

# NGHIÊN CỨU THU HỒI NIKEN SUNFAT TỪ DUNG DỊCH THẢI MẠ CROM-NIKEN BẰNG KẾT TỦA OXALAT

STUDY ON THE RECOVERY OF NICKEL SULPHATE FROM CHROMIUM-NICKEL WASTE SOLUTION BY OXALATE PRECIPITATION

Nguyễn Thị Thoà<sup>1,\*</sup>, Đào Thu Hà<sup>1</sup>,  
Trần Quang Hải<sup>1</sup>, Nguyễn Xuân Huy<sup>1</sup>

## TÓM TẮT

Dung dịch thải trực tiếp từ bể mạ crom-niken chứa hàm lượng niken khá cao, từ 6,7g/l đến 15,6g/l. Niken được kết tủa dưới dạng  $\text{NiC}_2\text{O}_4$  ở điều kiện pH = 6-7, lượng dư  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  là 100%. Ở điều kiện này niken được thu hồi với hiệu suất cao, khoảng 94-96%. Độ tinh khiết của kết tủa thu được  $\text{NiC}_2\text{O}_4$  khoảng 96-98%. Kết tủa  $\text{NiC}_2\text{O}_4$  được chuyển hoàn toàn thành niken sunfat bằng axit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  và  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Dung dịch niken sunfat được định lượng và định hướng tái sử dụng trong quy trình mạ crom-niken.

**Từ khóa:** Thu hồi niken sunfat, dung dịch thải mạ, crom-niken.

## ABSTRACT

Direct effluent from chromium-nickel-plate basin contains high content of nickel, from 6.7g/l to 15.6g/l. Nickel is precipitated in the form of  $\text{NiC}_2\text{O}_4$  at pH = 6-7, residual  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  is 100%. Under this condition nickel is recovered with high efficiency, about 94-96%. The purity of  $\text{NiC}_2\text{O}_4$  precipitate is about 96-98%.  $\text{NiC}_2\text{O}_4$  precipitates are completely converted into nickel sulphate with acid  $\text{H}_2\text{SO}_4$  and  $\text{H}_2\text{O}_2$ . The nickel sulphate solution is quantified and reused in the chromium-nickel process.

**Keywords:** Recovery of nickel sulphate, electroplating wastewater solution, chromium - nickel.

<sup>1</sup>Khoa Công nghệ Hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: thoa0808@gmail.com

Ngày nhận bài: 11/01/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 28/03/2018

Ngày chấp nhận đăng: 25/04/2018

## 1. GIỚI THIỆU

Nước thải công nghiệp nói chung, nước thải ngành công nghệ mạ nói riêng thường chứa nhiều thành phần độc hại, gây ô nhiễm môi trường [1]. Nước thải mạ crom-niken thường gồm một số chất như niken sunfat, niken clorua, axit boric, natri sunfat, natri clorua, magie sunfat, magie clorua, phụ gia... và một số tạp chất có hại như sắt, đồng, kẽm...[2]. Để đạt tiêu chuẩn thải ra môi trường, nước thải phải trải qua nhiều quá trình xử lý phức tạp và chi phí lớn. Hàm lượng kim loại nặng trong nước thải thường được xử lý theo một số phương pháp phổ biến như kết tủa, hấp

phụ, trao đổi ion... Tuy nhiên, cách xử lý trên thường gây phát sinh lượng bùn thải. Lượng bùn thải tồn đọng hàng năm lớn và ngày càng tăng [3]. Bùn thải được xử lý bằng cách chôn lấp tại các khu xa nơi dân cư. Tuy nhiên biện pháp này hạn chế khi lượng bùn thải tăng và các chất độc dần theo thời gian sẽ ô nhiễm vào nguồn nước. Xử lý nước thải theo hướng hóa học xanh đang được các nhà nghiên cứu quan tâm. Quá trình xử lý đồng thời đạt hai mục tiêu: tách được tác nhân độc hại ra khỏi nguồn nước đồng thời tận dụng sản phẩm ứng dụng trong quá trình sản xuất.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Dụng cụ, hóa chất, thiết bị

