

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Одеська політехніка»

Методичні вказівки до проведення лабораторних занять з дисципліни
"Теорія металургійних процесів" для студентів денної і заочної форми
навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності
136 Металургія освітньої програми «Художнє та ювелірне литво»

Одеса, 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Одеська політехніка»

Методичні вказівки до проведення лабораторних занять з дисципліни
"Теорія металургійних процесів" для студентів денної і заочної форми
навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності
136 Металургія освітньої програми «Художнє та ювелірне литво».

Затверджене на засіданні
кафедри МІМ
Протокол № 9
Від 24.04.2024

Одеса, 2024

Методичні вказівки до проведення лабораторних занять з дисципліни "Теорія металургійних процесів" для студентів денної і заочної форми навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 136 Металургія освітньої програми «Художнє та ювелірне литво» / Укл.: Замятін М. І., Бондар О. А. – Одеса: Національний університет «Одеська політехніка», 2024. – 24 с.

Укладачі:

к.т.н. Замятін М.І.

к.т.н., доц. Бондар О.А.

ЗМІСТ

<u>Лабораторна робота № 1.</u>	4
<u>Лабораторна робота № 2.</u>	8
<u>Лабораторна робота № 3.</u>	11
<u>Лабораторна робота № 4.</u>	13
<u>Лабораторна робота № 5.</u>	15
<u>Лабораторна робота № 6.</u>	17
<u>Лабораторна робота № 7</u>	18
<u>Лабораторна робота № 8</u>	20
<u>Лабораторна робота № 9</u>	22

Лабораторна робота № 1.

Дослідження розкислення Fe – C розплаву різноманітними по складу шлаками

В металургійній практиці при плавці металів велике значення має відновний період плавки. Від того, як ефективно проведене розкислення розплаву залежить, в кінцевому підсумку, остаточна якість металу заготівлі.

Недостатня розкисленість розплаву призводить до того, що метал заготівлі обов'язково буде поражений газовими раковинами.

Мета лабораторної роботи

Необхідно підібрати такий склад шлаку, що забезпечив б максимальну розкисленість розплаву; іншими словами був б досягнутий мінімальний рівноважний зміст кисню в рідкій сталі при заданій температурі (рівноважне з даним шлаком).

Приклад 1.

Вибираємо п'ятикомпонентний шлак наступного складу:

FeO	MnO	CaO	MgO	SiO ₂
32.4 %	-----	29.63 %	9.19 %	22.96 %
Σ		94.18 %		

Температура розплаву – 1600°C

Рішення

1. Проведемо перерахунок компонентів шлаку в перерахунку на 100%.
2. Бо склад шлаку заданий в відсотках по масі, визначимо число молей – n_i – компонентів шлаку.
3. Визначимо загальне число катіонів і іонні частки катіонів компонентів шлаку.
4. Розрахунок уявимо в вигляді таблиці.

	FeO	MnO	CaO	MgO	SiO ₂
% по масі	34.4	-----	31.45	9.75	24.4
Молекулярна маса, m_i	72	71	56	40	60
Число молей, n_i	$34.4 : 72 = 0.478$	0	0.562	0.242	0.406
Σ	$\Sigma n_i = 1.688$				
$X_i = n_i : \Sigma n_i$	0.283	-----	0.332	0.144	0.241
			$X_{i \text{ CaO}}$	$X_{i \text{ MgO}}$	$X_{i \text{ SiO}_2}$

4.1. Відомо, що коефіцієнт активності кисню закиси залізу, знаходящийся в шлаку можна визначити по формулі:

$$\lg f^{\text{FeO}} = \frac{5900}{T} [(X_{i \text{ CaO}} + X_{i \text{ MgO}}) X_{i \text{ SiO}_2}]$$

Таким чином, для нашого прикладу:

$$\lg f^{\text{FeO}} = \frac{5900}{1873} (0,332 + 0,144) 0,241 = 0,362$$

$$f^{\text{FeO}} = 2,30$$

4.2. Константа рівноваги кисню між металом і шлаком описується наступною залежністю:

$$\lg K_p^{[0]} = -\frac{6320}{T} + 2,734$$

$$\text{В нашому випадку } \lg K_p^{[0]} = -\frac{6320}{1873} + 2,734 = -0,646$$

$$K_p^{[0]} = 0,226$$

4.3. Рівноважна кількість кисню в розплаві визначимо з наступного вираження:

$$[\%O] = X_i^{FeO} \cdot f^{FeO} \cdot K_p^{[0]} = 0,283 \cdot 2,30 \cdot 0,266 = 0,146\%$$

Висновок.

При даному складі шлаку в сталі при температурі 1873°K не може міститися кисню більш ніж 0,146%.

Завдання.

Підібрати такий склад шлаку, при якому зміст кисню в розплаві був би мінімальним (при температурі 1873°K).

Показати на прикладах, як впливає температура розплаву на рівноважну газонасиченість розплаву по кисню.

Приклад 2.

Розглянемо шестикомпонентний шлак.

Константа рівноваги реакції по **i** – тому компоненту, наприклад, по марганцю,

$$\text{Записується як - } K_p^{Mn} = \frac{\alpha_{[MnO]}}{\alpha_{[FeO]} \cdot [\%Mn]}$$

Знаючи константи рівноваги компонентів шлаку і розрахувавши активності цих компонентів в даному шлаку можна визначити рівноважний зміст **i** - того компоненту у розплаві, наприклад, марганцю.

Активність **i** - того компоненту **f_i** зв'язана з коефіцієнтом його активності **f_i** і іонною часткою катіону **X_i**, який входить в склад молекули компоненту формулою

$$a_i = f_i \cdot X_i$$

Рівняння для коефіцієнтів активності компонентів в шлаку залежать від основності шлаку.

В іонній теорії кислими вважаються такі шлаки, в яких іонна частка кремнію $X_{Si} > \frac{1}{3}$, а основними – шлаки, в яких $X_{Si} < \frac{1}{3}$.

