

# BÁO CÁO VỀ TÁCH LOẠI TẠP CHẤT TRONG NGUYÊN LIỆU ĐẦU CỦA DÂY CHUYỀN SẢN XUẤT ZnO 98,5% BẰNG PHƯƠNG PHÁP HALOGEN HÓA

KS. Phạm Minh Tuấn, KS. Lương Mạnh Hùng, CN. Trần Ngọc Vượng, CN. Trần Thế Định

## *Viện công nghệ Xạ Hiếm*

**Tóm tắt:** Sản phẩm ZnO sản xuất theo phương pháp hoàn nguyên oxy hóa phụ thuộc rất nhiều vào chất lượng nguyên liệu đầu vào. Hàm lượng ZnO trong sản phẩm sẽ giảm mạnh khi trong nguyên liệu có chứa các muối halogen do quá trình tạo các halogenua của Zn, Pb trong sản phẩm. Trong quá trình hoàn nguyên oxy hoá, cả Zn và Pb cùng bị hoàn nguyên oxy hoá nên một lượng lớn Pb có trong nguyên liệu sẽ đi vào sản phẩm ZnO thu được. Do khả năng oxy hoá của Pb tạo thành PbO kém hơn so với Zn nên hàm lượng Pb trong sản phẩm ZnO theo phương pháp hoàn nguyên oxy hoá thường nhỏ hơn chút ít so với hàm lượng Pb trong nguyên liệu đầu. Trong trường hợp trong nguyên liệu đầu vào có hàm lượng clorua cao như trong các xỉ kẽm phế liệu công nghiệp thì quá trình bay hơi Pb ở dạng PbCl<sub>2</sub> càng dễ dàng hơn nên thậm chí hàm lượng Pb trong sản phẩm có thể xấp xỉ với hàm lượng Pb trong nguyên liệu. Vì những lý do nêu trên, một trong những mục tiêu đầu tiên của công nghệ sản xuất ZnO theo phương pháp hoàn nguyên oxy hoá là giảm thiểu hàm lượng Pb sao cho lượng Pb trong nguyên liệu trước khi đưa vào lò hoàn nguyên oxy hoá gần bằng hàm lượng Pb yêu cầu đạt được trong sản phẩm.

**Abstract:** The quantity of zinc oxide produced by American process (reduction-oxidation process) depends on the quality of raw materials. ZnO content in the product will be decreased if the raw materials contain halogen salts because of the formation of Zn, Pb halides. In this process, both Zn and Pb in the raw materials will be affected by the reduction-oxidation process so a large amount of Pb in raw materials will go into the ZnO products obtained. Due to the oxidation of Zinc is easier than the oxidation of Lead, the content of Pb in the ZnO products by this method is usually slightly smaller than the Pb content in the raw material. In the case of inputs with a high chloride content in the zinc slag, the evaporation Pb as PbCl<sub>2</sub> much easier, so the Pb content in the ZnO product will be as high as Pb contain in raw materials. For the reasons mentioned above, one of the first stage of ZnO production line by reduction-oxidation method is to reduce the amount of Pb in the raw materials near with Pb content required in the zinc oxide products to achieve the product.

## I. Xử lý tách loại chì

Việc tách loại Pb được thực hiện trên cơ sở phản ứng clo hóa của Pb, PbO với các muối clorua tạo ra sản phẩm muối PbCl<sub>2</sub> bay hơi. Khi đốt nóng ở nhiệt độ cao các muối clorua của Pb sẽ thoát ra khỏi hệ phản ứng, kết quả sau quá trình tách loại ta thu được nguyên liệu chứa kẽm với hàm lượng Pb thấp.

Quá trình tách loại Pb theo phương pháp bay hơi muối clorua giúp ta đồng thời giải quyết cả hai nhiệm vụ quan trọng nhất là giảm thiểu hàm lượng Pb và hàm lượng muối clorua trong nguyên liệu mà quá trình hoàn thiện công nghệ cần thực hiện để sản xuất ZnO 98,5%.

