

KHẢO SÁT QUÁ TRÌNH HÒA TÁCH KẼM VÀ TÁCH LOẠI CÁC TẠP CHẤT TRONG MÔI TRƯỜNG NaOH

A PROCESS FOR LEACHING OF ZINC IN ALKALINE MEDIUM AND PURIFYING OF THE LEACH SOLUTION

TRẦN NGỌC VƯỢNG, PHẠM MINH TUẤN, VŨ DUY HÙNG, NGUYỄN ĐÌNH ĐĂNG,
NGUYỄN TIẾN TÙNG

Viện Công nghệ xạ hiếm, 48 Láng Hạ, Đống Đa, Hà Nội

Email: dangnd@hus.edu.vn

Abstract: *This research presents the a preparation process of zinc solution for zinc electrowinning in alkaline medium to recover metallic zinc powder. The process consists of: 1) Preliminary treatment for reduction of chloride content in the raw materials before alkaline leaching; 2) Leaching of zinc by using NaOH solution. 3) Removal of impurities such as Pb, Cu, Cd etc. that affecting the electrolysis process.*

The raw materials used for this research has the composition Zn 69,6%, Fe 0.1%, Pb 2.1%, Cu 0.01%, Cd 0.015%, Cl 5.2%.

After thorough research, the technological parameters obtained for preparation of the electrolyte solution are as follows: The raw materials was twice washed with NaOH solution (or at pH = 10), solid/liquid ratio = 1/10 (kg/L), leaching time 120 minutes at temperature normal. The leaching process was carried out by using NaOH 6M (solution of 240g/l), solid/liquid ratio = 60/1 (g/L). leaching time 90 minutes at temperature normal, recovery efficiency > 98%.

The leaching solution has a zinc content of 45g/l, chloride 0.15g/l. The others impurities were removed by different agents: Pb can be separated by precipitation with Na₂S, some other metal impurities such a Pb, Cu, Cd, etc., can be thoroughly remove by using metallic zinc powder.

Key words: *low-grade zinc oxide, zinc powder, EAFD, chloride removal, zinc electrowinning, alkaline medium.*

Tóm tắt: *Báo cáo trình bày quá trình chuẩn bị dung dịch kẽm trong môi trường NaOH điện phân thu hồi kẽm kim loại bao gồm: 1) xử lý sơ bộ nguyên liệu, giảm hàm lượng muối clorua trong nguyên liệu trước khi hòa tách kẽm; 2) Hòa tách kẽm với tác nhân NaOH thu dung dịch kẽm; 3) tách loại các tạp chất (Fe, Pb, Cu, Cd...) trong dung dịch có ảnh hưởng đến quá trình điện phân.*

Nguyên liệu kẽm ôxit cho quá trình nghiên cứu có thành phần Zn 69,6%, Fe 0,1%, Pb 2,1%, Cu 0,01%, Cd 0,015%, Cl 5,2%.

Sau quá trình nghiên cứu khảo sát, các thông số công nghệ như sau: Nguyên liệu được rửa hai lần bằng dung dịch NaOH (ở pH = 10), tỷ lệ rắn / lỏng = 1/10 (kg / L), thời gian 120 phút ở nhiệt độ bình thường. Sau đó được hòa tách bằng dung dịch NaOH 6M (240 g/l), tỷ lệ rắn / lỏng = 60/1 (g / L), thời gian 90 phút ở nhiệt độ thường, hiệu suất thu hồi kẽm > 98%.

Dung dịch sau hòa tách hàm lượng kẽm 45g/l, clorua 0,25g/l và các tạp chất Pb, Cu, Cd trong đó Pb chiếm hàm lượng lớn hơn nhiều do khả năng hòa tan của chì trong NaOH tốt hơn các kim loại khác. Việc khảo sát tách loại các tạp chất chủ yếu là tách loại Pb, các ion kim loại khác Cu, Cd sẽ tách loại đồng thời trong quá trình tách loại Pb. Sắt hầu như không bị hòa tan trong dung dịch NaOH 6M nên không cần phải khảo sát tách loại Fe trong dung dịch. Sử dụng Na₂S hoặc bột kẽm kim loại để tách loại triệt để các tạp chất Pb, Cu, Cd trong dung dịch.

