

Практичне заняття № 3 (модуль 2)

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

(розділ "Кінетичні дослідження відновлювальних процесів")

для студентів напрямку 136 - Металургія

Розрахунок кількості реакційних зон при відновленні у шахтному агрегаті.

Мета заняття

На прикладі теоретичних відомостей по рівноважному складу реакцій відновлення оксидів заліза воднем розрахувати кількість реакційних зон при відновленні залізорудного матеріалу в умовах шару.

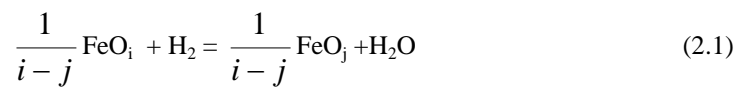
Знання й уміння

У результаті проведення занять студенти повинні:

- вмти визначати кількість реакційних зон в залежності від температури відновлення.
- вмти визначити реакційну зону, що лімітує .

Використовуючи методика А. Риста и Б. Бониварда, зробимо розрахунок параметрів процесу для випадку відновлення оксидів заліза воднем або СО. Вихідні дані для розрахунків наведені в табл. 2.1, 2.2, і на рис. 2.1.

У загальному вигляду рівняння відновлення оксиду заліза записується наступним чином:



где i, j – доля кисню відповідно у вихідному оксиду і продукті;
 $i = 1,05; 1,33; 1,5.$
 $j = 0,0; 1,05; 1,33.$

Доля кисню в вюститі прийнята постійною і відповідає мінімальному його вмісту. Що стосується реакцій відновлення магнетиту і вюститу, то експериментальні дані задовільно описуються виразами типа:

$$\lg K_p = -\frac{A}{T} + B \quad (2.2)$$

Таблиця 2.1

Вихідні дані для розрахунку стехіометричні відношень реакцій відновлення при відновленні воднем (СО) оксидів в умовах шару.

(розрахунок ведеться на 1 моль кисню, що віднімається)

№ п/п	Реакция	x_i^p	Δx_i	Y_i	Y_j	Δy_i
1	$\frac{1}{1,05} \text{FeO}_{1,05} + \text{H}_2 = \frac{1}{1,05} \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}$	x_1^p	$x_1^p - x_0$	1,05	0	1,05
2	$\frac{1}{0,28} \text{FeO}_{1,33} + \text{H}_2 = \frac{1}{0,28} \text{FeO}_{1,05} + \text{H}_2\text{O}$	x_2^p	$x_2^p - x_1^p$	1,33	1,05	0,28
3	$\frac{1}{0,17} \text{FeO}_{1,5} + \text{H}_2 = \frac{1}{0,17} \text{FeO}_{1,33} + \text{H}_2\text{O}$	x_3^p	$x_3^p - x_2^p$	1,5	1,33	0,17
4	$\frac{1}{1,33} \text{FeO}_{1,33} + \text{H}_2 = \frac{1}{1,33} \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}$	x_4^p	$x_4^p - x_0$	1,33	0	1,33
5	$\frac{1}{0,45} \text{FeO}_{1,5} + \text{H}_2 = \frac{1}{0,45} \text{FeO}_{1,05} + \text{H}_2\text{O}$	x_5^p	$x_5^p - x_0$	1,5	1,05	0,45

де: x – ступінь окислюваності газу;;

x_0 – ступінь окислюваності вихідного газу ($x_0 = 0$ для 100% H_2 , $x_0 = 1$ для 100% $\text{H}_2\text{O}_{\text{пара}}$ у вхідному газовому потоці);

x_i^p – рівноважна концентрація $\text{H}_2\text{O}_{\text{пара}}$ для i – тої реакції (x_3^p и x_5^p дорівнюють 1);

Δx_i – різність рівноважних концентрацій газу для двох послідовних реакцій або відновлювальна здатність газу (див. рис.2.1);

$y_i = \text{O}_i/\text{Fe}_i$ – ступінь окислюваності вихідного оксиду, (-);

$y_j = \text{O}_j/\text{Fe}_j$ – ступінь окислюваності оксиду продукту, (-);

$\Delta y_i = i-j$ – кількість одиниць кисню, що віднімається у FeO_i ;

$V_i = \Delta x_i/\Delta y_i$ – максимально можлива питома продуктивність реакції або доля відновника на одиницю кисню, що віднімається.