## I.1. Tách loại Pb trong phòng thí nghiệm.

Các phản ứng chính của quá trình tách loại Pb được biểu diễn bằng các phương trình phản ứng sau:



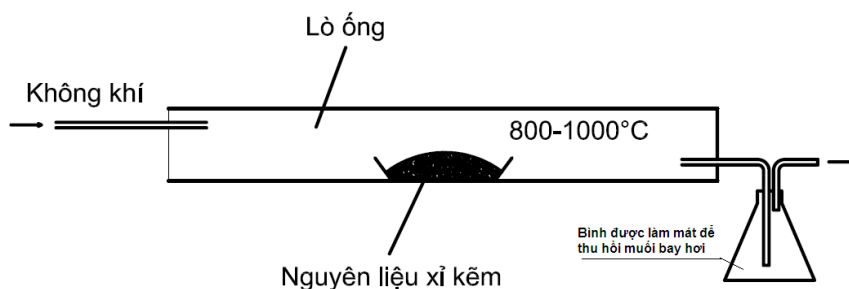
Theo [9], phản ứng (1) xảy ra ở nhiệt độ 900-1000<sup>0</sup>C, thời gian phản ứng khoảng 90 phút, năng lượng hoạt hóa cho phản ứng (1) là 175 kJ/mol, các phản ứng (2) và (3) có thể xảy ra ở nhiệt độ thấp hơn (800-1000<sup>0</sup>C).

Sơ đồ hệ thống thiết bị nghiên cứu quá trình tách loại Pb trong nguyên liệu xỉ kẽm được xây dựng như miêu tả trên hình 2-1.

### 1. Nguyên liệu và hóa chất cho thí nghiệm:

- Xỉ kẽm: xỉ kẽm phế liệu sau khi được sấy khô ở 105<sup>0</sup>C. Mỗi mẻ thí nghiệm 200g. Thành phần hóa học trong xỉ nổi như sau: Zn 67%, Pb 1,6%, Cl 6,2%, SiO<sub>2</sub> 4%, Fe 1,3%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,8%;
- NaCl (99%) loại muối ăn thực phẩm;

### 2. Thiết bị: lò nung dạng ống 1200<sup>0</sup>C.



Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm tách Pb trong lò tĩnh

- ### 3. Tiến hành thí nghiệm:
- Trong thiết bị nung tĩnh, nguyên liệu xỉ kẽm được phối trộn đều với NaCl theo các tỷ lệ lượng xác định sẵn cho từng thí nghiệm, sau đó được nung đến nhiệt độ cần thiết. Các chất khí tạo ra khi nung được thu lại trong hệ thống thu hồi. Dựa trên các tài liệu tham khảo [19, 25], khoảng nhiệt độ phản ứng được khảo sát từ 800–1050<sup>0</sup>C, thời gian phản ứng dưới 120 phút.

Kết quả thí nghiệm được trình bày trong bảng 2-1.

Các đồ thị biểu diễn kết quả các thí nghiệm khảo sát quá trình tách loại Pb trong nguyên liệu xỉ kẽm được trình bày trên các hình 2-2, 2-3 và 2-4.

Sau quá trình xử lý trong lò tĩnh, lượng kẽm thu được trong nguyên liệu sau khi xử lý thường đạt khoảng 95–99% so với tổng lượng kẽm Zn trong nguyên liệu đưa vào. Một phần kẽm bị clo hoá cùng với quá trình clo hoá chỉ tạo ra các sản phẩm bay hơi là ZnCl<sub>2</sub> và PbCl<sub>2</sub> thoát ra khỏi khối phản ứng và được thu hồi trong bình tam giác có làm mát.

Kết quả thí nghiệm cho thấy quá trình tách loại Pb trong lò nung tĩnh đạt hiệu quả tốt. Khi tăng nhiệt độ, tốc độ của quá trình tách Pb trong khối phản ứng tăng mạnh. Lượng Pb tách khỏi khối phản ứng đạt đến trên 80% ở khoảng thời gian phản ứng đạt 90 phút.