Từ khóa: *kẽm oxit, bột kẽm kim loại, bụi lò thép (EAFD), điện phân kẽm, môi trường kiềm.*

1. MỞ ĐẦU

1.1. Mục tiêu nghiên cứu

Nghiên cứu này phục vụ cho quá trình chuẩn bị dung dịch điện ly cho quá trình điện phân thu hồi bột kẽm kim loại từ môi trường kiềm. Phương pháp điện phân kẽm trong môi trường kiềm có 2 giai đoạn cơ bản: hòa tách kẽm và tách loại các tạp chất trong dung dịch, điện phân thu hồi kẽm ở dạng bột kẽm kim loại. Trong đó giai đoạn hòa tách kẽm và tách loại các tạp chất trong dung dịch đóng vai trò quan trọng quyết định đến chất lượng sản phẩm bột kẽm kim loại, hiệu suất dòng điện ở giai đoạn điện phân. Giai đoạn điện phân kẽm trong môi trường NaOH đạt hiệu quả cao khi dung dịch điện phân có hàm lượng NaOH 5-6M, nồng độ kẽm trong dung dịch 40-50g/l, hàm lượng các tạp chất Pb, Cu, Cd rất thấp [1].

1.2. Đối tượng nghiên cứu

Hiện nay trong nước nguồn ôxit kẽm chất lượng thấp khá nhiều với giá thành rẻ do còn chứa nhiều tạp chất và ứng dụng của nó trong công nghiệp rất hạn chế. Báo cáo này thực hiện các nghiên cứu mẫu từ nguồn kẽm ôxit chất lượng thấp thu hồi từ quá trình tái chế bụi lò hồ quang luyện thép (bụi EAF) bằng phương pháp hòa luyện có thành phần như sau: Zn 69,6%, Pb 2,1%, Fe 0,1%, Cu 0,01%, Cd 0,015%, Cl 5,2%.

Báo cáo trình bày các kết quả nghiên cứu giai đoạn sơ chế nguyên liệu, hòa tách kẽm oxit và tách loại các tạp chất Pb, Cu, Cd,...trong dung dịch bao gồm: 1) Xử lý sơ bộ nguyên liệu, giảm hàm lượng muối clorua trong nguyên liệu chứa kẽm trước khi hòa tách; 2) Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hòa tách kẽm trong môi trường NaOH nồng độ cao, tách loại các tạp chất (Pb, Cu, Cd...) để chuẩn bị dung dịch điện ly cho giai đoạn điện phân thu hồi kẽm trong môi trường NaOH.

1.3. Cơ sở lý thuyết

1.3.1. Xử lý nguyên liệu ban đầu, tách loại clorua

Các nghiên cứu chỉ ra rằng với hàm lượng clorua trong dung dịch điện phân trên 20g/l mới ảnh hưởng đến hiệu suất dòng điện (CE) của quá trình điện phân. Tuy nhiên, lượng clorua trong dung dịch điện phân sẽ tích lũy và tăng dần do việc tái sử dụng dung dịch sau điện phân để hòa tách nguyên liệu chứa kẽm. Vì vậy, quá trình xử lý nguyên liệu cần giảm hàm lượng clorua xuống mức thấp nhất có thể với mục đích tăng số lần tái sử dụng dung dịch NaOH sau điện phân. Trong nguyên liệu ban đầu, clorua chủ yếu tồn tại ở dạng muối clorua của kẽm ($ZnCl_2$) và một phần nhỏ $FeCl_2$, $FeCl_3$, $PbCl_2$ việc rửa nguyên liệu bằng nước có thể làm giảm hàm lượng clorua trong nguyên liệu nhưng quá trình xảy ra chậm và làm mất kẽm ở dạng muối tan kẽm clorua do vậy cần sử dụng NaOH kết hợp điều chỉnh pH để làm tăng hiệu suất rửa clorua và giảm hàm lượng Zn, Pb trong nước rửa. [1,4]

