

Практичне заняття № 6 (модуль 3)

Дисципліна: "Фізико-хімічне та науково - дослідницьке супроводження технології відновлювальних процесів"

(розділ " Методи отримання міцного залізорудного матеріалу ")
для студентів напрямку 136 – Металургія

«Розрахунок швидкості газифікації вуглецю при відновленні окатиша, що має вуглець»

Мета заняття

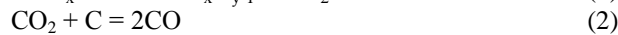
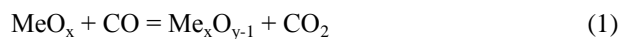
На прикладі розрахунків по технології агломерації ознайомиться з основними положеннями підготовки сировини до доменної плавки.

Знання й уміння

У результаті проведення занять студенти повинні:

- вміти визначити характеристику сировини огрудкованих залізорудних матеріалів.
- вміти визначити характеристики процесу спікання.

Механізм вуглецевотермічного відновлення ряду оксидів металів описується двозвеною схемою, що включає наступні реакції:



Остання частіше за все є лімітуючою і в основному визначає кінетичні закономірності процесу. Швидкість ланки газифікації $C_{\text{тв}}$ можливо описати наступним рівнянням:

$$V = K S P \left(\tilde{N}_{\tilde{N}i_2} - \tilde{N}_{\tilde{N}i_2}^2 \right) \frac{\tilde{N}_{\tilde{N}i_2}}{\tilde{n}} \quad (3)$$

де: $\tilde{N}_{\tilde{N}i_2}^{\delta}$ та $\tilde{N}_{\tilde{N}i_2}$ - рівноважна та фактична концентрація CO_2 у об'ємі шихти відповідно (моль CO_2/cm^3);
S – площа поверхні вуглецю (cm^2);
P – тиск вуглецевмісних газів CO_2 –CO (у відносних одиницях);
K – константа швидкості хімічної реакції (cm/c).

Константа швидкості реакції (2) описується наступним рівнянням:

$$\hat{E} = \hat{E}_0 \exp\left(-\frac{\hat{A}}{RT}\right) \quad (4)$$

Для різних вуглецевих матеріалів величина енергії активації E не однакова і в середньому складає 190000 дж/моль. Передекспонційний множник K_0 може бути визначено з виразу:

$$\lg K_0 = 2 + 2,62 \cdot 10^{-5} E \quad (5)$$

Відновлювальний окатиш складається із суміші оксидних і вуглецевих часток малих розмірів. Прийmemo, що ці частки мають сферичну форму і однаковий розмір r_0 (см). Тоді вихідна поверхня однієї з них визначиться співвідношенням:

$$S^1 = 4\pi r_0^2 \quad (6)$$

Позначивши масу вуглецю в окатиші через G_c , а щільність його через ρ_c (для графіту $2,1 \text{ г}/\text{cm}^3$), знайдемо загальну кількість часток $C_{\text{тв}}$:

$$n = \frac{3G_c}{4\pi r_0^3 \cdot \rho_c} \quad (7)$$

а площа поверхні їх складатиме

$$S = S^1 \cdot n = \frac{3G_c}{r_0 \cdot \rho_c} \quad (8)$$

При лімітуючій ролі реакції (2) концентрація CO_2 у поверхні вуглецю (C_{CO_2}) наближується до рівноваги реакції (1). У випадку близькості швидкостей обох ланок процесу величина C_{CO_2} буде проміжною між рівновагами цих ланок.

З урахуванням виразу

$$\tilde{N}_i = \frac{P_i}{RT} = \frac{(\%i)}{100 \cdot RT} \quad (9)$$

і по аналогії із виразом

$$\Delta \tilde{N} = \frac{(\% \tilde{N}_{\tilde{N}i_2})_{\delta-1} - (\% \tilde{N}_{\tilde{N}i_2})_{\delta-2}}{100RT} \quad (10)$$

різницю концентрацій діоксиду вуглецю ($\%C_{\text{CO}_2} - C_{\text{CO}_2}^p$) можна представити у вигляді:

$$\Delta \tilde{N} = \frac{(\% \tilde{N} \hat{I}_2) - (\% \tilde{N} \hat{I}_2)_\delta}{100RT} \cdot \frac{1,01325 \cdot 10^5}{10^6} \frac{\tilde{n} \hat{I}_2}{\tilde{n}^3} \quad (11)$$

де множник $1,01325 \cdot 10^5 / 10^6$ відображує перевід відносних одиниць тиску Р (або атм) в Паскалі (н/м^2) і метрів у см.