- Máy đo pH Hanna HI 221102, xuất xứ Italia
- Cân phân tích 4 số sartorius, xuất xứ Đức
- Tủ sấy UNB500, xuất xứ Đức
- Dụng cụ thủy tinh: pipet, bình định mức, buret, xuất xứ Đức
- Dụng cụ thủy tinh: cốc, bình tam giác, xuất xứ Trung Quốc
- Một số dụng cụ khác: bếp điện, đĩa thủy tinh, phễu lọc, giấy lọc...
- Hóa chất:
  - + Dung dịch chuẩn EDTA 0,1N; 0,02N; xuất xứ Đức
  - + Chỉ thị murexit 1% trong KCl tinh thể
  - + Tinh thể  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , dung dịch  $\text{NH}_3$  đặc,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  đặc,  $\text{H}_2\text{O}_2$  30%..., xuất xứ Trung Quốc
  - + Nước cất hai lần, nước cất một lần.

### 2.2. Phương pháp xác định hàm lượng $\text{Ni}^{2+}$

Hàm lượng niken trong mẫu được xác định theo phương pháp chuẩn độ thể tích [4,5]: Lấy chính xác một lượng dung dịch  $\text{Ni}^{2+}$ , thêm 10ml đệm amoni pH = 10 và một lượng chỉ thị murexit, lắc đều, dung dịch có màu vàng. Chuẩn độ trực tiếp dung dịch  $\text{Ni}^{2+}$  bằng EDTA tiêu chuẩn cho đến khi dung dịch chuyển từ màu vàng sang màu xanh tím.

Hàm lượng Ni được tính theo công thức:

$$\text{Ni (g/l)} = \frac{m\text{Đg}_{\text{Ni}} \cdot (\text{C.V})_{\text{EDTA}}}{V} \cdot 1000 \cdot \frac{V_{\text{dm}}}{V_{\text{xd}}} \quad (1)$$

Trong đó:

mĐg Ni: mili đương lượng của Ni (mĐg Ni = 58,69.10<sup>-3</sup>)

C<sub>EDTA</sub>: nồng độ dung dịch EDTA dùng chuẩn độ (N)

V<sub>EDTA</sub>: thể tích EDTA tiêu tốn trong phép chuẩn độ (ml)

V: thể tích dung dịch mẫu (ml)

V<sub>dm</sub>: thể tích định mức mẫu ban đầu (ml)

V<sub>xd</sub>: thể tích dung dịch mẫu sau định mức đem chuẩn độ (ml)

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu điều kiện thu hồi niken sunfat

Điều kiện thu hồi niken sunfat được tiến hành trên mẫu thực sau khi đã xác định được hàm lượng niken trong mẫu. Phương pháp thu hồi niken được lựa chọn là phương pháp kết tủa dưới dạng niken oxalat. Các nghiên cứu về điều kiện thu hồi bao gồm pH và lượng dư axit oxalic. Kết tủa NiC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> sau đó được chuyển hóa thành NiSO<sub>4</sub> bằng H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> và H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

#### 2.3.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của pH

Lấy chính xác một thể tích dung dịch Ni<sup>2+</sup> chuẩn cho lần lượt vào 4 cốc thủy tinh sạch 100ml. Cân 2,000 gam H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O cho vào cốc, khuấy đều. Dùng dung dịch NaOH 10% và H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1 điều chỉnh pH dung dịch. Để lắng 90 phút, tiến hành lọc bỏ kết tủa, lấy dịch lọc. Xác định hàm lượng Ni<sup>2+</sup> trong phần dịch lọc bằng dung dịch chuẩn EDTA. Từ kết quả thực nghiệm, lựa chọn giá trị pH dung dịch thu hồi Ni<sup>2+</sup> tốt nhất.