Phản ứng hóa học xảy ra trong quá trình rửa nguyên liệu



1.3.2. Hòa tách kẽm bằng tác nhân NaOH

Quá trình hòa tách kẽm bằng NaOH có tính chọn lọc cao, dung dịch hòa tách có thành phần chính là kẽm tồn tại ở dạng $Zn(OH)_4^{2-}$, tạp chất chủ yếu Pb, Cu, Cd,... [2,3]. Các tạp chất Fe, Mn trong nguyên liệu hầu như không tan trong môi trường NaOH nồng độ cao.

Các phản ứng xảy ra trong quá trình hòa tách:



Từ các phương trình phản ứng trên cho thấy nồng độ NaOH rất quan trọng trong quá trình

hòa tách kẽm, nếu nồng độ NaOH thấp thì hiệu suất hòa tách thấp và ngược lại. Nồng độ NaOH phải đủ cao để kẽm trong dung dịch tồn tại ở dạng $[Zn(OH)_4]^{2-}$ tránh hiện tượng thủy phân tạo kết tủa $Zn(OH)_2\downarrow$.

1.3.3. Tách loại tạp chất

Các tạp chất chính trong dung dịch sau hòa tách là Pb, Cu, Cd trong đó Pb có hàm lượng lớn hơn nhiều so với các kim loại còn lại nên được xem như nguyên tố chính để tách loại ra khỏi dung dịch chứa kẽm, nồng độ Cu^{2+} , Cd^{2+} rất nhỏ so với nồng độ Pb^{2+} nên trong quá trình tách loại cũng sẽ được tách ra khỏi dung dịch cùng Pb. Quá trình tách loại và lựa chọn tác nhân tách loại các tạp chất rất quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến quá trình điện phân thu hồi kẽm kim loại sau này. Lựa chọn tác nhân tách loại cần dựa vào các yếu tố về hiệu suất tách loại và hạn chế thêm các ion lạ vào dung dịch. Một số tác nhân tách loại đảm bảo được 2 yếu tố trên natri sunfua, bột kẽm kim loại [5].

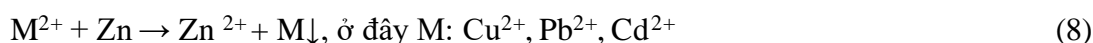
Natri sunfua: trong công nghệ hóa học, natri sunfua được sử dụng để tách loại các ion kim loại có trong dung dịch ở dạng kết tủa S^{2-} đặc biệt là PbS ($T_{PbS} 9,04.10^{-29}$)[5].



Khi đã kết tủa hết Pb^{2+} trong dung dịch và Na_2S dư:



Kẽm kim loại: sử dụng bột kẽm kim loại để tách loại tạp chất dựa trên cơ sở các cation có thế điện hoá tiêu chuẩn dương hơn thế điện hoá của kẽm sẽ bị kẽm kim loại đẩy ra khỏi dung dịch dưới dạng bột kim loại.



2. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM THẢO LUẬN

Các thí nghiệm được thực hiện như sau:

Nguyên liệu: kẽm ôxít chất lượng thấp thu hồi từ quá trình tái chế bụi lò thép (bụi EAF) bằng phương pháp hòa luyện.

Máy khuấy với tốc độ cố định 400 vòng/phút

Áp suất: áp suất khí quyển

Tách lọc rắn – lỏng: lắng lọc sơ bộ và lọc hút chân không

Các thông số cần khảo sát:

Dung dịch hòa tách: NaOH nồng độ từ 5-8M

Thời gian hòa tách

Nhiệt độ hòa tách

Tỷ lệ rắn/lỏng (gam/lít)

Tác nhân tách loại: Natri sunfua và bột kẽm kim loại.

