

Tổng hợp kiến thức Điện phân nóng chảy và Điều chế kim loại

I. Lý thuyết chung về sự điện phân

1. Định nghĩa

Sự điện phân là quá trình oxi hóa - khử xảy ra trên bề mặt các điện cực khi có dòng điện một chiều đi qua chất điện li ở trạng thái nóng chảy hoặc dung dịch.

2. Cấu tạo bình điện phân

- **Catot (cực âm):** Nơi xảy ra quá trình khử (cation nhận electron).
- **Anot (cực dương):** Nơi xảy ra quá trình oxi hóa (anion nhường electron).
- **Chất điện li:** Các hợp chất ion ở trạng thái nóng chảy hoặc tan trong dung dịch, có khả năng phân li ra ion.

3. Nguyên tắc

Dưới tác dụng của điện trường, các ion dương (cation) di chuyển về phía catot và bị khử, trong khi các ion âm (anion) di chuyển về phía anot và bị oxi hóa.

- **Tại Catot (-):** $M^{n+} + ne \rightarrow M$
- **Tại Anot (+):** $X^{m-} \rightarrow X + me$

II. Điện phân nóng chảy

1. Mục đích và Nguyên tắc

Điện phân nóng chảy được dùng để điều chế các kim loại có tính khử mạnh (kim loại kiềm, kiềm thổ, nhôm) từ hợp chất ion của chúng (oxit, hidroxit, muối). Ở trạng thái nóng chảy, các ion có thể di chuyển tự do và tham gia vào quá trình điện phân.

2. Các dạng điện phân nóng chảy thường gặp

a. Điện phân oxit kim loại (Ví dụ: Al_2O_3)

Đây là phương pháp duy nhất để sản xuất nhôm trong công nghiệp.

- **Chất điện li:** Al_2O_3 nóng chảy ở $\sim 2050^\circ\text{C}$. Để hạ nhiệt độ nóng chảy xuống $\sim 900^\circ\text{C}$ và tăng độ dẫn điện, người ta hòa tan Al_2O_3 trong criolit (Na_3AlF_6) nóng chảy.
- **Phương trình điện phân:** $2\text{Al}_2\text{O}_3 \xrightarrow{\text{(điện phân nóng chảy, criolit)}} 4\text{Al} + 3\text{O}_2$
- **Quá trình tại các điện cực:**
 - Catot (-): $\text{Al}^{3+} + 3\text{e} \rightarrow \text{Al}$
 - Anot (+): $2\text{O}^{2-} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{e}$
- **Lưu ý:** Oxi sinh ra ở anot sẽ đốt cháy điện cực than chì (graphit), gây tiêu hao điện cực: $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$.

b. Điện phân hidroxit kim loại kiềm (Ví dụ: NaOH)

Phương pháp này dùng để điều chế kim loại kiềm trong phòng thí nghiệm.

- **Chất điện li:** NaOH nóng chảy.

- **Phương trình điện phân:** $4\text{NaOH} \xrightarrow{\text{(điện phân nóng chảy)}} 4\text{Na} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

- **Quá trình tại các điện cực:**

- Catot (-): $\text{Na}^+ + 1e \rightarrow \text{Na}$

- Anot (+): $4\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e$

c. Điện phân muối halogenua (Ví dụ: NaCl)

Đây là phương pháp chính để sản xuất kim loại kiềm (Na, K) và kiềm thổ (Mg, Ca) trong công nghiệp.

- **Chất điện li:** NaCl nóng chảy.

- **Phương trình điện phân:** $2\text{NaCl} \xrightarrow{\text{(điện phân nóng chảy)}} 2\text{Na} + \text{Cl}_2$

- **Quá trình tại các điện cực:**

- Catot (-): $\text{Na}^+ + 1e \rightarrow \text{Na}$

- Anot (+): $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2e$

- **Ví dụ 2:** Điện phân nóng chảy MgCl_2 để điều chế Mg.

$\text{MgCl}_2 \xrightarrow{\text{(điện phân nóng chảy)}} \text{Mg} + \text{Cl}_2$

3. Công thức Faraday

Định luật Faraday cho phép tính toán khối lượng chất thu được ở mỗi điện cực.

- **Công thức tổng quát:** $m = (A * I * t) / (n * F)$

- **Trong đó:**

- **m:** Khối lượng chất giải phóng ở điện cực (gam).
- **A:** Khối lượng mol nguyên tử của chất (g/mol).
- **I:** Cường độ dòng điện (Ampe, A).
- **t:** Thời gian điện phân (giây, s).
- **n:** Số electron trao đổi trong phản ứng ở điện cực.
- **F:** Hằng số Faraday ($F \approx 96500 \text{ C/mol}$).

- **Công thức tính số mol electron trao đổi:** $n_e = (I * t) / F$

Ví dụ: Điện phân nóng chảy Al_2O_3 với cường độ dòng điện 10A trong 2 giờ 40 phút 50 giây. Tính khối lượng Al thu được ở catot.

Giải:

Đổi thời gian: $t = 2 * 3600 + 40 * 60 + 50 = 9650$ giây.

Quá trình ở catot: $\text{Al}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Al}$ ($n=3$).

Áp dụng công thức Faraday: $m_{\text{Al}} = (27 * 10 * 9650) / (3 * 96500) = 9 \text{ gam}$.

III. Các phương pháp điều chế kim loại

1. Nguyên tắc chung

Khử ion kim loại trong hợp chất thành kim loại tự do.