У табл.2.1 наведені реакції відновлення оксидів заліза воднем, таки ж реакції можна навести для реакцій відновлення оксидів заліза СО, тільки будуть змінюватись рівноважні характеристики цих реакцій..

Склад рівноважної газової фази для реакцій 1 і 2 з табл. 2.1.

Температура, °C	600	700	800	900	1000	1100
H ₂ O(x ^p ₂)	0,301	0,542	0,713	0,823	0,89	0,927
H ₂ O(x ^p ₁)	0,239	0,299	0,34	0,381	0,411	0,426
CO ₂ (x ^p ₂)	0,552	0,648	0,719	0,776	0,822	0,859
CO ₂ (x ^p ₁)	0,472	0,4	0,347	0,315	0,284	0,262

При потоколімітуючому режимі, в умовах шару, реакції в системі Fe-O-H досягають рівноваги. Кількість відновника, що іде на реакцію визначається відновлювальною здібністю газу (див рис.2.1). З рис. 2.1 бачимо, що з ростом температури кількість відновника (Δx_i) що витрачається для конкретної реакції змінюється, при цьому кількість кисню, що віднімається (Δy_i) для кожної ступені незмінно. Так кількість відновника для реакцій 1,2 з ростом температури зростає, а для реакції 3,4,5, зменшується. Таким чином, відношення кількості відновника к кількості кисню, що віднімається ($V_i = \Delta x_i / \Delta y_i$) може бути мірою відновної швидкості переміщення різних ступенів в системі Fe-O-H. Якщо швидкість для кожної послідовної реакції, у відповідності з принципом послідовності перетворень Байкова, менше попередньої ($V_1 < V_2 < V_3$), то в шарі будуть спостерігатись усі три зони реагування. В протилежному випадку можливо злиття пари зон в загальну зону реагування, тобто з'являться зони відповідно до реакцій 4 і 5 (згідно табл. 2.1).