Hàm lượng clorua trong bã và trong dung dịch được xác định bằng dung dịch $AgNO_3$ 0,025M. Hàm lượng Zn, Pb trong nguyên liệu, trong dung dịch hòa tách và trong bã sau hòa tách được xác định bằng dung dịch EDTA 0,05M. Các tạp chất khác như Cu, Cd, Fe... được xác định bằng ICP-OES.

2.1. Tách loại clorua trong nguyên liệu chứa kẽm

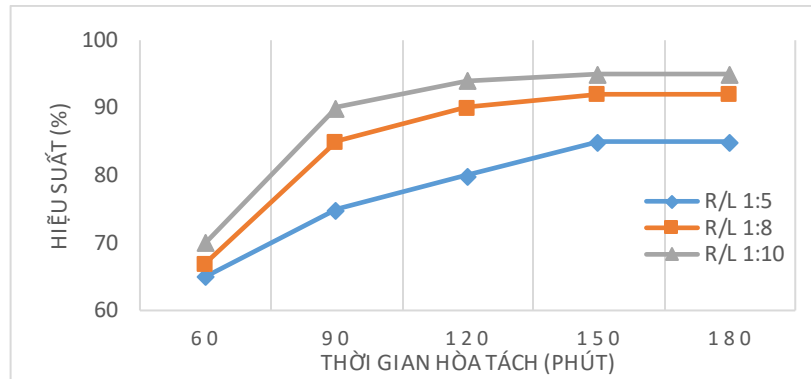
Các thí nghiệm được thực hiện trong cốc thủy tinh 1000ml, sử dụng nước cất 1 lần, máy khuấy có tốc độ cố định 400 vòng/phút, máy đo pH ($\pm 0,05$), sử dụng dung dịch NaOH để điều

chỉnh pH.

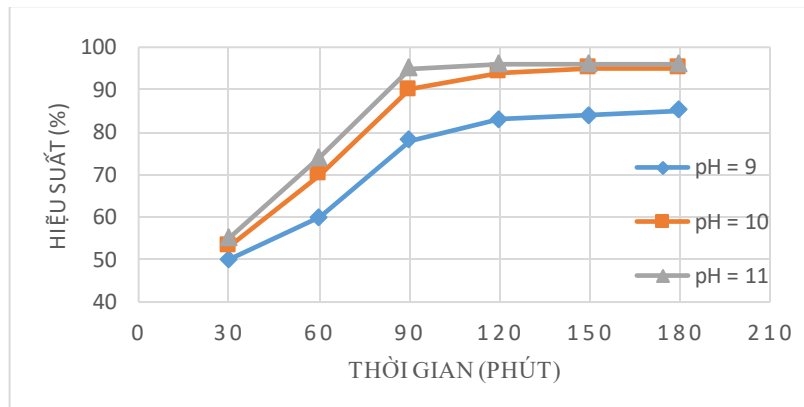
Bảng 1: Thành phần (%) của Zn, Pb, Cl và một số tạp chất khác trong mẫu thí nghiệm.

	Zn	Fe	Pb	Cu	Cd	Cl
Thành phần (%)	69,6	0,1	2,1	0,01	0,015	5,2

Kết quả thí nghiệm được trình bày ở các đồ thị đây (Hình 1 và 2).



Hình 1: Ảnh hưởng của thời gian và tỷ lệ rắn/lỏng đến hiệu quả tách loại clorua (pH = 10).



Hình 2: Ảnh hưởng của thời gian hòa tách, pH đến hiệu quả tách loại clorua (tỷ lệ R/L là 1:10).

Từ các kết quả khảo sát cho thấy điều kiện tối ưu để tách loại clorua trong nguyên liệu: tỷ lệ rắn/lỏng (R/L) 1:10 (kg/l), pH ≈ 10 sử dụng NaOH để điều chỉnh pH, thời gian hòa tách 120 phút, hàm lượng clorua trong nguyên liệu giảm từ 5,2% xuống còn 0,2-0,3 % (hiệu suất tách loại clorua đạt 94 - 96%).