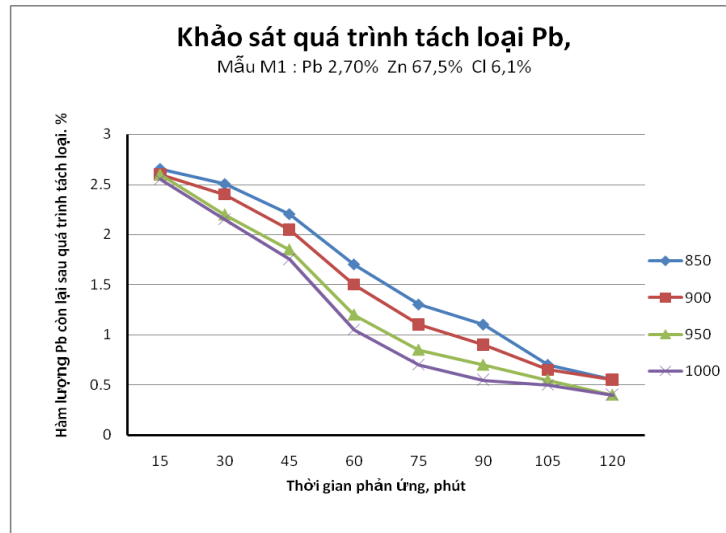
Khi thời gian phản ứng đạt 120 phút, ngay cả ở nhiệt độ 800<sup>0</sup>C (là nhiệt độ thí nghiệm thấp nhất trong khoảng nhiệt độ khảo sát), lượng Pb trong sản phẩm sau phản ứng hoàn toàn đạt yêu cầu cho quá trình sản xuất sản phẩm ZnO có hàm lượng Pb thấp

**Bảng 1. Kết quả thí nghiệm tách Pb bằng phương pháp clo hoá**

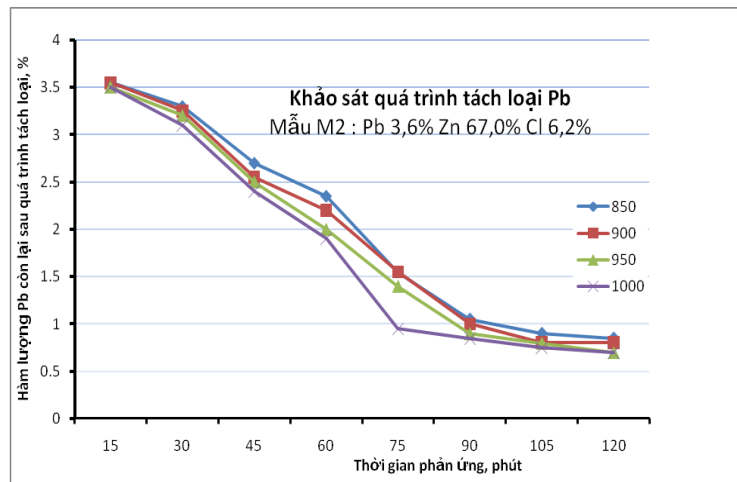
<i>Ký hiệu mẫu</i>	<i>Thành phần mẫu, %</i>	<i>Nhiệt độ phản ứng</i>	<i>Thời gian phản ứng, phút</i>							
			15	30	45	60	75	90	105	120
M1	Zn 67,5 Pb 2,70 Cl 6,1	850	2,65	2,5	2,2	1,7	1,3	1,1	0,7	0,55
		900	2,6	2,4	2,05	1,5	1,1	0,9	0,65	0,55
		950	2,6	2,2	1,85	1,2	0,85	0,7	0,55	0,4
		1000	2,55	2,15	1,75	1,05	0,7	0,55	0,5	0,4
M2	Pb 3,6 Cl 6,2 Zn 67,0	850	3,55	3,3	2,7	2,35	1,55	1,05	0,9	0,85
		900	3,55	3,25	2,55	2,2	1,55	1	0,8	0,8
		950	3,5	3,2	2,5	2,0	1,4	0,9	0,8	0,7
		1000	3,5	3,1	2,4	1,9	0,95	0,85	0,75	0,7
M3	Pb 3,6 Cl 6,2 Zn 67,0 3%NaCl	850	3,55	3,3	2,7	2,35	1,55	0,8	0,55	0,5
		900	3,55	3,25	2,55	2,2	1,55	0,8	0,55	0,5
		950	3,5	3,2	2,5	2	1,4	0,7	0,5	0,45
		1000	3,5	3,1	2,4	1,9	0,95	0,7	0,45	0,45

Qua các tài liệu tham khảo [19] và các thí nghiệm theo sơ đồ hình 2-1 ta thấy, cùng với quá trình clo hoá chì, kẽm cũng bị clo hoá. Lượng kẽm bị clo hoá thường có khối lượng lớn hơn so với lượng chì. Vì quá trình tách loại Pb thường kèm theo quá trình bay hơi ZnCl<sub>2</sub> nên vấn đề thu hồi hỗn hợp chất khí thoát ra khỏi lò sau phản ứng clo hoá cần được quan tâm.