#### 2.3.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của lượng dư H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Lấy chính xác một thể tích dung dịch Ni<sup>2+</sup> chuẩn cho lần lượt vào 4 cốc thủy tinh sạch 100ml. Cho vào các cốc lượng khác nhau tinh thể H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O, (từ cốc 1-4 cho dư lượng tinh thể H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O lần lượt 0%; 50%; 100% và 200%) khuấy đều. Dùng dung dịch NaOH 10% và H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1 điều chỉnh pH của các cốc đến giá trị pH thích hợp. Để lắng 90 phút, tiến hành lọc bỏ kết tủa, lấy dịch lọc. Xác định hàm lượng Ni<sup>2+</sup> trong phần dịch lọc bằng dung dịch chuẩn EDTA. Từ kết quả thực nghiệm, lựa chọn lượng H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dư thích hợp thu hồi Ni<sup>2+</sup> tốt nhất.

#### 2.3.3. Xác định độ tinh khiết của niken oxalat

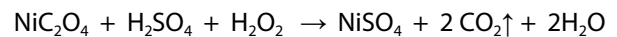
Tiến hành kết tủa niken dạng niken oxalat từ dung dịch thải mạ crom-niken. Kết tủa niken oxalat sau khi lọc được sấy khô ở 150°C đến khối lượng không đổi, đem cân xác định khối lượng niken oxalat. Hòa tan toàn toàn niken oxalat bằng axit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, sau đó tiến hành chuẩn độ Ni<sup>2+</sup> bằng dung dịch EDTA tiêu chuẩn. Tính độ tinh khiết của NiC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> theo công thức:

$$\text{Độ tinh khiết NiC}_2\text{O}_4(\%) = \frac{\text{Hàm lượng Ni chuẩn độ}}{\text{Hàm lượng Ni theo lượng cân NiC}_2\text{O}_4} \cdot 100\% \quad (2)$$

#### 2.3.4. Chuyển hóa niken oxalat thành niken sunfat

Lấy chính xác một thể tích dung dịch Ni<sup>2+</sup>, chuyển vào cốc thủy tinh, thêm chính xác lượng H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O và điều chỉnh pH của dung dịch đến giá trị thích hợp đã nghiên

cứu. Khuấy đều, để lắng, lọc lấy phần kết tủa. Kết tủa NiC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> được sấy khô ở 150°C rồi đem cân và hòa tan hoàn toàn trong hỗn hợp H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> và H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> thích hợp (dư 0%, 50%, 100%) theo phản ứng sau:



Đun sôi dung dịch sau phản ứng để loại bỏ lượng H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dư. Dung dịch thu được sau phản ứng là niken sunfat trong môi trường axit. Để nguội, xác định nồng độ dung dịch niken sau phản ứng bằng dung dịch EDTA tiêu chuẩn.

### 2.4. Phương pháp xử lý số liệu thực nghiệm

Các kết quả thực nghiệm đều được tiến hành lặp, loại bỏ sai số thô, xử lý số liệu thực nghiệm đảm bảo độ tin cậy theo các bước sau:

- Tính giá trị trung bình:  $x_{tb} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$  (3)

- Tính độ lệch chuẩn:  $s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_{tb})^2}{n-1}}$  (4)

sử dụng bảng chuẩn student tra t ứng với P = 0,95 để tính biên độ tin cậy ε.

- Xác định biên độ giới hạn:  $\epsilon = \pm \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}}$  (5)

- Từ đó tính giá trị thực:  $\mu = x_{tb} \pm \epsilon$  (6)

## 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Hàm lượng Ni trong dung dịch thải mạ

Mẫu nước thải phân tích là mẫu tại bể mạ trước khi thải bỏ. Mẫu được lấy và bảo quản theo TCVN 4556:1988. Tiến hành thí nghiệm xác định hàm lượng Ni<sup>2+</sup> lặp 5 lần (theo mục 2.2), xử lý số liệu thực nghiệm theo công thức (3-6). Kết quả thực nghiệm được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Hàm lượng Ni trong mẫu nước thải mạ

Lần TN	Hàm lượng Ni <sup>2+</sup> trong nước thải mạ (g/l)				
	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4	Mẫu 5
1	7,512	9,977	6,808	10,095	21,598
2	7,630	10,095	6,808	9,860	21,598
3	7,630	10,095	6,691	10,095	21,598
4	7,512	10,095	6,808	9,977	21,715
5	7,630	9,977	6,808	10,095	21,598
TB	7,583	10,048	6,785	10,024	21,621
s	0,065	0,065	0,052	0,105	0,057
ε	± 0,081	± 0,081	± 0,065	± 0,131	± 0,071
μ	7,583 ± 0,081	10,048 ± 0,081	6,785 ± 0,065	10,024 ± 0,131	21,621 ± 0,071