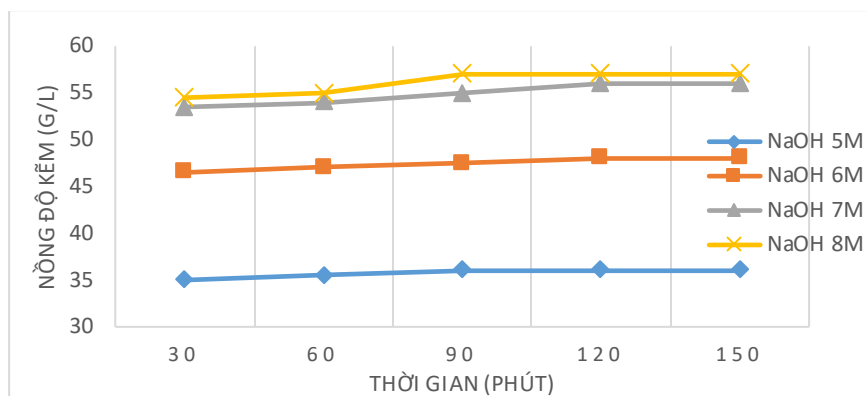
Bảng 2: Thành phần (%) của Zn, Pb, Cl và một số tạp chất sau khi tách loại clorua.

	Zn	Fe	Pb	Cu	Cd	Cl
Thành phần (%)	76,6	0,1	2,2	0,01	0,005	0,25

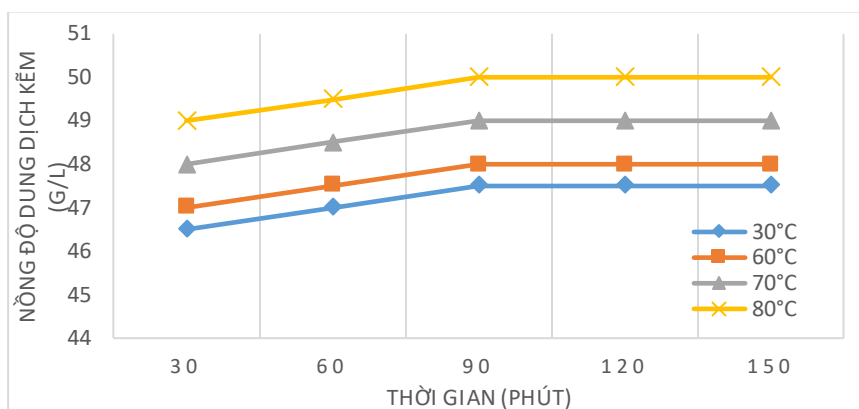
2.2. Hòa tách kẽm bằng NaOH

Khảo sát hòa tách mẫu ZnO 99,9%

Các khảo sát hòa tách mẫu ZnO sạch (ZnO 99,9%) được thể hiện trên hình 3.



Hình 3: Ảnh hưởng của thời gian và nồng độ NaOH đến quá trình hòa tan ZnO 99,9%.



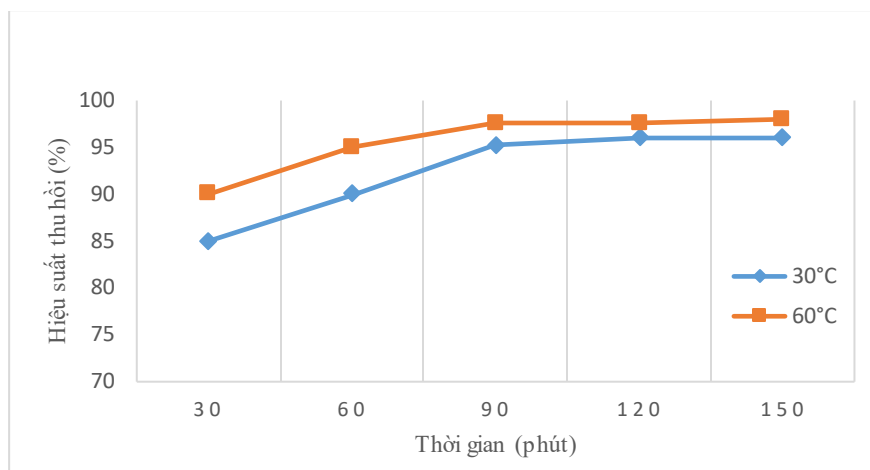
Hình 4: Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian hòa tách đến nồng độ kẽm trong dung dịch (NaOH 6M).