В відповідності з таким діленням рівняння для коефіцієнтів активностей компонентів в основних і кислих шлаках наступні:

Основні шлаки.

$$\lg f^{[\text{FeO}]} = \frac{1000}{T} [2,18 X_{\text{Mn}} X_{\text{Si}} + 5,90 (X_{\text{Ca}} + X_{\text{Mg}}) X_{\text{Si}} + 10,50 X_{\text{Ca}} X^{\text{P}}]$$

$$\lg f^{[\text{MnO}]} = \lg f^{\text{FeO}} - \frac{2180}{T} X_{\text{Si}}$$

$$\lg f^{[\text{P}_2\text{O}_5]} = \lg f^{\text{FeO}} - \frac{10500}{T} X_{\text{Ca}}$$

2. Кисли шлаки.

$$\lg f^{[\text{FeO}]} = \frac{1000}{T} \{ [2,18 X_{\text{Mn}} X_{\text{Si}} + 5,90 (X_{\text{Ca}} + X_{\text{Mg}}) X_{\text{Si}} + 10,50 X_{\text{Ca}} X^{\text{P}}] + [0,5 (3X_{\text{Si}} - 1)^2 - X_{\text{Si}} (3X_{\text{Si}} - 1) (3,02 X^{\text{FeO}} + 6,82 X^{\text{Mn}} + 10,90 X^{\text{Mg}})] \}$$

$$\lg f^{\text{MnO}} = \lg f^{\text{FeO}} - \frac{2180}{T} X_{\text{Si}} + \frac{634}{T} (3X_{\text{Si}} - 1)^2$$

$$\lg f^{\text{P}_2\text{O}_5} = \lg f^{\text{FeO}} - \frac{10500}{T} X_{\text{Ca}} - 0,50 (3X_{\text{Si}} - 1)^2$$

Приклад розрахунку рівноважного стану системи шлак – розплав з використанням шестикомпонентних шлаків.

Задача.

Знайти рівноважний зміст в стали кисню, марганцю і фосфору під шлаком заданого складу при температурі 1873°K.

Склад шлаку	FeO	MnO	CaO	MgO	SiO ₂	P ₂ O ₅	Σ
% по масі	12,87	7,68	35,52	9,77	27,72	3,55	97,11
В переліченні на 100%	13,25	7,91	36,58	10,07	28,54	3,66	100,0

Рішення.

Розрахунок зводимо в таблицю.

Окисел	FeO	MnO	CaO	MgO	SiO ₂	P ₂ O ₅
Позначка	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
Перелік	13,25	7,91	36,58	10,07	28,54	3,66
Молекулярна маса, m _i	72	71	56	40,3	60	142
Число молей, n _i	13,25: 72 =0,184	0,111	0,653	0,25	0,476	0,0257
X _i =n _i :Σ n _i	0,108	0,065	0,384	0,147	0,28	0,015 **
Σn _i	1,699≈ 1,7					

** - значення X_i^{фосфор} в таблиці збільшені в два разі.

Бо X_i^{Si} < 1/3 (0,33), отже, шлак можна вважати основним і для розрахунку коефіцієнтів активності елементів, що складають шлак користуватися відповідними формулами.

Рішення

1. Визначаємо коефіцієнти активностей кисню, марганцю та фосфору в шлаці.

1.1. Для FeO

$$\lg f^{[\text{FeO}]} = \frac{1000}{T} [2,18 X_{\text{Mn}} X_{\text{Si}} + 5,90 (X_{\text{Ca}} + X_{\text{Mg}}) X_{\text{Si}} + 10,50 X_{\text{Ca}} X^{\text{P}}] =$$
$$\frac{1000}{1873} [2,18 (0,065) (0,28) + 5,9 (0,384 + 0,147) + 10,50 (0,348)] (0,030) = 0,54$$
$$f_{\text{O}_2} = 3,47$$

1.2 Для MnO

$$\lg f^{[\text{MnO}]} = \lg f^{\text{FeO}} - \frac{2180}{T} X_{\text{Si}} = 0,54 - \frac{2180}{1873} 0,28 = 0,217$$
$$f_{\text{Mn}} = 1,65$$

1.3 Для P₂O₅

$$\lg f^{[\text{P}_2\text{O}_5]} = \lg f^{\text{FeO}} - \frac{10500}{T} X_{\text{Ca}} = 0,54 - 0,348 = 2,42$$
$$f_{\text{P}} = 0,0265$$

2. Рівноважний зміст кисню в металі при заданій температурі 1873°K

Визначимо по формулі:

$$[\% \text{O}] = X_1 \cdot f^{\text{O}_2} \cdot K_{\text{P}}^{\text{O}_2} = 0,108 \cdot 3,47 \cdot 0,226 = 0,084\%$$

Примітка.

Коефіцієнт розподілу кисню між металом і шлаком **K_P=0,226** взятий з попереднього прикладу.

3. Рівноважний зміст марганцю в металі при заданій температурі 1873°K

Визначимо по формулі:

$$[\% \text{Mn}] = \frac{X_2}{X_1} \cdot f^{\text{Mn}} \cdot \frac{1}{f_{\text{O}_2}} \cdot \frac{1}{K_{\text{P}}^{\text{Mn}}} = \frac{0,065 \cdot 1,65}{0,108 \cdot 3,47 \cdot 2,9} = 0,10\%$$

Відомо, що константа рівноваги марганцю в рідкій сталі, описується рівнянням:

$$\lg K_{\text{P}}^{\text{Mn}} = \frac{6700}{T} - 3,12$$

Звідки **K_P^{Mn}** при температурі 1873°K=2,9

4. Рівноважний зміст фосфору в розплаві описується рівнянням

$$[\% \text{P}] = \frac{X^{\text{P}} \cdot f^{\text{P}}}{(K_{\text{фосфора}}^{1/5} \cdot X_1 \cdot f^{\text{O}_2})^{5/2}} = \frac{0,030 \cdot 0,0265}{(0,47 \cdot 0,108 \cdot 3,47)^{5/2}} = 0,063\%$$

Примітка.

Значення **K_P^{фосфора}=0,47** взяті з літературних джерел.

Висновок.

При тривалій витримці сталі в печі при T=1873°K під шаром шлаку наведеного вище складу в ній може бути:

- - - - кисню – не більш – 0,084%
- - - - марганцю – не більш – 0,6%
- - - - фосфору – не більш – 0,063%

Завдання.

Змінюючи склад шлаку добитися мінімального змісту в розплаві кисню та фосфору;

Визначити, як змінюється змісту кисню і фосфору в розплаві в залежності від температури розплаву.

Лабораторна робота № 2.