Оскільки швидкість реакції (2) зазвичай оцінюють в кількості вуглецю, що газифікується в одиницю часу, й з урахуванням того, що 1 моль CO_2 газифікує 1грам – атом вуглецю (12г), розрахункове рівняння перетворюємо у

$$V = 12KSP \cdot \frac{(\% \tilde{N} \hat{I}_2) - (\% \tilde{N} \hat{I}_2)_\delta}{10^3 \cdot RT} \cdot 1,01325 \frac{\tilde{a}\tilde{N}}{\tilde{n}} \quad (12)$$

У початковому періоді відновлення величина S зв'язана із вихідним радіусом часток вуглецю r_0 . По мірі розвитку процесу радіус зменшується, що повинно враховувати при розрахунку швидкості газифікації $S_{\text{ТВ}}$.

Зразковий розрахунок

Визначимо швидкість газифікації вуглецю по ходу відновлення окатиша на етапі $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$ при 900°C і $P=1$. Прийmemo, що в окатишу міститься 0,5г $S_{\text{ТВ}}$, щільність якого складає $2,1\text{г/см}^3$, а радіус часток $r_0 = 0,01\text{см}$.

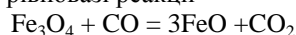
Константа рівноваги реакції (2) може бути знайдена на основі рівняння:

$$\ln K_p = \frac{20703,6}{T} + 21,345 \quad (13)$$

При 900°C (1173К) вона дорівнює 40,24. Рівноважну концентрацію CO_2 визначимо з рівняння:

$$(\% \tilde{N} \hat{I}_2) = 100 - \frac{50\hat{E}_\delta}{\hat{D}} \left[\sqrt{1 + 4 \frac{\hat{D}}{\hat{E}_\delta}} - 1 \right] = 2,37\% \quad (14)$$

Якщо відносно повільною ланкою відновлення є реакція (2), то склад газу в об'ємі окатиша повинен наближатись до рівновазі реакції



Для неї

$$\ln K_p = \frac{4254,3}{T} + 4,842 \quad (15)$$

і при 900°C $K_p = 3,37$, а

$$(\% \tilde{N} \hat{I}_2) = \frac{100\hat{E}_\delta}{1 + \hat{E}_\delta} = 77,1\% \quad (16)$$

Прийmemo, що в об'ємі окатиша ($\%\text{CO}_2$) $\approx 75\%$.

Площа поверхні $S_{\text{ТВ}}$ відповідно до рівняння (8)

$$S = \frac{3 \cdot G_c}{r_0 \rho_c} = \frac{3 \cdot 0,5}{0,01 \cdot 2,1} = 71,43 \tilde{n}^3 \quad (17)$$

Константа швидкості реакції (2) може бути визначена за допомогою рівнянь (4) та (5). Якщо енергія активації $S_{\text{ТВ}}$ $E = 200000\text{дж/моль}$, то $K_0 = 17378002$ і $K = K_0 \cdot 1,24 \cdot 10^{-9} = 0,108\text{г/с}$.

Використовуя отримані дані, знайдемо швидкість газифікації вуглецю в початковому періоді відновлення за допомогою рівняння (12).

$$V = 12 \cdot 0,108 \cdot 71,43 \cdot 1 \cdot \frac{75 - 2,37}{10^3 \cdot 8,314 \cdot 1173} \cdot 1,01325 = 6,986 \frac{\tilde{a}\tilde{N}}{\tilde{n}}$$

або $V = 41,9$ мг/хв

ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Варі- ант	T°C	P, атм	Маса вуглецю в окаатишу, г	Радіус часток, см
1	600	1	0,2	0,05
2	700	1	0,3	0,06
3	800	1	0,4	0,07
4	900	1	0,5	0,08
5	1000	1	0,6	0,09
6	1100	1	0,7	0,1
7	600	2	0,7	0,11
8	700	2	0,6	0,12
9	800	2	0,5	0,13
10	900	2	0,4	0,14
11	1000	2	0,3	0,15
12	1100	2	0,2	0,16
13	600	3	0,3	0,17
14	700	3	0,4	0,18
15	800	3	0,5	0,19
16	900	3	0,6	0,2
17	1000	3	0,7	0,19
18	1100	3	0,2	0,18
19	600	1,5	0,3	0,17
20	700	1,5	0,4	0,16
21	800	1,5	0,5	0,15
22	900	1,5	0,6	0,14
23	1000	1,5	0,7	0,13
24	1100	1,5	0,2	0,12
25	600	2,5	0,5	0,11
26	700	2,5	0,6	0,1
27	800	2,5	0,7	0,09
28	900	2,5	0,2	0,08
29	1000	2,5	0,3	0,07
30	1100	2,5	0,4	0,06