Từ đồ thị trên hình 3 và 4 ta thấy, thời gian hòa tách ảnh hưởng quan trọng đến quá trình hòa tan kẽm oxit, trong khi đó nhiệt độ ít ảnh hưởng hơn. Khi nồng độ NaOH tăng thì hàm lượng kẽm trong dung dịch tăng, tại giá trị nồng độ NaOH 6M, thời gian hòa tách 90 phút ở nhiệt độ thường thì nồng độ kẽm đạt 48g/l (hình 4).

Các kết quả trên cho thấy, có thể hòa tách kẽm bằng NaOH 6M ở nhiệt độ thường cho mục tiêu chuẩn bị dung dịch cho quá trình điện phân kẽm trong môi trường NaOH

Các khảo sát đối với mẫu thực.

Nguyên liệu chứa kẽm sau khi được tách loại giảm hàm lượng clorua được sử dụng cho quá trình hòa tách kẽm với tác nhân NaOH. Các thí nghiệm được thực hiện trong cốc thủy tinh 1000ml, nhiệt kế kiểm soát nhiệt độ (0,5°C), sử dụng nước cất 1 lần, máy khuấy có tốc độ cố định 400 vòng/phút. Các thông số khảo sát: dung dịch hòa tách NaOH có nồng độ 6M, thời gian hòa tách 30-150 phút, nhiệt độ hòa tách 30°C và 60°C, tỷ lệ R/L 60/1; 65/1; 70/1 (g/l).



Hình 5: Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian hòa tách đến hiệu suất thu hồi kẽm (R/L = 60/1).

Bảng 3: Ảnh hưởng của tỷ lệ rắn-lỏng (R/L) đến hiệu suất thu hồi kẽm (thời gian 90 phút, nhiệt độ 30°C).

STT	R/L (g/l)	Hàm lượng Zn (g/l)	Hiệu suất hòa tách kẽm (%)
1	60/1	45	98
2	65/1	47	94
3	70/1	47,5	89

Các thông số từ khảo sát mẫu nguyên liệu thực cho kết quả tương tự đối với mẫu ZnO 99,9%. Hiệu suất hòa tách kẽm đạt 98% khi hòa tách mẫu nguyên liệu với nồng độ NaOH 6M, tỷ lệ R/L 60/1 (g/l), thời gian hòa tách 90 phút ở nhiệt độ thường, dung dịch kẽm thu được có hàm lượng Zn 45g/l, hàm lượng tạp chất Pb 0,86g/l, Cu 0,0056g/l, Cd 0,0023g/l.

2.3. Tách loại các tạp chất

Từ kết quả phân tích thành phần dung dịch sau hòa tách và phương trình phản ứng (5,6,7) để khảo sát tác nhân tách loại tạp chất Na₂S và bột kẽm kim loại để đưa ra các thông số tối ưu về lượng tác nhân sử dụng, thời gian và nhiệt độ tách loại.

Dung dịch sau hòa tách có chứa các tạp chất Pb, Cu, Cd trong đó Pb chiếm hàm lượng lớn hơn nhiều do khả năng hòa tan của chì trong NaOH tốt hơn các kim loại khác, Fe hầu như không bị hòa tan trong dung dịch NaOH 6M nên không cần phải khảo sát tách loại Fe trong dung dịch. Việc khảo sát tách loại các tạp chất chủ yếu là tách loại Pb, các ion kim loại khác Cu, Cd sẽ tách loại đồng thời trong quá trình tách loại Pb.