Визначення концентрації хімічних елементів в залізо – вуглеродистих розплавах за допомогою коефіцієнтів розподілу і констант рівноваги

В попередній лабораторній роботі необхідно було дослідницьким шляхом підібрати такий склад шлаку, щоб при заданій температурі в розплаві містилася б мінімальна кількість кисню.

Однак такий засіб підбору досить трудомісткий: необхідно чисто інтуїтивно підбирати склади шлаку і проводити громіздкі обчислення, щоб отримати оптимальний склад.

Разом з тим, можна достатньо швидко визначити можливість мимовільного переходу будь-якого компоненту розплаву (наприклад кисню) з однієї фази розплаву в іншу. А потім вже, в випадку підтвердження переходу цього компоненту з металу в шлак, проводити обчислення кількісних характеристик розкислення.

Наприклад, припустимо, що в ванні сталеплавильної печі в зіткненні з металом знаходиться шлак наступного складу:

FeO	MnO	CaO	SiO ₂	MgO	P ₂ O ₅
15%	12%	43%	20%	4.5%	5.5%

Визначити:

В якому направленні мимовільно буде переходити кисень (з шлаку в метал або з металу в шлак), якщо концентрація кисню в розплаві складає 0,2%.

Дано:

Коефіцієнт розподілу кисню між металом і шлаком при деяких температурах наведений в таблиці:

T, °K	1813	1853	1873	1893	1913	1933
a _{O2}	5,64	4,74	4,35	4,03	3,72	3,43

Рішення.

1. Визначимо загальне число катіонів і іонні частки катіонів окислів, що складають заданий шлак. Розрахунок зведемо в таблицю.

Окислі		MnO	CaO	SiO ₂	P ₂ O ₅	MgO
% по масі	15	12	43	20	5,5	4,5
Молекулярна маса, m _i	72	71	56	60	142	40,3
Число молей, n _i	0,208	0,169	0,768	0,333	0,039	0,112
X _i =n _i /Σn _i	0,125	0,101	0,46	0,2	0,047	0,067

$$\Sigma n_i = 0,208 + 0,169 + 0,768 + 0,333 + (0,039) \cdot 2 + 0,112 = 1,668$$

2. Коефіцієнт активності закиси залоза при температурі, наприклад 1873°K можна визначити з вже відомої нам залежності для основних шлаків (см попередню лабораторну роботу):

$$\lg f^{\text{FeO}} = \frac{1000}{T} [2,18 (X_{\text{Mn}} X_{\text{Si}}) + 5,90 (X_{\text{Ca}} + X_{\text{Mg}}) X_{\text{Si}} + 10,5 (X_{\text{Ca}} X_{\text{P}})]$$

$$\lg f^{\text{FeO}} = \frac{1000}{1873} [2,18(0,101)(0,2) + 5,90(0,46 + 0,067) 0,2 + 10,5 (0,46)(0,047)] = 0,477$$

$$f^{\text{FeO}} = 3,0$$

Знаходимо відношення активності закиси залоза до концентрації кисню в розплаві:

$$L_{[\text{O}]} = \frac{a_{[\text{FeO}]}}{y_{[\text{O}]}} = \frac{f_{[\text{FeO}]} \cdot x_{\text{Fe}}}{0,20} = \frac{3,0 \cdot 0,125}{0,20} = 1,875$$

де $y_{[\text{a}]}$ - концентрація кисню в розплаві, згідно умові задачі.

Аналіз отриманих результатів

В відповідності з законом розподілу відношення $\frac{a_{[\text{FeO}]}}{y_{[\text{O}]}}$ дорівнює коефіцієнту розподілу, якщо система знаходиться в стані рівноваги. В протилежному випадку це відношення або менше, або більше коефіцієнта розподілу. При цьому очевидно, що чим сильніше знак нерівності, тим далі стан системи від рівноважного. В процесі переходу системи до стану рівноваги склад шлаку

і металу повинен мінятися таким чином, щоб на час настання рівноваги відношення $L_{[\text{O}]} = \frac{a_{[\text{FeO}]}}{y_{[\text{O}]}}$ стало рівним коефіцієнту розподілу.

Якщо в якийсь момент часу при плавці $L_{[\text{O}]} > K_{[\text{O}]}$ (при даній фіксованій температурі), то по мірі наближення до стану рівноваги активність закиси залоза повинна зменшуватися, а зміст кисню в металі повинно збільшуватися. Таким чином, в цьому випадку кисень повинен мимовільно переходити з шлаку в метал.

Якщо ж в початковому стані системи шлак _ розплав дотримується нерівність $\frac{a_{[\text{FeO}]}}{y_{[\text{O}]}} < K_{[\text{O}]}$, то для отримання знаку рівності між $L_{[\text{O}]}$ та $K_{[\text{O}]}$ потрібно, щоб знаменник зменшувався, а чисельник зростав. Подібна зміна величин $a_{[\text{FeO}]}$ і $y_{[\text{O}]}$ відповідає процесу переходу кисню з металу в шлак.

Згідно проведеним розрахункам $L_{[\text{O}]} = 1,875$, а відомо, що при температурі 1873K $K_{[\text{O}]} = 4,35$ (табличні дані). Отже, при даній температурі і при даному складі шлаку кисень буде мимовільно переходити з металу в шлак.

3. Рівноважний зміст кисню в металі при тривалій витримці розплаву під шлаком даного складу можна визначити по наступній залежності:

$$[\% \text{O}] = X_{[\text{FeO}]} \cdot f^{[\text{FeO}]} \cdot K_{\text{P}}^{[\text{O}]} = 0,125 \cdot 3,0 \cdot 0,226 = 0,085\%$$

Завдання.

1. Розрахувати рівноважний зміст кисню в металі при контакті з наведеним в умові задачі шлаком при інших температурах (см таблицю прикладу).

2. Визначити зміст марганцю і фосфору в металі при температурі 1873°K, якщо $K_{[\text{P}]} = 0,023$

$$K_{[\text{Mn}]} = 3,37$$

Примітка.