2. Phân loại các phương pháp

Phương pháp	Nguyên tắc	Phạm vi áp dụng
Thủy luyện	Dùng kim loại có tính khử mạnh hơn (đứng trước) để đẩy kim loại có tính khử yếu hơn (đứng sau) ra khỏi dung dịch muối của nó.	Điều chế các kim loại có tính khử yếu (sau Mg) như Cu, Ag, Au.
Nhiệt luyện	Dùng các chất khử mạnh như C, CO, H ₂ , Al để khử ion kim loại trong oxit ở nhiệt độ cao.	Điều chế các kim loại có tính khử trung bình (sau Al) như Zn, Fe, Sn, Pb.
Điện phân	Dùng năng lượng dòng điện một chiều để khử ion kim loại trong hợp chất nóng chảy hoặc trong dung dịch.	Điều chế hầu hết các kim loại. Đặc biệt là các kim loại mạnh (IA, IIA, Al) bằng điện phân nóng chảy.

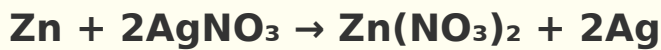
3. Chi tiết các phương pháp

a. Phương pháp Thủy luyện

- **Cơ sở:** Dựa trên dãy điện hóa của kim loại.
- **Phương trình tổng quát:** $M_1 + M_2^{n+}(dd) \rightarrow M_1^{n+}(dd) + M_2$ (Với M_1 có tính khử mạnh hơn M_2).
- **Ví dụ 1:** Dùng sắt để điều chế đồng.



- **Ví dụ 2:** Dùng kẽm để điều chế bạc.



b. Phương pháp Nhiệt luyện

- **Nguyên tắc:** Khử oxit kim loại bằng chất khử ở nhiệt độ cao.
- **Các chất khử thường dùng:**
 - **CO, H₂:** Dùng để khử oxit của các kim loại sau Al. Ví dụ: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \xrightarrow{t^\circ} 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$
 - **C (cacbon):** Dùng để khử các oxit như ZnO, PbO,... ở nhiệt độ rất cao. Ví dụ: $\text{ZnO} + \text{C} \xrightarrow{t^\circ} \text{Zn} + \text{CO}$.
 - **Al (phản ứng nhiệt nhôm):** Dùng để điều chế các kim loại khó nóng chảy như Cr, Mn. Ví dụ: $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \xrightarrow{t^\circ} 2\text{Cr} + \text{Al}_2\text{O}_3$
- **Lưu ý:** Phương pháp này không dùng để điều chế các kim loại mạnh từ Li đến Al.

c. Phương pháp Điện phân

Đây là phương pháp hiện đại và hiệu quả, có thể điều chế được hầu hết các kim loại.

1. **Điện phân nóng chảy:** Đã trình bày ở mục II. Dùng để điều chế kim loại mạnh (Li, K, Na, Ca, Mg, Al).
2. **Điện phân dung dịch:**
 - **Nguyên tắc:** Điện phân dung dịch muối của các kim loại có tính khử trung bình và yếu.

- **Ví dụ 1:** Điều chế Cu từ dung dịch CuSO_4 .

Phương trình: $2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{(điện phân dung dịch)}} 2\text{Cu} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$

Catot (-): $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Cu}$

Anot (+): $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}$

- **Ví dụ 2:** Điều chế Ag từ dung dịch AgNO_3 .

Phương trình: $4\text{AgNO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{(điện phân dung dịch)}} 4\text{Ag} + \text{O}_2 + 4\text{HNO}_3$

Catot (-): $\text{Ag}^+ + 1\text{e} \rightarrow \text{Ag}$

Anot (+): $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}$

IV. Bài tập vận dụng có lời giải

Bài tập 1: Điện phân nóng chảy hoàn toàn 11.7 gam NaCl, thu được khí Cl_2 ở anot. Tính thể tích khí Cl_2 (đktc) và khối lượng Na thu được ở catot.

Lời giải:

Số mol NaCl: $n_{\text{NaCl}} = 11.7 / 58.5 = 0.2 \text{ mol}$.

Phương trình điện phân: $2\text{NaCl} \rightarrow 2\text{Na} + \text{Cl}_2$

Theo phương trình:

$n_{\text{Na}} = n_{\text{NaCl}} = 0.2 \text{ mol} \rightarrow m_{\text{Na}} = 0.2 * 23 = 4.6 \text{ gam}$.

$n_{\text{Cl}_2} = 1/2 * n_{\text{NaCl}} = 0.1 \text{ mol} \rightarrow V_{\text{Cl}_2} = 0.1 * 22.4 = 2.24 \text{ lít}$.

Đáp án: 4.6g Na và 2.24L Cl_2 .

Bài tập 2: Khử hoàn toàn 32 gam hỗn hợp gồm CuO và Fe₂O₃ bằng khí H₂ dư, sau phản ứng thu được 24 gam hỗn hợp hai kim loại. Tính khối lượng mỗi oxit trong hỗn hợp ban đầu.

Lời giải:

Gọi x, y lần lượt là số mol của CuO và Fe₂O₃.

Ta có hệ phương trình:

1) Khối lượng hỗn hợp oxit: $80x + 160y = 32$

2) Khối lượng hỗn hợp kim loại: $64x + 112y = 24$

Giải hệ phương trình, ta được: $x = 0.2$ mol và $y = 0.1$ mol.

Khối lượng CuO: $m_{\text{CuO}} = 0.2 \cdot 80 = 16$ gam.

Khối lượng Fe₂O₃: $m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 0.1 \cdot 160 = 16$ gam.

Đáp án: 16g CuO và 16g Fe₂O₃.