Tùy thuộc thời điểm và thời gian lấy mẫu, hàm lượng Ni<sup>2+</sup> ở trong các mẫu khác nhau. Theo tiêu chuẩn Việt Nam 5945-1995, hàm lượng kim loại niken trong nước thải công nghiệp không được vượt quá 2 mg/l, thì các mẫu nước thải phân tích đều có hàm lượng niken vượt quá tiêu chuẩn cho

phép hàng nghìn lần. Hàm lượng Ni<sup>2+</sup> trong các mẫu nước thải khá cao nên khả năng thu hồi niken hoàn toàn khả thi.

### 3.2. Kết quả khảo sát một số điều kiện thu hồi Niken

#### 3.2.1. Lựa chọn dạng kết tủa

Ni<sup>2+</sup> trong dung dịch có khả năng kết tủa với nhiều thuốc thử và tích số tan của các hợp chất ít tan thu được là khác nhau [6]. Tuy nhiên, nhóm hợp chất kết tủa dạng cyanua và sunfua không được lựa chọn do phải sử dụng các thuốc thử có độc tính cao. Các dạng kết tủa Ni(ClO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; Ni(IO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> và NiSeO<sub>3</sub> có độ tan khá lớn, hiệu quả thu hồi niken thấp nên cũng không được lựa chọn.

Hai dạng kết tủa cơ bản là NiCO<sub>3</sub> và Ni(OH)<sub>2</sub> có độ tan nhỏ, dễ dàng thực hiện quá trình kết tủa. Tuy nhiên, kết tủa Ni<sup>2+</sup> dưới hai dạng này kém chọn lọc: nhiều ion kim loại trong dung dịch mạ cũng có khả năng kết tủa đồng thời cùng với niken và kết tủa thu được kém tinh khiết.

Chúng tôi lựa chọn kết tủa Ni<sup>2+</sup> trong dung dịch nước thải mạ dưới dạng NiC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> bằng axit oxalic. Tích số tan của dạng kết tủa này khá nhỏ ( $4.10^{-10}$ ), dạng kết tủa có tính chọn lọc và đặc biệt có thể điều chỉnh pH để tăng tính chọn lọc khi kết tủa niken.

#### 3.2.2. Khảo sát ảnh hưởng của pH tới kết tủa niken oxalat

Tiến hành thí nghiệm theo mục 2.3.1 với các điều kiện pH khác nhau. Ở mỗi điều kiện pH tiến hành làm lặp 3 lần, xử lý số liệu thực nghiệm theo công thức (3-6). Kết quả thí nghiệm được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Ảnh hưởng của pH tới kết tủa Niken oxalat

Lần pH	Hàm lượng Ni <sup>2+</sup> sau kết tủa (g/l)				s	ε	μ
	1	2	3	TB			
2-3	3,874	3,850	3,832	3,852	0,021	± 0,052	3,852 ± 0,052
4-5	1,928	1,928	1,916	1,924	0,007	± 0,017	1,924 ± 0,017
6-7	0,153	0,154	0,153	0,153	0,001	± 0,002	0,153 ± 0,002

Từ các kết quả thực nghiệm nêu trên, chúng tôi nhận thấy tại điều kiện pH trong khoảng 6 - 7, hàm lượng Ni<sup>2+</sup> còn lại trong dung dịch là nhỏ nhất, tức hiệu suất thu hồi Ni<sup>2+</sup> là lớn nhất. Vì vậy, nhóm nghiên cứu lựa chọn khoảng pH để kết tủa Ni<sup>2+</sup> là 6 - 7.