Концентрацію марганцю і фосфору необхідно визначити з закону діючих мас, зважаючи на, наприклад, що $a_{\text{P}_{2\text{O}_5}} = f^2 \cdot X_{\text{P}}^2$, де іонна частка $P = 0,047$

Розрахункові формули будуть мати вигляд:

$$y_{[Mn]} = \frac{a_{[MnO]}}{K_{[Mn]} \cdot a_{[FeO]}} = \frac{f_{[MnO]} \cdot 0.101}{3.37 \cdot 3.0 \cdot 0.208}$$

$$y_{[P]} = \left(\frac{a_{[P_2O_5]}}{K_p \cdot a_{[FeO]}^5} \right)^{1/2} = \frac{f_{[P_2O_5]} \cdot 0.047}{(0.023^{1/2} \cdot (3.0 \cdot 0.208))^{5/2}}$$

Примітка.

Для інших температур розрахункові формули наведені в лабораторній роботі № 1 пп. 3 та

4.

3. Вирішити наступні задачі:

3.1. Обчислити концентрацію кисню в чавуні, знаходжemoся при 1933°K в рівновазі зі шлаком наступного складу: 33,95% CaO; 11,60% MgO; 37,77% SiO₂; 13,14% FeO; 3,54% MnO. $K_p^{[O]}=4,03$. Отриманий результат порівняти з досвідним=0,092%.

3.2. Обчислити концентрацію кисню в чавуні, знаходжemoся при 1913°K в рівновазі зі шлаком наступного складу (моль\100г): 0,243 CaO; 0,216 MgO; 0,275 SiO₂; 0,607 FeO. Коефіцієнт розподілу кисню при цій температурі рівний 3,72.

3.3. Обчислити концентрацію кисню в металі, рівноважнім при 1893°K зі шлаком наступного складу: 28,17% CaO; 5,74% MgO; 17,34% SiO₂; 43,75% FeO; 5,0% MnO. Коефіцієнт розподілу кисню між металом і шлаком рівний 4,03. Отриманий результат порівняти з досвідним=0,161%.

3.4. Обчислити зміст марганцю в металі, рівноважнім при 1873°K зі шлаком наступного складу: 36,52% CaO; 28,72% SiO₂; 13,76% FeO; 9,77% MgO; 3,55% P₂O₅; 7,68% MnO. Константа рівновазі реакції FeO+Mn=MnO+Fe рівна $K_p^{[Mn]}=3,37$. Отриманий результат порівняти з досвідним=0,083%.

3.5. Обчислити зміст марганцю в сталі, рівноважнім при 1873°K зі шлаком складу: 25,4% CaO; 32,6% SiO₂; 18,1% FeO; 13,8% MgO; 10,1% MnO. Константа рівновазі реакції FeO+Mn=MnO+Fe рівна=3,37. Отриманий результат порівняти з досвідним=0,078%.

3.6. При 1873°K в рівновазі з металом, що містять 0,130% O; 0,364% P; 0,128% Mn; знаходяться 3кг шлаку наступного складу: 10,9% CaO; 2,40% SiO₂; 51,8% FeO; 2,9% MgO; 6,6% P₂O₅; 23,6% MnO; 1,8% Al₂O₃. В якому напрямленні буде відбуватися перерозподіл кисню, марганцю і фосфору, якщо до шлаку додати 0,7 кг кремнезему? Константи розподілу кисню, марганцю і фосфору відповідно рівні: 4,35; 3,37; 0,023.

3.7. При 1873°K в рівновазі з металом, що містять 0,104% O; 0,101% P; 0,119% Mn; знаходяться 3кг шлаку наступного складу: 10,5% CaO; 25,7% SiO₂; 28,5% FeO; 2,9% MgO; 6,2% P₂O₅; 23,6% MnO; 1,8% Al₂O₃. В якому напрямленні буде відбуватися перерозподіл кисню, марганцю і фосфору, якщо до шлаку додати 2,5 кг карбонату кальцію? Відповідні цим процесам константи рівні: $K_{[O]}=4,35$; $K_{[Mn]}=3,37$; $K_{[P]}=0,023$.

Лабораторна робота № 3.

Ефективність очистки залізо - вуглеродистих розплавів від домішок сірки

Відомо, що коефіцієнт розподілу сірки між шлаком і розплавом записується як

$$L_s = \frac{(\%S)}{[\%S]} K_p,$$

А ефективність очистки розплаву від сірки визначається рівнянням:

$$L_s = \frac{(\%CaO)}{(\%FeO)} \quad (1)$$

Іншими словами, чим більше в шлаку CaO, то єсть чим більше основність шлаку і чим менше в шлаку закиси залоза FeO, то єсть чим більше відновні властивості шлаку, тим ефективне цей шлак може очистити розплав від домішок сірки.

Мета лабораторної роботи.

Переконатися, що основність шлаку є необхідною умовою для очистки розплаву від домішок сірки.

Переконатися, що зміст закиси залоза в шлаку грає основну роль в справі очистки розплаву від домішок сірки.

Переконатися в тому, що зміст сірки в розплаві можна значно понизити шляхом наведення на поверхню розплаву шлаку одного і того ж складу декілька раз (одно- або багаторазове екстрагування).

Проведення лабораторної роботи.

Так як оцінку ефективності шлаку по рафінующей спроможності необхідно проводити при температурах рідкого металу, то спочатку за допомогою РС IBM та програмного забезпечення, розробленого на кафедрі, студенти проводять моделювання очистки розплаву від сірки, котре полягає в тому, що студенти підбираючи певні склади шлаків намагаються довести правильність положення, висловлене залежністю (1). В подальшому, при вивченні дисципліни "Ливарні сплави та плавка", отримані теоретичні висновки можна буде перевірити на практиці при витопленні тієї або іншої марки стали.

Приклад роботи з програмою.

Вхідні дані:

Введіть ваше прізвище

Введіть шифр групи

Введіть початковий зміст сірки в металі (%): наприклад, 5

Введіть масу металу в печі (т): 100

Введіть масу шлаку в печі (т): 10

Введіть склад шлаку ,що досліджується (%):

- Оксид кремнію: - 15
- Оксид залоза (FeO): - 5
- Оксид залоза (Fe₂O₃): - 5
- Оксид алюмінію: - 5
- Оксид кальцію: - 60
- Оксид магнію: - 2,5
- Оксид марганцю: - 5
- Оксид фосфору: - 2,5

Enter

На екрані монітору з'явиться розрахунок:

При початковому змiсті сірки в металі: - 5%

Масі металу: - 100 т, масі шлаку: - 10 т, і складі шлаку (%):

- Оксид кремнію: - 15
- Оксид залоза (FeO): - 5
- Оксид залоза (Fe₂O₃): - 5
- Оксид алюмінію: - 5
- Оксид кальцію: - 60
- Оксид магнію: - 2.5
- Оксид марганцю: - 5
- Оксид фосфору: - 2.5

Число кіломолей вільного оксиду кальцію: 0,4374313056

Коефіцієнт розподілу сірки між металом і шлаком: 11,0901

Зміст сірки в металі після одноразового екстрагіровання шлаком: 2,37077%.

