

Chuyên đề: Nhôm và hợp chất - Phản ứng nhiệt nhôm và bài toán hiệu suất

Phản ứng nhiệt nhôm là một phần kiến thức quan trọng trong chương trình Hóa học lớp 12, thường xuất hiện trong các bài kiểm tra và đặc biệt là kỳ thi THPT Quốc gia. Chuyên đề này sẽ tổng hợp toàn bộ lý thuyết và các dạng bài tập liên quan, giúp học sinh nắm vững kiến thức và kỹ năng giải toán.

1. Lý thuyết trọng tâm về phản ứng nhiệt nhôm

1.1. Định nghĩa

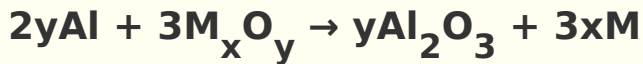
Phản ứng nhiệt nhôm là phản ứng hóa học trong đó nhôm (Al) khử oxit của các kim loại đứng sau nó trong dãy hoạt động hóa học ở nhiệt độ cao. Đây là phương pháp dùng để điều chế các kim loại khó nóng chảy như Crom (Cr), Sắt (Fe), Mangan (Mn),...

1.2. Bản chất và Điều kiện

- **Bản chất:** Do có tính khử mạnh, ở nhiệt độ cao, Al có thể chiếm oxi của các oxit kim loại kém hoạt động hơn (như Fe, Cr, Cu,...).
- **Đặc điểm:** Phản ứng tỏa ra một lượng nhiệt rất lớn, có thể làm nóng chảy kim loại mới được tạo thành.
- **Điều kiện:** Phản ứng cần được khơi mào ở nhiệt độ rất cao. Hỗn hợp ban đầu (gọi là hỗn hợp tecmit) thường gồm bột nhôm và bột oxit kim loại.

1.3. Phương trình phản ứng tổng quát

Phản ứng nhiệt nhôm có thể được biểu diễn bằng phương trình tổng quát:



Trong đó, M là kim loại đứng sau Al trong dãy hoạt động hóa học (ví dụ: Fe, Cr, Cu,...).

Ví dụ minh họa:

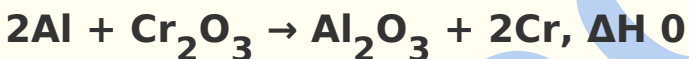
1. **Phản ứng với sắt(III) oxit (Fe_2O_3):** Đây là phản ứng nhiệt nhôm phổ biến nhất, được ứng dụng để hàn đường ray xe lửa.



2. **Phản ứng với sắt từ oxit (Fe_3O_4):**



3. **Phản ứng với crom(III) oxit (Cr_2O_3):** Dùng để điều chế crom.



2. Phân loại hỗn hợp chất rắn sau phản ứng

Thành phần hỗn hợp chất rắn sau phản ứng phụ thuộc vào hiệu suất phản ứng và tỉ lệ mol của các chất tham gia.

2.1. Trường hợp phản ứng xảy ra hoàn toàn (Hiệu suất H = 100%)

Khi phản ứng xảy ra hoàn toàn, sẽ có ít nhất một chất tham gia phản ứng hết.

Trường hợp	Chất phản ứng hết	Thành phần hỗn hợp rắn sau phản ứng
Tỉ lệ vừa đủ	Cả Al và M_xO_y đều hết	Al_2O_3 và kim loại M
Al dư	M_xO_y hết	Al_2O_3 , kim loại M và Al dư
Oxit kim loại dư	Al hết	Al_2O_3 , kim loại M và M_xO_y dư

2.2. Trường hợp phản ứng xảy ra không hoàn toàn (Hiệu suất H 100%)

Khi phản ứng không hoàn toàn, cả hai chất tham gia ban đầu (Al và M_xO_y) đều còn dư sau phản ứng.

- **Thành phần hỗn hợp rắn sau phản ứng:** Al_2O_3 , kim loại M, Al dư, và M_xO_y dư.

3. Các dạng bài toán và phương pháp giải

3.1. Dạng 1: Bài toán phản ứng hoàn toàn (H = 100%)

Phương pháp giải:

1. Viết phương trình hóa học của phản ứng.
2. Tính số mol các chất ban đầu.
3. So sánh tỉ lệ mol để xác định chất nào phản ứng hết, chất nào dư.
4. Tính toán lượng các chất sản phẩm và chất dư theo chất phản ứng hết.

Ví dụ: Nung nóng hỗn hợp gồm 10,8 gam Al và 48 gam Fe_2O_3 trong điều kiện không có không khí (phản ứng xảy ra hoàn toàn). Tính khối lượng sắt (Fe) thu được.