#### 3.2.3. Khảo sát ảnh hưởng lượng dư axit oxalic tới kết tủa niken oxalat

Bảng 3. Ảnh hưởng của lượng dư axit oxalic tới kết tủa Niken oxalat

Lần Lượng dư H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Hàm lượng Ni <sup>2+</sup> sau kết tủa (g/l)				s	ε	μ
	1	2	3	TB			
0%	3,574	3,550	3,532	3,552	0,021	± 0,052	3,552 ± 0,052
20%	2,756	2,763	2,752	2,757	0,006	± 0,014	2,757 ± 0,014

50%	1,928	1,928	1,916	1,924	0,007	± 0,017	1,924 ± 0,017
100%	0,380	0,383	0,383	0,382	0,002	± 0,004	0,382 ± 0,004
200%	0,376	0,374	0,376	0,375	0,001	± 0,003	0,375 ± 0,003

Tiến hành thí nghiệm theo mục 2.3.2 với lượng dư H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> khác nhau. Ở mỗi điều kiện lượng dư H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> tiến hành làm lặp 3 lần, xử lý số liệu thực nghiệm theo công thức (3-6). Kết quả thí nghiệm được trình bày trong bảng 3.

Từ các kết quả thực nghiệm trên, chúng tôi nhận thấy khi lượng dư H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> là 100%, hàm lượng Ni<sup>2+</sup> còn lại trong dung dịch là nhỏ nhất, tức hiệu suất thu hồi Ni<sup>2+</sup> là lớn nhất. Vì vậy, lượng dư H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> để kết tủa Ni<sup>2+</sup> được lựa chọn là 100%.

### 3.3. Kết quả thu hồi niken từ nước thải mạ.

Tiến hành thí nghiệm thu hồi niken trên mẫu nước thải mạ tại pH = 6 và lượng dư axit oxalic 100%, hiệu suất thu hồi niken được tính theo công thức:

$$\begin{aligned} \text{Hiệu suất thu hồi Ni (\%)} &= \frac{\text{Hàm lượng Ni trong kết tủa}}{\text{Hàm lượng Ni trong mẫu}} \cdot 100\% \\ &= \frac{\text{Hàm lượng Ni trong mẫu} - \text{Hàm lượng Ni trong dịch lọc}}{\text{Hàm lượng Ni trong mẫu}} \cdot 100\% \end{aligned}$$

Kết quả tính hiệu suất thu hồi Ni được trình bày trong bảng 4.

Bảng 4. Hiệu suất thu hồi kim loại niken

Mẫu	1	2	3	4	5
Hàm lượng Ni <sup>2+</sup> (g/l) trong mẫu	7,583	10,048	6,785	10,024	21,621
Hàm lượng Ni (g/l) trong dịch lọc	0,321	0,496	0,325	0,618	0,844
Hiệu suất thu hồi Ni (%)	95,77	95,06	95,21	94,86	96,56

Các kết quả thí nghiệm cho thấy, hiệu suất thu hồi niken là khá cao, khoảng 94-96%. Hàm lượng niken trong phần dịch lọc chỉ còn khoảng 4-6%. Điều này đồng nghĩa, thu hồi Ni theo quy trình trên vừa giảm chi phí xử lý nước thải đồng thời giảm tác hại môi trường. Tuy nhiên, hàm lượng niken vẫn vượt quá 2 mg/l (TCVN 5945-1995). Phần thải sau khi thu hồi kim loại không được phép xả thải trực tiếp mà cần được kết hợp với phần nước rửa sản phẩm (nhằm pha loãng) hoặc nghiên cứu xử lý thêm trước khi xả thải ra môi trường.

### 3.4. Kết quả xác định độ tinh khiết của NiC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

Tiến hành thí nghiệm theo mục 2.3.3, các kết quả thí nghiệm được trình bày trong bảng 5.