Зміст сірки в металі після дворазового екстрагіровання шлаком: 1,12411%.

Змінюючи склад шлаку можна добитися кращої очистки розплаву від домішок сірки. В цьому випадку на екрані монітору виникає наступний розрахунок:

При початковому змсті сірки в металі: - 5%

Масі металу: - 100 т, масі шлаку: - 10 т, і складі шлаку (%):

- Оксид кремнію: - 15
- Оксид залоза (FeO): - 10
- Оксид залоза (Fe₂O₃): - 2,5
- Оксид алюмінію: - 2,5
- Оксид кальцію: - 60
- Оксид магнію: - 2,5
- Оксид марганцю: - 5
- Оксид фосфору: - 2,5

Число кіломолей вільного оксиду кальцію: 0.47768576

Коефіцієнт розподілу сірки між металом і шлаком: 11,2181

Зміст сірки в металі після одноразового екстрагіровання шлаком: 2,3564%.

Зміст сірки в металі після дворазового екстрагіровання шлаком: 1,1100%.

Enter

Розпечатати отримані результати (Y/N)?: Y

Зміст протоколу лабораторної роботи.

1. Комп'ютерні розпечаткі по очистці розплаву від сірки шлаками вибраного складу;
2. Висновки.

Лабораторна робота № 4.

Ефективність очистки розплаву від фосфору різноманітними по складу шлаками

Відомо, що коефіцієнт розподілу фосфору між шлаком і розплавом записується наступним рівнянням:

$$L_p = \frac{(\%P)}{[\%P]}$$

Ефективність очистки розплаву від фосфору шлаком підкоряється наступній залежності:

$$L_p = (\%CaO) (\%FeO)$$

Мета лабораторної роботи.

Довести, що ефективність очистки розплаву від фосфору справді залежить від основності шлаку і окислительної його здібності. Іншими словами, розплав буде ефективно очищений від домішок фосфору, якщо на його поверхню буде наведен шлак з високою основністю і високою окислительною спроможністю.

Проведення лабораторної роботи.

Очистка розплаву від фосфору здійснюється комп'ютерним моделюванням з використанням програмного забезпечення, розробленого на кафедрі. Студент вибирає склад шлаку, вводить його в умову задачі і визначає ефективність даного вибраного шлаку по очистці розплаву від фосфору. Для досягнення мети лабораторної роботи необхідно вибрати 4 - 5 різноманітних складів шлаків.

Приклад роботи з програмою.

Необхідно ввести в задачу вхідні дані:

Введіть ваше прізвище -

Введіть шифр групи -

Введіть початковий зміст фосфору в металі: наприклад, - 0,1%

Введіть масу металу: - 200 тон

Введіть масу шлаку: - 20 тон

Введіть склад шлаку (вводиться вибраний студентом склад):

- $SiO_2=13,5\%$
- $FeO=10,5\%$
- $Fe_2O_3=5,3\%$
- $Al_2O_3=8,3\%$
- $CaO=41,5\%$
- $MgO=15,2\%$
- $MnO=4,9\%$
- $P_2O_3=0,8\%$

На екрані дисплею з'являються дані по очистці розплаву від фосфору вибраним шлаком.

Число кіломолей вільного CaO - 0,1591

$L_p=1,2175$

Зміст фосфору в розплаві після одноразового екстрагування шлаком - 0,0891%

Зміст фосфору в розплаві після дворазового екстрагування шлаком - 0,0794%

Розпечатати (Y/N?): Y

Зміст протоколу лабораторної роботи.

1. Уявити вибрані склади шлаків;

2. Комп'ютерні розпечатки по ефективності очистки розплаву даними шлаками;
3. Висновки.

Список літератури

1. Лаптев Д.М. Задачи и упражнения по термодинамике растворов. -М.: Металлургия, 1965, 220с.
2. Падеран С.П., Серов Г.В. Термодинамические и кинетические расчеты металлургических процессов. -М.: Металлургия, 1978, 115с.
3. Морачевский А.Г. Термодинамические расчеты в металлургии. -М.: Металлургия, 1985, 23с.
4. Філенко О.Г. Збірник задач з фізичної хімії. -К.: Вища Школа, 1973, 184с.

Лабораторна робота № 5.

Термодинаміка дисоціації карбонатів

Термічна дисоціація технічних сполучень одержує значний розвиток в металургійних процесах (дисоціація карбонатів в сталеплавильному процесі, дисоціація вищих окислів деяких металів та ін.).

Мета роботи

Досліджувати вплив температури на рівновагу реакції дисоціації карбонату кальцію в інтервалі 823-1193°K.

Визначити зміни ентальпії та ентропії в результаті протікання реакції дисоціації карбонату.

Використовуючи табличні значення термодинамічних величин, розрахувати константи рівноваги при температурах досвіду і зіставити їх з експериментальними значеннями.

Методика дослідження

В нинішній роботі для дослідження рівноваги реакції дисоціації карбонатів використовується статистичний засіб. Суттєвість його полягає в безпосередньому вимірі рівноважного парціального тиску двоокису вуглецю в замкнутій системі, що за відсутності в ній інших газоподібних компонентів рівно загальному тиску.

Опис установки

Установка являє собою замкнуту систему. В середину кварцової реакційної трубки 1, закритої з одного кінця пробкою, поміщена порцелянова лодочка 2 з навіскою карбонату. Трубка з навіскою встановлена в робітничому просторі електропечі опору 3. За допомогою трьохходового крану 4 трубка з'єднана з вакуумним насосом. Розрядження в системі вимірюють вакуумметром 5. Температуру в робітничій зоні печі вимірюють хромель-алюмелевою термопарою 6 і регулюючим мілівольтметром 7. Сигнал від мілівольтметра надходить на реле, що в залежності від температури в печі або замикається, або розмикається ланцюг живлення нагрівачей.

Порядок виконання роботи

1. Завантажити карбонат в лодочку і з допомогою проволочного крючка ввести всередину реакційної трубки 1.