Tách loại tạp chất bằng Na₂S

Na₂S còn tạo kết tủa với một số ion kim loại khác trong dung dịch sau hòa tách như Pb, Cu, Cd. Ngoài ra, trong dung dịch NaOH 6M chì và sunfua có thể tồn tại ở các dạng kết tủa như PbS, Na₂Pb(OH)₂S nên khối lượng Na₂S.9H₂O chi phí sẽ cao hơn lý thuyết.

Bảng 4: Ảnh hưởng của tỷ lệ khối lượng Na₂S.9H₂O/Pb đến hiệu suất tách loại Pb (thời gian kết tủa 90 phút, nhiệt độ thường).

Tỷ lệ khối lượng Na ₂ S.9H ₂ O/Pb (g/g)	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
Hiệu suất tách loại chì (%)	85	95	97	98	99

Hiệu suất tách loại kẽm (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5
-----------------------------	-----	-----	-----	-----	-----

Như vậy, với tỷ lệ khối lượng $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}/\text{Pb} = 1,75$ quá trình tách loại Pb trong dung dịch hòa tách đạt yêu cầu.

Tách loại tạp chất bằng bột kẽm kim loại

Từ phương trình phản ứng (7) và khối lượng Pb trong dung dịch sau hòa tách 0,86g nên khối lượng bột kẽm kim loại (Zn 98%) tối thiểu theo lý thuyết cần để tách loại Pb là 0,277 g.

Bảng 5: Ảnh hưởng của tỷ lệ khối lượng Zn/Pb đến hiệu suất tách loại Pb (thời gian phản ứng 120 phút, nhiệt độ thường).

Tỷ lệ khối lượng Zn/Pb (g)	0,35	0,53	0,75	0,88	1,05
Hiệu suất tách loại chì (%)	92	95	98	99	99

Dung dịch sau khi tách loại tạp chất bằng $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ hoặc bột kẽm kim loại có độ sạch cao, hàm lượng Zn 46g/l, tạp chất Pb 1mg/l và 3mg/l, Cu, Cd dưới giới hạn phát hiện.

Các thông số tối ưu của quá trình tách loại tạp chất trong nguyên liệu sau hòa tách: tỷ lệ khối lượng $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}/\text{Pb} = 1,75$ hoặc tỷ lệ khối lượng Zn/Pb 0,75 – 0,88, thời gian tách loại 90 phút ở nhiệt độ thường, hiệu suất tách loại tạp chất 97 - 99%.

Đối với các nghiên cứu được thực hiện trong phòng thí nghiệm, trong thời gian tách loại 90 phút, hai tác nhân Na_2S và bột kẽm kim loại đều đạt yêu cầu của nghiên cứu: hiệu suất tách loại các tạp chất cao, hàm lượng các tạp chất rất thấp (Pb 1mg/l và 3mg/l, Cu, Cd dưới giới hạn phát hiện). Với tác nhân Na_2S cần xác định chính xác lượng tạp chất có trong dung dịch qua đó sử dụng đúng tỷ lệ lượng Na_2S (tỷ lệ lượng $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}/\text{Pb} = 1,75$) để tránh mất mát Zn do tạo kết tủa ZnS. Với bột kẽm kim loại không cần thiết phải định lượng chính xác tỷ lệ lượng bột kẽm thêm vào dung dịch, nếu sử dụng với tỷ lệ lượng lớn hơn (> 0,75-0,8) thì có thể tái sử dụng tiếp cho các mẻ tách loại tiếp theo. Đề tài dự kiến thực hiện tiếp ở quy mô sản xuất thử nghiệm nên ngoài việc tối ưu tỷ lệ lượng của $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ và bột kẽm kim loại còn cần tính đến giá thành các tác nhân tách, khả năng lọc tách rắn – lỏng và tái sử dụng hoặc thu hồi bã sau quá trình làm sạch (chì sunfua và bột kẽm chì).