Bảng 5. Độ tinh khiết của NiC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> sau thu hồi

Mẫu	1	2	3	4	5
Hàm lượng Ni <sup>2+</sup> trong kết tủa (g)	7,257	9,638	6,457	11,521	20,765
Hàm lượng Ni <sup>2+</sup> chuẩn độ (g)	7,140	9,412	6,358	11,248	20,024
(%) NiC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sau thu hồi	98,39	97,66	98,47	97,63	96,43

Các kết quả thí nghiệm trên cho phép khẳng định NiC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> thu được có độ tinh khiết cao ≥ 95%. Hóa chất có độ tinh khiết như NiC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> hoàn toàn có thể sử dụng vào mục đích hóa chất trong sản xuất công nghiệp. Tuy nhiên, hợp chất chứa niken sử dụng trong công nghệ mạ crom-niken là niken sunfat hoặc niken clorua. Vì vậy cần thực hiện quá trình chuyển hóa thích hợp để chuyển hoàn toàn NiC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> thành một trong hai loại muối trên.

**3.5. Kết quả chuyển hóa niken oxalat thành niken sunfat**

Cân chính xác 1,550g kết tủa NiC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, hòa tan hoàn toàn lần lượt trong hỗn hợp H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2M và H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% (vừa đủ và dư 50%, 0%). Kết quả là kết tủa tan hết trong hỗn hợp 5mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2M và 2mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10%. Tuy nhiên khi dùng dư lượng H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> và H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> thì lượng kết tủa NiC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> được hòa tan dễ dàng hơn. Để đảm bảo mục đích kinh tế, chúng tôi lựa chọn dung dịch chuyển hóa NiC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> thành NiSO<sub>4</sub> gồm 7mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2M và 3mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10%. Đun sôi dung dịch 5-10 phút nhằm loại bỏ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dư, để nguội định mức thành 100mL. Hút 25ml dung dịch đem chuẩn độ bằng dung dịch EDTA 0,1N, kết quả được trình bày trong bảng 6.

Bảng 6. Nồng độ dung dịch Ni<sup>2+</sup> (g/l) sau thu hồi

Mẫu	1	2	3
V (mL) EDTA	12,3	12,1	12,0
Ni <sup>2+</sup> (g/l)	5,775	5,681	5,634

Hàm lượng Ni<sup>2+</sup> trong dung dịch thu được đạt khoảng 5,634-5,775g/l. Dung dịch này sau khi xác định được hàm lượng Ni, người ta có thể tính toán lượng niken thích hợp nhằm bổ sung vào dung dịch mạ crom-niken.

**4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ**

Các kết quả nghiên cứu cho thấy, thu hồi kim loại niken trong dung dịch thải mạ nhằm đạt hai mục tiêu có tính khả thi cao. Niken được thu hồi nhằm giảm đáng kể hàm lượng kim loại niken, giảm chi phí xử lý nước thải công nghiệp mạ, ngăn ngừa ô nhiễm môi trường. Mặt khác, niken thu hồi được chuyển hóa về dạng niken sunfat nhằm mục đích tái sử dụng trong công nghệ mạ crom-niken.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

[1]. A. Baral and R.D. Engelken, 2002. *Chromium-based regulations and greening in metal finishing industries in the USA*. Environ. Sci. Policy, 5(2), 121–133.

[2]. Trần Minh Hoàng, Biên dịch, 2007. *Phân tích dung dịch mạ điện*. NXB Bách Khoa - Hà Nội, 95-99.

[3]. Nguyễn Văn Lâm, 2015. *Tình hình quản lý chất thải rắn tại Việt Nam. Đề xuất các giải pháp tăng cường hiệu quả công tác quản lý chất thải rắn*. <<https://moitruongviet.edu.vn/tinh-hinh-quan-ly-ran-tai-viet-nam-de-xuat-cac-giai-phap-tang-cuong-hieu-qua-cong-tac-quan-ly-chat-thai-ran-chat-thai/>>

[4]. Trần Tứ Hiếu, 2007. *Giáo trình Hóa phân tích*. NXB Khoa học và Kỹ thuật.

[5]. Tạ Thị Thảo, Trần Văn Ri, 2006. *Thực tập phân tích hóa học (Phần 1: Phân tích định lượng hóa học)*. NXB Đại học Quốc gia Hà Nội.

[6]. Nguyễn Thạc Cát, Từ Vọng Nghi, Đào Hữu Vinh, 1996. *Cơ sở lý thuyết hóa học phân tích*. NXB Giáo dục.