Lời giải:

- Số mol Al: $n_{\text{Al}} = 10,8 / 27 = 0,4 \text{ mol}$.
- Số mol Fe_2O_3 : $n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 48 / 160 = 0,3 \text{ mol}$.
- Phương trình phản ứng: **$2\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe}$**
- Tỷ lệ mol theo phương trình: $n_{\text{Al}} / 2$ và $n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} / 1$.
- Ta có: $0,4 / 2 = 0,2$ và $0,3 / 1 = 0,3$. Vì $0,2 < 0,3$ nên Al phản ứng hết, Fe_2O_3 dư. Mọi tính toán theo Al.
- Theo phương trình, $n_{\text{Fe}} = n_{\text{Al}} = 0,4 \text{ mol}$.
- Khối lượng Fe thu được: $m_{\text{Fe}} = 0,4 * 56 = 22,4 \text{ gam}$.

3.2. Dạng 2: Bài toán tính hiệu suất phản ứng (H 100%)

Hiệu suất phản ứng là tỉ lệ giữa lượng sản phẩm thực tế thu được so với lượng sản phẩm lý thuyết có thể thu được.

Công thức tính hiệu suất:

- **Tính theo chất tham gia:** $H\% = (\text{lượng chất đã phản ứng} / \text{lượng chất ban đầu}) \times 100\%$. (Lưu ý: tính theo chất phản ứng hết theo lý thuyết).
- **Tính theo sản phẩm:** $H\% = (\text{lượng sản phẩm thực tế} / \text{lượng sản phẩm lý thuyết}) \times 100\%$.

Phương pháp giải:

1. Xác định chất phản ứng hết theo lý thuyết (giả sử $H = 100\%$).
2. Tính lượng sản phẩm lý thuyết dựa trên chất phản ứng hết đó.
3. Dựa vào dữ kiện bài toán (lượng sản phẩm thực tế hoặc lượng chất tham gia đã phản ứng) để áp dụng công thức tính hiệu suất.

Ví dụ: Trộn 8,1 gam Al với 32 gam Fe_2O_3 rồi tiến hành phản ứng nhiệt nhôm, thu được 11,2 gam Fe. Tính hiệu suất của phản ứng.

Lời giải:

- Số mol Al: $n_{\text{Al}} = 8,1 / 27 = 0,3 \text{ mol}$.
- Số mol Fe_2O_3 : $n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 32 / 160 = 0,2 \text{ mol}$.
- Phương trình phản ứng: **$2\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe}$**
- Xét tỉ lệ: $0,3 / 2 = 0,15$ và $0,2 / 1 = 0,2$. Vì $0,15 < 0,2$ nên nếu $H=100\%$ thì Al hết, hiệu suất tính theo Al.
- Lượng Fe lý thuyết thu được (tính theo Al): $n_{\text{Fe (lý thuyết)}} = n_{\text{Al}} = 0,3 \text{ mol}$.
- Khối lượng Fe lý thuyết: $m_{\text{Fe (lý thuyết)}} = 0,3 * 56 = 16,8 \text{ gam}$.
- Lượng Fe thực tế thu được là 11,2 gam.
- Hiệu suất phản ứng: $H\% = (m_{\text{Fe (thực tế)}} / m_{\text{Fe (lý thuyết)}}) \times 100\% = (11,2 / 16,8) \times 100\% \approx 66,67\%$.

3.3. Dạng 3: Bài toán hỗn hợp sau phản ứng tác dụng với dung dịch axit/bazơ

Đây là dạng bài toán kết hợp, yêu cầu xác định thành phần hỗn hợp sau phản ứng nhiệt nhôm, sau đó viết các phương trình phản ứng của hỗn hợp này với axit (HCl , H_2SO_4 loãng/đặc) hoặc bazơ (NaOH , KOH ,...).

Phương pháp giải:

1. Xác định thành phần có thể có trong hỗn hợp rắn sau phản ứng (Al_2O_3 , M , Al dư, M_xO_y dư).
2. Viết các phương trình phản ứng của các chất trong hỗn hợp với dung dịch axit/bazơ. Chú ý các chất có khả năng phản ứng.
3. Sử dụng các dữ kiện (thể tích khí, khối lượng kết tủa,...) để lập hệ phương trình và giải.

Lưu ý các phản ứng quan trọng:

- Với dd HCl , H_2SO_4 loãng: Al dư và kim loại M (nếu đứng trước H) phản ứng sinh ra khí H_2 . Al_2O_3 và M_xO_y dư phản ứng tạo muối và nước.
- Với dd NaOH , KOH : Chỉ có Al dư và Al_2O_3 phản ứng.

