents, followed by selective nickel recovery via precipitation or solvent extraction. Experimental results demonstrate that nickel recovery efficiency exceeds 95% under optimized conditions. Overall, the process enhances resource recovery while substantially reducing the environmental burden associated with electroplating waste.

Keywords: nickel, electroplating, acid dissolution, solvent extraction, waste treatment.