Khi hàm lượng Pb trong nguyên liệu thấp (thí nghiệm 1, đồ thị hình 2-2), quá trình tách loại Pb rất hiệu quả..



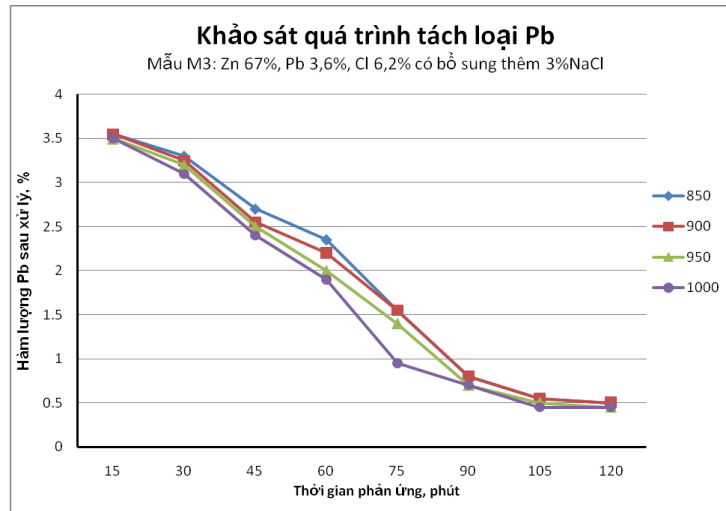
**Hình 2. Khảo sát quá trình tách loại Pb (mẫu 1).**



**Hình 3. Khảo sát quá trình tách loại Pb (mẫu 2).**

Trong trường hợp hàm lượng Pb cao, mặc dù thời gian phản ứng kéo dài đến 120 phút, ngay cả ở nhiệt độ  $1050^{\circ}\text{C}$  (là nhiệt độ cao nhất trong khoảng nhiệt độ khảo sát) thì lượng Pb trong khối phản ứng vẫn chưa đạt yêu cầu (thí nghiệm 2, đồ thị 2-3). Hiện tượng này có thể giải thích bằng việc lượng muối clorua trong khối phản ứng đã bị phân huỷ hết nên không còn đủ muối clorua cung cấp cho quá trình clorua hoá Pb. Trong trường hợp này, cần bổ sung thêm muối clorua vào khối phản ứng để bổ sung tác nhân clorua hoá cho phản ứng như trong mẫu thí nghiệm 3 (đồ thị 2-4).

Từ các kết quả thí nghiệm ta thấy rằng, khi bổ sung thêm clorua ở dạng muối NaCl, hiệu quả tách Pb tăng lên mặc dù lượng clo trong nguyên liệu ban đầu rất lớn so với hàm lượng Pb trong nguyên liệu.



**Hình 4. Khảo sát quá trình tách loại Pb (mẫu 3)**

Điều này có thể cho ta thấy không phải tất cả các clorua đều ở dạng hợp chất clorua chì và kẽm mà chúng còn tồn tại ở một số dạng khác nữa. Khi nhiệt độ tăng cao, các muối clorua đó sẽ bị phân huỷ và một phần thoát ra khỏi khối phản ứng làm cho lượng clorua còn lại trong khối phản ứng không đủ đáp ứng cho quá trình clorua hoá Pb. Muối NaCl có nhiệt độ nóng chảy không cao ( $801^{\circ}\text{C}$ ) nhưng có nhiệt độ nóng chảy cao ( $1465^{\circ}\text{C}$ ) nên tác dụng clo hoá Pb rất hiệu quả vì nó không bị bay hơi hoặc phân huỷ nhiệt ở nhiệt độ phản ứng. Các thí nghiệm sử dụng muối amon clorua  $\text{NH}_4\text{Cl}$  làm tác nhân clorua hóa (không nêu trong báo cáo này) không mang lại hiệu quả như NaCl. Điều này có thể giải thích bằng việc phân huỷ sớm của amon clorua.