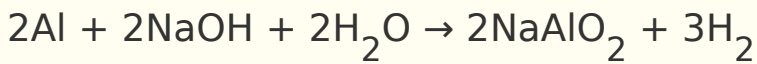
Ví dụ: Thực hiện phản ứng nhiệt nhôm hỗn hợp X gồm Al và Fe_2O_3 (không có không khí). Chia hỗn hợp sau phản ứng thành 2 phần bằng nhau. - Phần 1 cho tác dụng với dung dịch H_2SO_4 loãng dư, thu được 2,24 lít H_2 (đktc). - Phần 2 cho tác dụng với dung dịch NaOH dư, thu được 0,896 lít H_2 (đktc). Tính khối lượng Fe tạo thành trong mỗi phần.

Lời giải:

- Phản ứng nhiệt nhôm: $2\text{Al} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe}$.

- Hỗn hợp sau phản ứng có Al dư (vì tác dụng với NaOH sinh ra H_2). Thành phần gồm: Fe, Al_2O_3 , Al dư.

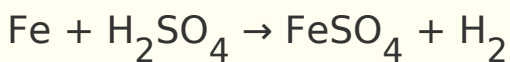
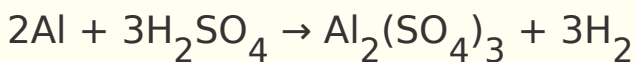
- **Phần 2 + NaOH:** Chỉ có Al dư phản ứng.



$$n_{\text{H}_2} (\text{P2}) = 0,896 / 22,4 = 0,04 \text{ mol.}$$

$$n_{\text{Al dư (trong P2)}} = (2/3) * n_{\text{H}_2} = (2/3) * 0,04 = 2/75 \text{ mol.}$$

- **Phần 1 + H_2SO_4 loãng:** Cả Al dư và Fe đều phản ứng.



$$n_{\text{H}_2} (\text{P1}) = 2,24 / 22,4 = 0,1 \text{ mol.}$$

$$\text{Tổng mol H}_2 = (3/2)n_{\text{Al dư}} + n_{\text{Fe}} = 0,1 \text{ mol.}$$

$$\text{Thay } n_{\text{Al dư}} = 2/75 \text{ mol vào, ta có: } (3/2)*(2/75) + n_{\text{Fe}} = 0,1 \Rightarrow 0,04 + n_{\text{Fe}} = 0,1 \Rightarrow n_{\text{Fe}} = 0,06 \text{ mol.}$$

- Khối lượng Fe tạo thành trong mỗi phần: $m_{\text{Fe}} = 0,06 * 56 = 3,36 \text{ gam.}$

4. Các phương pháp giải nhanh bài toán nhiệt nhôm

4.1. Định luật bảo toàn khối lượng

Khối lượng của hỗn hợp trước phản ứng luôn bằng khối lượng của hỗn hợp sau phản ứng.

$$m_{\text{trước}} (\text{Al} + \text{M}_x\text{O}_y) = m_{\text{sau}} (\text{hỗn hợp rắn})$$

Ứng dụng để tìm khối lượng của một chất khi biết khối lượng của các chất còn lại.

4.2. Định luật bảo toàn nguyên tố

Số mol của mỗi nguyên tố trước và sau phản ứng là không đổi.

- **Bảo toàn nguyên tố Al:** $n_{\text{Al (ban đầu)}} = n_{\text{Al (trong Al}_2\text{O}_3)} + n_{\text{Al (dư)}}$
- **Bảo toàn nguyên tố O:** $n_{\text{O (trong oxit ban đầu)}} = n_{\text{O (trong Al}_2\text{O}_3)} + n_{\text{O (trong oxit dư)}}$
- **Bảo toàn nguyên tố M:** $n_{\text{M (trong oxit ban đầu)}} = n_{\text{M (kim loại)}} + n_{\text{M (trong oxit dư)}}$

Đây là phương pháp cực kỳ hiệu quả, giúp giải quyết bài toán mà không cần viết đầy đủ các phương trình phức tạp.

4.3. Định luật bảo toàn electron

Thường áp dụng cho dạng bài toán hỗn hợp sau phản ứng tác dụng với các chất oxi hóa mạnh như HNO_3 , H_2SO_4 đặc, nóng.

Tổng số mol electron cho = Tổng số mol electron nhận

- Các chất cho electron: Al dư, kim loại M.
- Chất nhận electron: N^{+5} (trong HNO_3), S^{+6} (trong H_2SO_4 đặc).

Phương pháp này giúp tính toán nhanh lượng sản phẩm khử tạo thành hoặc lượng kim loại đã phản ứng.