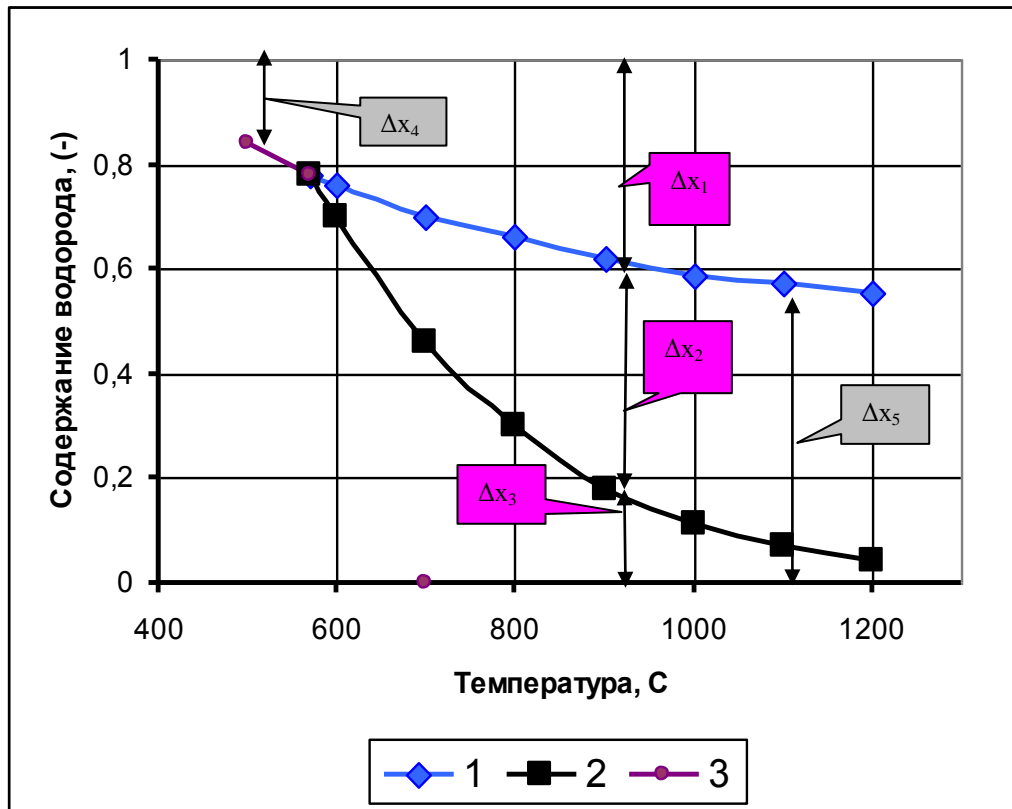


Рис.2.1 Рівноважний вміст водню в реакціях відновлення оксидів заліза
 1 – рівновага реакції 1; 2 – рівновага реакції 2; 3 – рівновага реакції 4
 (реакції відповідно табл. 2.1)

Зразковий розрахунок

Розрахувати відносну швидкість реакції в системі Fe-O-H при температурі 1000°C

С початку визначаємо значення x_1^p . Воно у відповідності до табл. 2.2. дорівнює 0,411. Далі визначаємо x_2^p , котре також знаходимо з табл. 2.2. Воно дорівнює 0,89. Також визначаємо x_4^p , котре знаходимо з рівняння

$$\lg K_p = - \frac{1500}{T} + 1,29$$

З цього рівняння знаходимо K_p яке дорівнює 1,29. Прирівнюємо %H₂O – x, тоді вміст водню складатиме 1-x, отримуємо рівняння

$$1,29 = \frac{\delta}{1 - \delta}$$

Вирішуючи це рівняння відносно x_4^p , воно дорівнює 0,563.

Далі розраховуємо відносні швидкості реакцій в системі Fe-O-H. Для цього потрібно визначити кількість кисню, що віднімається на кожній ступені.

У відповідності з реакціями табл. 2.1 визначаємо, що в реакції 1 віднімається 1,05 кисню, в реакції 2 віднімається 0,28кисню, в реакції 3 віднімається 0,17 кисню, в реакції 4 віднімається 1,33 кисню і в реакції 5 віднімається 0,45 кисню.

У відповідності з отриманими значеннями Δx_i і Δy_i отримуємо значення відносних швидкостей для цих реакцій

$$V_1 = \Delta x_1 / \Delta y_1 = (x_1^p - x_0) / (y_1 - y_j) = (0,411 - 0) / (1,05 - 0) = 0,391$$

$$V_2 = \Delta x_2 / \Delta y_2 = (x_2^p - x_1^p) / (y_{i2} - y_{j2}) = (0,89 - 0,411) / (1,3 - 1,05) = 1,71$$

$$V_3 = \Delta x_3 / \Delta y_3 = (x_3^p - x_2^p) / (y_{i3} - y_{j3}) = (1 - 0,89) / (1,5 - 1,33) = 0,647$$

Оскільки швидкості реакцій не збільшуються від мінімуму до максимуму то тоді треба розраховувати швидкості реакцій 4 та 5.

$$V_4 = \Delta x_4 / \Delta y_4 = (x_4^p - x_0) / (y_{i4} - y_{j4}) = (0,563 - 0) / (1,33 - 1,05) = 0,423$$

$$V_5 = \Delta x_5 / \Delta y_5 = (x_5^p - x_4^p) / (y_{i5} - y_{j5}) = (1 - 0,411) / (1,5 - 1,05) = 1,309$$

Таким чином у шарі формуються наступні реакції:

Реакція 1 а замість реакції 2 та 3 формується реакція 5. оскільки реакція 4 при даній температурі не відбувається

Варіанти завдань для самостійної роботи

Визначити які реакції формуються у шарі при його відновленні воднем або СО при наступних температурах

№ варіанту	Т°С	Газ відновлювач
1	600	H ₂
2	700	H ₂
3	800	H ₂
4	900	H ₂
5	1000	H ₂
6	1100	H ₂
7	600	CO
8	700	CO
9	800	CO
10	900	CO
11	1000	CO
12	1100	CO
13	650	H ₂
14	750	H ₂
15	850	H ₂
16	950	H ₂
17	1050	H ₂
18	625	H ₂
19	725	CO
20	825	CO
21	925	CO
22	1025	CO
23	675	CO
24	775	CO
25	875	H ₂
26	975	H ₂
27	1075	H ₂
28	550	H ₂
29	525	H ₂
30	500	H ₂