Việc tính toán bổ sung lượng muối NaCl được tính toán theo [19,25]. Các thí nghiệm kiểm chứng đã cho thấy lượng muối NaCl cần được bổ sung sao cho tổng lượng clorua trong khối phản ứng bằng khoảng 3 lần về khối lượng so với hàm lượng Pb trong nguyên liệu đầu.

Qua các số liệu thực nghiệm khảo sát quá trình tách loại Pb trong lò tĩnh có thể đưa ra các nhận xét sau đây:

- 1) Quá trình tách loại Pb trong lò tĩnh đạt hiệu quả tốt ở nhiệt độ trong khoảng  $800\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ , thời gian duy trì nhiệt độ phản ứng là 90 phút.
- 2) Trong xỉ kẽm phế liệu, các muối halogen (cụ thể là muối clorua) còn tồn tại ở nhiều dạng với các cation khác, các muối này bị phân huỷ và thoát Clơ ra khỏi hệ phản ứng trước khi tham gia phản ứng với Zn và Pb.
- 3) Với phương pháp Clo hoá, ta có thể giảm thiểu hàm lượng Pb trong nguyên liệu xỉ kẽm đến hàm lượng 0,4%. Điều này cho phép sử dụng phương pháp clo hoá để tách loại Pb trong các loại nguyên liệu xỉ kẽm có hàm lượng Pb cao, phục vụ cho quá trình hoàn nguyên ôxy hoá thu kẽm ôxit có hàm lượng tạp chất Pb thấp.
- 4) Lượng Clo có trong nguyên liệu xỉ kẽm ban đầu thường đủ đáp ứng cho quá trình clo hoá đối với các nguyên liệu có hàm lượng Pb 1,5-2,0% nên không cần phải bổ sung các tác nhân clo hoá (muối clorua natri, clorua amoni...). Khi hàm lượng Pb trong xỉ kẽm cao thì cần phải bổ sung muối clorua để cung cấp tác nhân cho phản ứng clo hoá.
- 5) Quá trình tách loại Pb kèm theo quá trình tạo các sản phẩm clorua bay hơi nên đồng thời với quá trình tách loại Pb chúng ta cũng loại được clo ra khỏi nguyên liệu xỉ kẽm. Như vậy phương pháp này có thể cùng lúc giải quyết cả hai vấn đề quan trọng nhất của quá trình chuẩn bị nguyên liệu cho sản xuất ZnO theo phương pháp hoàn nguyên ôxy hoá.

- 6) Nhiệt độ thích hợp cho quá trình clo hoá trong khoảng 900- 1000<sup>0</sup>C, thời gian duy trì ở nhiệt độ phản ứng là 75–90 phút.

## I.2. Khảo sát quá trình tách loại chì trong lò quay thí nghiệm.

Để xử lý tách loại tạp chất trong quá trình phản ứng rắn-rắn một cách hiệu quả, giải pháp xử lý trên lò quay cho phép tăng khả năng tiếp xúc giữa tác nhân phản ứng với tạp chất cần tách loại, đồng thời quá trình phản ứng trong lò quay cho phép đảo trộn khối phản ứng liên tục, tăng bề mặt thoát khí nên hiệu quả phản ứng sẽ được cải thiện. Điều này cho phép:

- Giảm thời gian xử lý;
- Tăng hiệu quả tách loại chì.

Việc khảo sát kiểm chứng các thông số quá trình trên lò tĩnh và xác lập các thông số tối ưu đã được thực hiện trên lò quay thí nghiệm:

- Hệ thống gia nhiệt: cấp nhiệt bằng dây điện trở phía ngoài thân lò có điều khiển nhiệt độ;
- Kích thước: đường kính lò D = 200 mm, chiều dài thân lò L = 1000mm;
- Tốc độ quay: 3 vòng / phút.