2. Включити вакуум-насос і з'єднати його з системою поворотом трьохходового крану 4 в положення А. При досягненні в системі тиску 10^{-2} МПа повернути кран 4 в положення Б. В такому положенні він повинен залишатися до кінця роботи.

Система вважається герметичною, якщо стрілка вакуумметра залишається непорушною на досягнутому положенні в течії 5 хвилин.

3. Включити піч 3 і встановити регулюючий мілівольтметр на температуру 860°С. О досягненні цієї температури сигналізує відключення червоної лампочки на корпусі печі. Постійність тиску в системі свідчить про досягнення хімічної рівноваги. Записати показання вакуумметра.

4. Встановити здатчик на температуру 600°С. Записати показання вакуумметра по досягненні стану хімічної рівноваги в системі.

5. Аналогічно виробити заміри тиску газу в системі при 690, 700, 800, 820, 940, 860, 880, 900 і 910°С.

6. Вимкнути піч і вакуумний насос. Повернути кран в положення В.

Обробка результатів вимірів

1. Для кожного з зміряних значень тиску відняти вхідний тиск в реакційній трубці і отримати табличну залежність $P_{CO_2} = f(T)$.

2. Побудувати графік залежності $P_{CO_2} = f(T)$.

3. По рівнянню знайти $K_p = f(T)$ для всіх експериментальних значень температури і $\lg K_p = \phi(T)$.

4. Побудувати графік залежності $\lg K_p = \phi(T)$.

5. З Урахуванням рівняння (1.4) і відомого співвідношення

$$\lg a = 0.4343 \ln a \quad (1.9)$$

Маємо

$$\lg K_p = -\frac{\Delta H_T^\circ}{19.08T} + \frac{\Delta S_T^\circ}{19.08} \quad (1.10)$$

В рівнянні (1.10) два невідомих: ΔH_T° і ΔS_T° , тому достатньо двох пар значень T_1 ; K_{p1} і T_2 ; K_{p2} для обчислення зміни ентальпії і ентропії при протіканні реакції дисоціації карбонату.

У нас є десять пар значень T і K_p . Тому для підвищення точності визначення ΔH_T° і ΔS_T° надійдемо наступним чином.

Побудуємо в координатах $1/T$ і $\lg K_p$ точки, відповідні десяти парам відомих значень і

апроксимуємо графічні залежності $\lg K_p = \phi(1/T)$ прямою лінією. Тоді величина $\frac{\Delta H_T^\circ}{19.08T}$ буде

чисельно рівна тангенсу кута нахилу отриманої прямої до осі абсцис, а $\frac{\Delta S_T^\circ}{19.08}$ - відрізок, відсікаємою прямою на осі ординат.

Визначити ΔH_T° і ΔS_T° означеним способом.

Лабораторна робота № 6.

Кінетика дисоціації карбонатів

Кінетичні закономірності процесу дисоціації карбонатів має велике практичне значення, бо знання цих закономірностей дозволяє встановити оптимальні умови протікання реакцій в металургійному агрегаті. Зняття кінетичних характеристик окремих етапів процесу дисоціації карбонату доцільно проводити в умовах, коли етап, що вивчається, є лімітують, то єсть протікає зі швидкістю меншою, ніж інші етапи. Як правило, лімітуючим етапом дисоціації карбонатів є дифузійний процес.

Методика дослідження

Дисоціація карбонату виробляється в потоці повітря при постійній температурі в кінетичній області реагування. Швидкість реакції оцінюється швидкістю утворення вуглекислого газу і визначається різницею показань реометрів, встановлених до і після реакційної трубки з карбонатом.

Опис установки

Порцелянова лодочка з навіскою карбонату I поміщена в реакційну трубку 2, що обігріється електропечью опору 3. Температура в печі вимірюється хромель-алюмелевою термопарою 4 і потенціометром 5. Потенціометр замикається або розмикається ланцюг живлення нагрівачей в залежності від температури в печі і положення задатчика. Повітря в систему нагнітається насосом 6. Видаток повітря регулюється краном 7. На вході і на виході видаток повітря вимірюється реометрами 8, 9. Для візуального спостереження за проходженням газів через систему служить скляна судина з водою 10.

Порядок виконання роботи

1. Перевірити герметичність настанови. Для цього включити насос 6, відрегулювати за допомогою крану 7 видаток повітря таким чином, щоб в склянці 10 спостерігалось 2-3 бульбашки повітря в секунду. Видаток повітря повинен залишатися постійним протягом всього експерименту. Установка герметична, якщо показання обох реометрів однакові. Якщо видаток на виході з реакційної трубки менш, перевірити стики в усіх вузлах системи, в першу чергу гумові пробки на кінцях реакційної трубки.

2. Встановити задатчик на 700°C.

3. Включити піч. Після нагріву печі до заданої температури наповнить порцелянову лодочку I карбонатом однієї з фракцій, що досліджуються і ввести її за допомогою крючка в реакційну зону трубки 2. Швидко закрити пробками кінці трубки і зафіксувати показання реометрів. Продовжувати фіксування через кожні 15 секунд. Через 5 хвил. проміжки між двома сусідніми вимірами збільшити до 30 сек. При зменшенні показань реометра вдвічі у порівнянні з максимальним досвід припинити.

4. Витягти лодочку з печі з допомогою крючка.

5. Провести дослідження з іншими навісками.

Обробка результатів досліджень

1. Розрахувати різницю показань реометра для кожної відмітки часу.

2. Побудувати графіки зміни різності показань реометрів в часу для всіх фракцій.

3. Зробити необхідні висновки.

Лабораторна робота № 7

Дослідження кінетики окислення металу

Мета роботи

Досліджувати швидкість окислення порошку металу в потоці повітря і на підставі експериментальних даних отримати рівняння апроксимірує кінетику окислення металу.

Засіб дослідження

Дослідження кінетики окислення порошку металу здійснюється засобом безперервного зважування навіски порошку в повітрі при постійній температурі.

Опис настанови

Установка (рис. 1) являє собою електричну піч 1. Температура в робітничому просторі печі вимірюється платино-платинородиевою термопарою 2, працюючої в комплекті з регулюючим мілівольтметром 3. Навіска матеріалу, що досліджується в ніхромовій корзинки 4 на ніхромовій нити 5 підведена до коромислу лабораторних вагів 6. Корзинка з ниттю врівноважена зі другою чашкою вагів. Для захисту вагів від радіаційного випромінювання піч закрита екраном 7.