Bảng 6: Thành phần nguyên liệu và các dung dịch thu được trong quá trình nghiên cứu.

	Zn	Fe	Pb	Cu	Cd	Cl
Nguyên liệu ban đầu (%)	69,6	0,1	2,1	0,01	0,015	5,2
Dung dịch sau hòa tách (g/l)	45	-	0,860	0,0056	0,0023	0,15
Dung dịch sau làm sạch (g/l)	45	-	0,002	-	-	0,15

3. KẾT LUẬN

Với nguyên liệu có thành phần Zn 69,6%, Pb 2,1%, Fe 0,1%, Cu 0,01%,... quá trình tách loại clorua bằng tác nhân NaOH cho hiệu quả tốt. Với tỷ lệ R/L 1:10 (kg/l), thời gian khuấy trộn 120 phút, sử dụng NaOH để duy trì pH = 10, hiệu quả tách loại clorua trong nguyên liệu từ 5,2% xuống còn 0,2-0,3 % (đạt hiệu suất 94 - 96%). Điều kiện tối ưu để hòa tách kẽm: tỷ lệ R/L 60:1 (g/l), nồng độ NaOH 6M, thời gian hòa tách 90 phút, hòa tách nhiệt độ thường, hiệu suất hòa tách đạt 98%.

Dung dịch sau hòa tách có hàm lượng các tạp chất Pb 0,86g/l, Cu 5,6mg/l, Cd 2,3mg/l được tách loại bằng $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ với tỷ lệ khối lượng 1,5 – 1,75 hoặc bằng bột kẽm kim loại

với tỷ lệ khối lượng 0,75- 0,88, thời gian 90 phút ở nhiệt độ thường, hiệu suất tách loại tạp chất đạt 97- 98%. Dung dịch thu được sau quá trình làm sạch đạt tiêu chuẩn để điện phân thu hồi bột kẽm kim loại với hàm lượng Zn 46g/l, Pb 1-3mg/l, Cu, Cd dưới giới hạn phát hiện. Đề tài dự kiến thực hiện tiếp ở quy mô sản xuất thử nghiệm nên ngoài việc tối ưu tỷ lệ lượng của $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ và bột kẽm kim loại còn cần tính đến giá thành các tác nhân tách, lọc tách rắn – lỏng và tái sử dụng hoặc thu hồi bã sau quá trình làm sạch (chì sunfua và bột kẽm chì).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Guo-dong ZHAO, Qing Liu, "Effects of impurities ions on Zinc Electrowinning process in Alkaline Leaching ", 2010 International Conference on Biology, Environment and Chemistry IPCBEE vol.1 (2011) © (2011) IACSIT Press, Singapore.
- [2]. Ilhan Ehsani, Ayse Ucyildiz, Abdullah Obut, "Leaching behaviour of zinc from a smithsonite ore in sodium hydroxide solutions", Hacettepe University, Mining Engineering Department, 06800 Beytepe, Ankara, Turkey.
- [3]. Seyed Mahyar Seyed Ghasemi, Asghar Azizi, "Alkaline leaching of lead and zinc by sodium hydroxide: kinetics modeling", Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, 3619995161 Shahrood, Iran.
- [4]. Wei-Sheng Chen, Yun-Hwei Shen, Min-Shing Tsai, Fang-Chih Chang, "Removal of chloride from electric arc furnace dust", *Journal of Hazardous Materials* 190 (2011) 639–644.
- [5]. Y. Zhao, C. Zhang, *Pollution Control and Resource Reuse for Alkaline Hydrometallurgy of Amphoteric Metal Hazardous Wastes, Handbook of Environmental Engineering* 18.
- [6]. Y. Zhao, Robert Stanforth "Production of Zn powder by alkaline treatment of smithsonite Zn–Pb ores " *Hydrometallurgy* 56 2000 237–249.