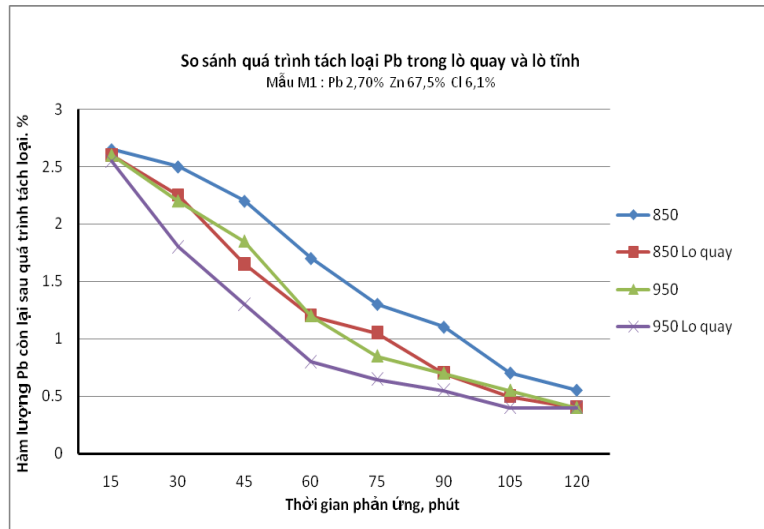
**Bảng 2. Hiệu quả tách loại Pb trong lò quay thí nghiệm**

Thành phần mẫu, %	Ký hiệu mẫu	Nhiệt độ phản ứng, °C	Thời gian phản ứng, phút							
			15	30	45	60	75	90	105	120
Zn 67,5	M1	850	2,60	2,25	1,65	1,2	1,05	0,7	0,5	0,4
Pb 2,70		900	2,50	1,95	1,45	0,95	0,80	0,6	0,5	0,4
Cl 6,1		950	2,55	1,8	1,3	0,8	0,65	0,55	0,4	0,4
Pb 3,6	M2	850	3,50	2,90	2,45	1,75	1,00	0,75	0,5	0,45
Cl 6,2		900	3,45	2,75	2,40	1,55	0,8	0,55	0,5	0,40
Zn 67,0 NaCl 3%		950	3,45	2,5	2,20	1,4	0,7	0,5	0,45	0,40

Các kết quả khảo sát quá trình tách loại Pb bằng lò quay thí nghiệm được trình bày trong bảng 2-2. Đây là các thí nghiệm kiểm chứng các thông số đã xác lập trong các thí nghiệm lò tĩnh, đồng thời do điều kiện thiết bị hạn chế nên chúng tôi chỉ tiến hành phản ứng ở các nhiệt độ thấp ( $\leq 950^0$ C).

Các kết quả khảo sát cho thấy các kết quả nghiên cứu trên lò tĩnh là phù hợp. Tỷ lệ tác nhân và nhiệt độ xử lý cần phải giữ nguyên nhưng cho phép rút ngắn thời gian phản ứng.

Đồ thị trên hình 2-5 cho ta so sánh thời gian phản ứng tách loại Pb khi sử dụng lò quay.



**Hình 5. So sánh hiệu quả tách loại Pb trong lò quay và lò tĩnh.**

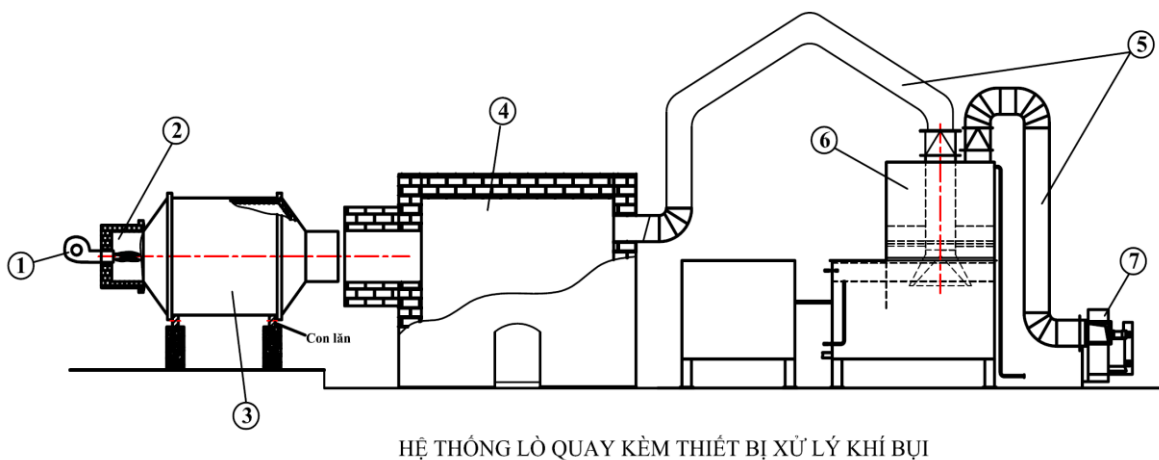
Từ bảng 2-1 và 2-2 ta có thể so sánh hiệu quả tách loại Pb trong lò quay và lò tĩnh. Hình 2-6 là so sánh hiệu quả giữa hai loại lò ở nhiệt độ 850<sup>0</sup>C và 950<sup>0</sup>C khi xử lý mẫu M1 ( Zn 67,5%, Pb 2,70%, Cl 6,1%).