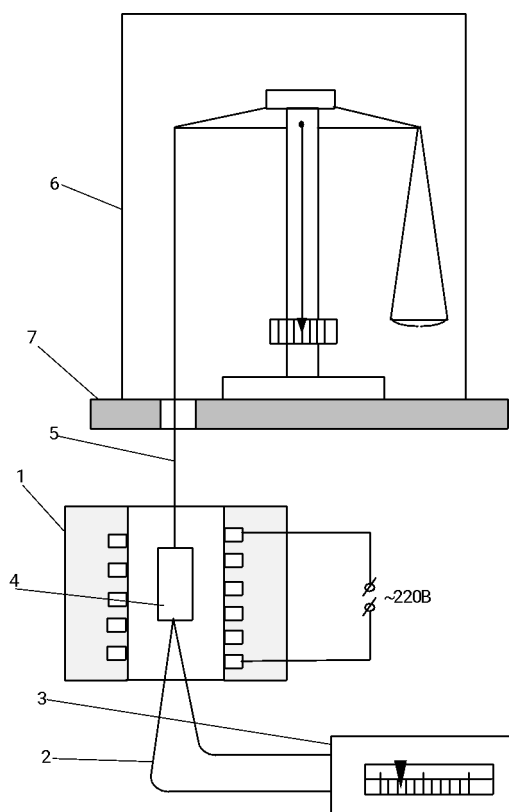


Рис. 1. Схема установки для дослідження кінетики окислення металів

Порядок виконання роботи

1. Встановити задатчик на регулюючому мілівольтметрі 3 на задану температуру.
2. Включити піч, нагріти її до заданої температури, про що буде свідчити відключення лампочки на панелі управління печі.
3. На лабораторних вагах зважити навіску порошку, що досліджується з точністю до 0.1 г.
4. Навіску порошку помістити в ніхромову корзинку 4, яку опустити в шахт печі і підвісити до коромислу вагів. Включити секундомір.

5. Встановити на чашку вагів вантаж 0.2 г. В момент проходження стрілки вагів через “0” зафіксувати час від початку досвіду.

6. По мірі протікання процесу окислення рівними порціями додавати вантаж на чашку вагів і фіксувати час проходження стрілки вагів через “0”. Досвід продовжувати 1,0-1,25 години.

7. Вимкнути електропечь 1. Вийняти корзинку з печі і охолодити на повітрі.

Обробка результатів вимірів

1. Розрахувати по даним експерименту питомий (віднесений до одиниці площі поверхні) привіс зразка для всіх відміток по формулі:

$$A = \frac{g_{\tau} - g_0}{S}$$

де g_0 - вага зразка до іспиту, г;

g_{τ} - вага зразка зі шаром окислу, г;

S - площа поверхня зразка, см^2 .

2. Побудувати в координатах (A, τ) графік кінетики окислення металу.

Лабораторна робота № 8

Дослідження в'язкості розплавлених шлаків

Мета роботи

Дослідження зміна в'язкості розплаву з температурою і визначити енергію активації в'язкої течії і постійну А в рівнянні Я. І. Френкеля.

Засіб дослідження

В нинішній роботі застосовується засіб обертання коаксимальних циліндрів, один з яких (зовнішній) непорушний, а другий, підвішений на пружній нити і повантажений в розплав, безупинно обертається. В якості зовнішнього циліндра служить тигель, в якому знаходиться розплавлений шлак. Внутрішній циліндр являє собою шпindel, виконаний з жаростійкого матеріалу, не взаємодіючого з розплавом. До верхнього торцю шпинделя прикріплена пружна нить, закріплена в вертикальній валу. Обертання валу передається шпинделю, а з ним і шарам шлаку, сусіднім зі шпинделем. Внаслідок прояву сил внутрішнього тертя відбувається закручування пружної нити. При повному зрівноваженні пружної сили нити і сили в'язкості шпindel обертається з такої же швидкістю, як і вертикальний вал. Визначивши кут закручування нити, можна обчислити в'язкість шлаку.

$$\eta = K \left(\frac{\Delta \varphi}{\omega} \right), \quad (5.3)$$

де К - розмірна постійна приладу, що визначається експериментально,

$\Delta \varphi$ - кут закручування нити, рад;

ω - наріжна швидкість обертання вертикального валу, рад/с.

Розмірна постійна приладу визначається з використанням так званої калібровочної рідини, в'язкість якої при кімнатної температурі сумірна з в'язкістю розплавленого шлаку. В якості таких рідин застосовують звичайно гліцерин або касторове масло.

Опис установки

Настанова включає електричну піч і віскозиметр, що монтуються на загальному каркасі. В верхній частині каркаса є рама, встановлювана суворо горизонтально. Віскозиметр може переміщатися по боковим планкам рами, як по що спрямовують. Віскозиметр складається з рамки 1, на якій закріплен електродвигун 2, що приводиться в обертання лімба 3 через систему зубчатих передач 4. До лімбу на стійках 5 прикріплена платформа 6, в внутрішньому гнізді якою гвинтами кріпиться вертикальний вал 7 віскозиметра. До валу прикріплений пружний сталевий дріт 8, нижній кінець дроту закріплен в обичайці 9, жорстко скріпленої зі стрілкою 10. В обичайці гвинтами закріплен верхній кінець шпинделя 11, являти собою циліндричний стрижень з карбїду кременя. До нижнього кінця шпинделя прикріплений графітовий кубик 12. На поверхні лімба нанесена шкала для виміру куту закручування дроту (в градусах). Демпфер 13 служить для зменшення вагань підвісної системи.

Шлак з низькою температурою плавлення плавиться в шахтній лабораторній печі опору. Температура в печі вимірюється платино-платинородіевої термопарою 14, працюючої в комплекті з регулюючим мілівольтметром 15.

Порядок виконання роботи

Лабораторна робота розрахована на 4 години.

1. Визначення постійної віскозиметра і вивчення залежності в'язкості гліцерину від температури.

1.1. Склянка з гліцерином помістити в термостат.

1.2. Включити термостат і довести температуру в ньому до 25°C (вимірюється контактним ртутним термометром, наявним в комплекті термостату).