Với thời gian xử lý rút ngắn hơn 15 phút so với lò tĩnh, cho phép tách loại Pb hiệu quả các nguyên liệu phế liệu công nghiệp chứa kẽm của ngành công nghiệp mạ nhôm kẽm nóng chảy với hàm lượng Pb = 1-3%. Bước xử lý này cho phép giảm hàm lượng chì xuống tới giá trị < 0,50 % và đảm bảo tiêu chuẩn nguyên liệu cho quá trình điều chế ZnO 98,5% với hàm lượng chì thấp phục vụ cho ngành công nghiệp cao su.

### I.3. Tách loại Pb trong thiết bị lò quay.

Trên cơ sở các thí nghiệm trên lò nung tĩnh và lò quay thí nghiệm, chúng tôi đã thiết kế và chế tạo lò quay phục vụ cho quá trình nghiên cứu sản xuất thử nghiệm (Xem phụ lục 6.1) Hình 2-6 là sơ đồ hệ thống lò quay phục vụ cho quá trình sản xuất thử nghiệm.

Đầu đốt (1) được lắp thông qua buồng đốt phụ (2). Nhiên liệu sử dụng là dầu diesel, công suất đầu đốt 33 kg dầu/h. Lò quay (3) được lót gạch chịu lửa, tốc độ quay 4–8 phút/vòng. Nguyên liệu được nạp vào lò quay thông qua buồng đốt phụ, lượng nguyên liệu tối đa cho 1 mẻ là 700 kg (tỷ trọng 1,5).



**Hình 6. Sơ đồ hệ thống lò quay và thiết bị xử lý khí sau lò.**

Buồng lắng (4) có tác dụng thu bụi sơ bộ. Khí sau lò gồm có các clorua kim loại (Zn, Pb) và khí cháy nhiên liệu được hút qua hệ thống ống dẫn (5) bằng thép không gỉ (SUS 304) xử lý khí (6) nhờ quạt hút (7). Khi đi qua hệ thống xử lý khí bụi (6), khí sau lò được hấp thụ bằng nước. Không khí sau khi qua hệ thống xử lý khí được hút tiếp qua hệ thống lọc túi để thu bụi triệt để trước khi thải ra ngoài.

Tại buồng lắng trung gian (4), một lượng nhiệt rất lớn được dòng khí mang theo. Nhiệt độ tại cửa vào của buồng (4) là 500 – 600<sup>0</sup>C, tại cửa ra là 300 – 400<sup>0</sup>C. Một giải pháp tận thu nhiệt để sấy khô sản phẩm sau khi rửa muối tan bằng hệ thống ống trao đổi nhiệt đã được thiết kế. Với lưu lượng quạt thổi khí 500 m<sup>3</sup>/h, nhiệt độ không khí ra khỏi hệ thống đạt 150<sup>0</sup>C. Bản vẽ thiết kế hệ thống trao đổi nhiệt tại buồng lắng trung gian được trình bày trong phần phụ lục 6.3.

Hình 2-7 là thiết bị lò quay sử dụng cho việc xử lý nguyên liệu xỉ kẽm trước khi đưa vào lò hoàn nguyên ôxy hoá.