1.3. Опустити в гліцерин кубик 12 і зафіксувати початкові положення обох кінців стрілки віскозиметра відносно шкали на лімбі 3.

1.4. Включити електродвигун віскозиметра і стежити за переміщенням стрілки 10 до тих пор, доки не перестане змінюватися її положення відносно шкали лімба 3. Зафіксувати кінцеві положення обох кінців стрілки.

1.5. Підрахувати число оборотів вертикального валу за 5 хвилин.

1.6. Виконати виміри по пп. 1.3-1.5 при температурах 27, 30 і 32°C. Температура задається настановою движка контактного термометра проти відповідного ділення шкали.

2.1. Тигель з молотим шлаком (флюсом) помістити в вахту печі.

2.2. Включити піч. Встановити задатчик мілівольтметра на 800°C. Про досягнення цієї температури буде свідчити відключення лампочки на панелі управління печі.

2.3. Встановити віскозиметр в робітниче положення, пересуваючи його по що спрямовують верхньої рами каркаса до збігу відміток. По рівнеміру перевірити горизонтальність положення лімба 3 віскозиметра і в випадку необхідності виробити корегування.

2.4. Опустити кубик 12 в розплав і відцентрувати його положення відносно осі тигля з допомогою гвинтів в обичайці 9.

2.5. Зафіксувати початкові положення кінців стрілки.

2.6. Встановити задатчик мілівольтметра на 500°C.

2.7. Безупинно фіксувати положення кінців стрілки і температуру розплаву (по мілівольтметру) до повного його твердіння. В момент зупинки стрілки або різких змін положення її кінців відносно лімба вимкнути електродвигун.

Обробка результатів вимірів

1. Визначити постійну віскозиметра по значенням куту закручування нити при обертанні шпинделя в касторовому маслі при температурі 20°C (25°C), знаючи, що в'язкість його при цьому рівна 9.8 (8.0) пуаз

$$K = \frac{\eta \omega}{\Delta \varphi} \quad (5.4)$$

2. Побудувати графік залежності в'язкості касторового масла і шлаку від температури.

3. Побудувати графік залежності $\lg \eta = f(1/T)$ для шлакового розплаву. Використовуючи цей графік визначити постійну А і енергію активації в'язкого течія Е.

Лабораторна робота № 9

Дослідження поверхнього натяження розплавлених металів

Мета роботи

Ознайомитися з методикою дослідження поверхнього натяження рідких металів.

Методика дослідження

В роботі використаний засіб, оснований на визначенні максимального тиску, необхідної для продавлювання бульбашки газу через капіляр, повантажений в рідину, що досліджується на певну глибину. Тиск газу всередині бульбашки (P), знаходящомуся у поверхні, зв'язаний з поверхнім натяженням

$$P = \frac{2\sigma}{\eta},$$

де η - радіус бульбашки, м.

При утворенні бульбашки на глибині h від поверхні слід врахувати гідростатичний тиск рідини, рівне $pg h$, де ρ - щільність рідини. Статичний тиск газу в U -образному манометрі - $p = \rho_l g H$,

Де ρ_l - щільність манометричної рідини; H - різниця рівнів в коленах манометру. Таким чином, можна записати:

$$\rho_l g H = \frac{2\sigma}{\eta} + pg h,$$

звідки

$$\sigma = \frac{\eta g}{2} (\rho_l H - \rho h)$$

При дослідженні поверхнього натяження розплавлених металів для розрахунку використають формулу

$$\sigma = \frac{1}{2} \eta (P_{\max} - \frac{2}{3} \rho_{\text{мет}} gh)$$

де $P_{\max}$ - максимальний тиск в газовій бульбашці, Па;

$\rho_{\text{мет}}$ - щільність розплавленого металу, кг/м³.

Опис установки

Установка складається з плавильного агрегату 1, в якому поміщений тигель 2 з розплавом, тензометричного датчика тиску 3 для перетворення механічної величини - тиску - в електричну величину, прилади 4 для переміщення капіляру 5, індикатора глибини занурення 6. Стисле повітря подається в капіляр з балону 7 через редуктор 8 та мікрокран 9, видаток повітря вимірюється реометром 10. Температура розплаву вимірюється термopарою занурення 11 і реєструється потенціометром 12. Потенціометр 13 реєструє електричні сигнали, що надходять від тензометричного датчика тиску.

Порядок проведення досліду

Лабораторна робота розрахована на 2 години

1. Розплавить і підігріти до необхідної температури метал. Ретельно очистити поверхню розплаву від шлаку.

2. Відкрити кран на балоні 7 і з допомогою редуктора 8 і мікрокрана 9 встановити найбільшу швидкість подачі газу в капіляр 5.

3. Механізмом переміщення 4 капіляру перевести нижній зріз капіляру в зіткнення з поверхнею розплаву, чому на шкалі індикатора 6 відповідає відмітка "0". Повантажити капіляр в метал на глибину 5 мм.

4. Встановити такий видаток, щоб кожна бульбашка газу відривався від зрізу капіляру окремо. При цьому запис на стрічці потенціометра 13 має пилообразний характер.

5. Замірить максимальний тиск газу в бульбашці при різноманітних температурах розплаву, знижуючи її з інтервалом 30°C . При кожній температурі розплав витримується до встановлення постійного значення P_{max} .

6. Витягти капіляр з розплаву і перекрити кран на балоні 7.

Обробка результатів вимірів

1. По формулі розрахувати поверхнє натягнення металу при різноманітних температурах.

2. Побудувати графіки залежності поверхнього натягнення металу від температури.

Список літератури

1. Callister W. D., Rethwisch D. G. Materials science and engineering: an introduction. 10th ed. Hoboken : Wiley, 2018. 960 p.
2. Avner S. H. Introduction to physical metallurgy. 2nd ed. New York : McGraw-Hill Education, 1974. 706 p.
3. Dieter G. E. Mechanical metallurgy. 3rd ed. New York : McGraw-Hill, 1986. 751 p.
4. Smallman R. E., Ngan A. H. W. Modern physical metallurgy. 8th ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2014. 476 p.
5. Porter D. A., Easterling K. E., Sharif M. Phase transformations in metals and alloys. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press, 2009. 520 p.
6. Rosenqvist T. Principles of extractive metallurgy. 2nd ed. Trondheim : Tapir Academic Press, 2004. 640 p.