**Hình 7. Lò quay xử lý nguyên liệu**

Các số liệu thí nghiệm trên hệ thống lò quay được trình bày trong bảng 2-3.

Qua quá trình vận hành thử nghiệm cho thấy sản phẩm sau lò quay có hàm lượng Pb được giảm thiểu đạt yêu cầu của quá trình hoàn nguyên ôxy hoá thu ZnO chất lượng cao.

**Bảng 3. Một số kết quả thử nghiệm tách loại Pb trong lò quay.**

TT	Nhiệt độ, <sup>0</sup> C.	Thời gian, phút.	Phối liệu <sup>(*)</sup>				Sản phẩm sau lò quay			
			Thành phần, %			Khối lượng, kg	Thành phần, %			Khối lượng, kg
			Zn	Pb	Cl		Zn	Pb	Cl	
1	800	105	67,0	3,6	6,2	500	68,8	0,50	2,5	480
2	850	75	67,0	3,6	6,2	500	68,2	0,5	2,7	
3	850	90	67,0	3,6	6,2	500	71,2	0,45	1,40	463
4	900	60	67,0	3,6	6,2	500	67,9	1,14	2,3	
5	900	75	67,0	3,6	6,2	500	68,3	0,40	1,6	
6	900	90	67,0	3,6	6,2	500	68,5	0,40	1,15	482

<sup>(\*)</sup> Phối liệu là xỉ kẽm có trộn thêm 3% NaCl.



Qua bảng số liệu thử nghiệm trên lò quay ta có thể rút ra một số nhận xét:

- Các kết quả thử nghiệm trên lò quay là phù hợp với các thí nghiệm đã được tiến hành trên lò tĩnh và lò quay thí nghiệm.
- Mặc dù nguyên liệu xỉ kẽm có hàm lượng Pb khá cao nhưng vẫn có thể giảm thiểu Pb đến giá trị cho phép (0,4–0,5%) cho quá trình sản xuất ZnO 98,5% theo phương pháp hoàn nguyên ôxy hoá.
- Nhiệt độ phản ứng thích hợp trong khoảng 850–900<sup>0</sup>C; thời gian phản ứng thích hợp vào là 75-90 phút.
- Các tính toán cân bằng vật liệu dựa trên các số liệu thực nghiệm trong bảng 2-3 cho thấy lượng kẽm bị tổn thất vào khoảng 1- 2%.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] PHẠM QUANG TRUNG, *Nghiên cứu quy trình nung phân huỷ ZnCO<sub>3</sub> thành ZnO trên thiết bị nung động*, Báo cáo tổng kết đề tài CS-99-13, Viện Công nghệ Xạ-Hiếm, Viện Năng lượng Nguyên tử Việt nam, Hà nội 4/2000.
- [2] YUREN JIANG, ET AL, *Preparation of High Purity Zinc Oxide from Zinc Metal Scrap*, Akita University and the University of Tokyo – Japan.
- [3] G. HEIDEMAN, *Reduced zinc oxide levels in sulphur vulcanization of rubber compounds*. Ph.D. Thesis, University of Twente, Enschede, the Netherlands, 2004.
- [4] BERGENDORFF O., PERSSON C., HANSSON C., *Chemical changes in rubber allergens during vulcanization*. Department of Dermatology, University Hospital, Lund University, Sweden.
- [5] DANIEL L. HERTZ, JR., *Theory & Practice Of Vulcanization*, Seals Eastern Inc., Red Bank, NJ 07701.
- [6] LUTAO LI, ET AL, *Formation of ZnO-containing Dust from Zn-bearing Steel Melts*, Technical University of Claustahl – Germany, July 25, 1994.
- [7] *Zinc Products*, 9930 Zinc Oxide transparent.AKROCHEM Corp..
- [8] HIROYUKI MATSUURA, ET AL, *Removal of Zn and Pb from Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> – ZnO – PbO Mixture by Selective Chlorination and Evaporation Reactions*, The University of Tokyo – Japan, January 30, 2006
- [9] JAE-MIN YOO, BYUNG-SOO KIM, MIN-SEUK KIM AND JINKI JEONG, *Separation of Lead and chlorine from electric arc furnace dust to recover Zinc*, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 3/2007.