

**ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»**

МЕТАЛУРГІЯ ЧАВУНУ:

**методичні рекомендації
до виконання практичних, лабораторних робіт та
індивідуальних завдань**

Запоріжжя 2024



УДК 669
М54

Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 3 від «22» листопада 2024 р.)

Укладачі:

Бойко М.М., канд. техн. наук, доцент,
Реков Ю.В., канд. техн. наук
Ягольник М.В., канд. техн. наук, доцент,
Стоянов О.М., канд. техн. наук, доцент

М54 **Металургія чавуну : методичні рекомендації до виконання практичних, лабораторних робіт та індивідуальних завдань / уклад.: М. М. Бойко, Ю.В. Реков, М. В. Ягольник, О. М. Стоянов. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024. 40 с.**

У методичних рекомендаціях наведено поради і методичні підходи до виконання практичних та лабораторних робіт, які виконуються в процесі вивчення дисципліни. Матеріал містить короткі теоретичні викладки за тематикою роботи, завдання для її виконання.

УДК 669

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2024



ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ПРАКТИЧНІ РОБОТИ	6
1.1 Розрахунки складу шихти	6
1.1.1 Спрощений перевірочний розрахунок шихти	6
1.1.2 Коректування шихти при зміні зольності й вологості коксу	10
1.2 Розрахунки параметрів дуття	12
1.2.1 Визначення витрати дуття на фурмах доменної печі	12
1.2.2 Коректувальний розрахунок дуття, природного газу і коксу при зміні тиску газу під колошником	14
1.2.3 Визначення кількості і складу горнового газу при зміні складу дуття	16
1.2.4 Розрахунок зміни маси коксу за подачу при зміні температури і вологості дуття	19
1.3 Розрахунки шихти при зміні шихтових матеріалів та марки чавуну	21
1.3.1 Визначення залізорудного складу подачі при зміні шихтових умов	21
1.3.2 Перешихтовка на чавун іншої марки	22
2. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ	26
2.1 Розподіл матеріалів на колошнику доменної печі	26
2.2 Дослідження впливу хімічного складу залізорудної шихти на процеси відновлення та шлакоутворення при різних температурах	28
2.3 Дослідження впливу різноманітних умов на формування зони циркуляції в доменній печі	34
3. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ	37
3.1 Варіанти тем до індивідуального завдання 1	37
3.2 Варіанти тем до індивідуального завдання 2	38
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	39



ВСТУП

Металургія чавуну – обов'язковий курс металургійної підготовки, який дозволяє зрозуміти і професійно використовувати технічну термінологію, досліджувати, аналізувати і вдосконалювати технологічні процеси в виробництва чавуну, а також застосовувати на практиці методи розрахунку основних показників доменного процесу та оцінювати металургійну цінність залізородної сировини.

Вимоги до практичних робіт

Практичні роботи виконуються безпосередньо на занятті, що є бажаним, однак не обов'язковим; матеріали для виконання практичної роботи доступні в записі, які зберігаються в Microsoft Teams, та викладені в повному обсязі в Moodle. Оцінка за практичну роботу виставляється за фактом виконання та враховуючи правильність розрахунків. Якщо студент виконав роботу з помилками, то він має можливість допрацювати свої розрахунки та підвищити оцінки.

Вимоги до лабораторних робіт

Лабораторна роботи виконуються віртуально безпосередньо на занятті, що є бажаним, однак не обов'язковим; матеріали для виконання віртуальної лабораторної роботи доступні в записі, які зберігаються в Microsoft Teams, та викладені в повному обсязі в Moodle. Оцінка за лабораторну роботу виставляється за фактом виконання та враховуючи правильність розрахунків. Якщо студент виконав роботу з помилками, то він має можливість допрацювати свої розрахунки та підвищити оцінки.

Правила виконання практичних та лабораторних робіт

1. Практичні та лабораторні роботи виконуються згідно із затвердженим семестровим графіком, який викладається в Moodle.
2. Звіт про виконання роботи в обов'язковому порядку завантажується в систему Moodle в розділі відповідного курсу.
3. Оцінка за практичну та лабораторну роботи виставляється за фактом виконання та враховуючи правильність розрахунків та висновків. Якщо студент виконав роботу з помилками, то він має можливість допрацювати свою роботу та підвищити оцінку.

Критерії оцінювання та вимоги до оформлення звітів

Кількість балів	Критерій оцінювання
5	Здобувач(ка) працював(ла) на практичних/лабораторних заняттях, приймав(ла) активну участь у виконанні завдання, виконав(ла) роботу в повному обсязі за своїм варіантом та завантажив(ла) оформлений звіт в Moodle згідно з семестровим графіком (до наступного заняття)
4	Здобувач(ка) працював(ла) на практичних/лабораторних заняттях, виконав(ла) роботу в повному обсязі за своїм варіантом та завантажив(ла) оформлений звіт в Moodle згідно з семестровим графіком (до наступного заняття), але припустив(ла)ся незначних помилок
3	Здобувач(ка) не працював(ла) на практичних/лабораторних заняттях, повністю виконав(ла) завдання та завантажив(ла) звітні матеріали відповідно до методичних рекомендацій в Moodle пізніше терміну вказаного у семестровому графіку
2-1	Здобувач(ка) не працював(ла) на практичних/лабораторних заняттях, частково або з суттєвими помилками виконав(ла) завдання та завантажив(ла) звітні матеріали в Moodle пізніше терміну вказаного у семестровому графіку
0	Здобувач(ка) був(ла) відсутня на практичних/лабораторних заняттях та не завантажив(ла) звіт (сертифікат) в Moodle

Вимоги до індивідуальних завдань

Індивідуальні завдання це підготовані самостійно студентом повідомлення на одну з запропонованих тем та оформлені як реферат. Перелік тем повідомляється на початку змістовного модуля. Кожен студент на свій розсуд обирає тему, одну тему може обрати один студент. Обсяг індивідуальної роботи має складати не менше 10 сторінок комп'ютерного тексту. Виконане індивідуальне завдання містить титульну сторінку, зміст, перелік використаних літературних джерел. Індивідуальна робота має бути надруковано шрифтом Arial 14 розміру з інтервалом 1,5. Оформлення роботи проводиться відповідно до ДСТУ 3008:2015. Мінімальна оцінка за підготовку індивідуального завдання 10 балів; ще 10 балів студент отримує за виступ на семінарському занятті. Під час виступу оцінюється рівень підготовки, глибина розглянутої теми, логічність побудови розповіді, відповіді на питання, які можуть бути задані.

1. ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

1.1 Розрахунки складу шихти

1.1.1 Спрощений перевірочний розрахунок шихти

Перевірочний розрахунок шихти необхідний при зміні умов плавки, хімічного складу шихтових матеріалів, заміні одного компонента шихти іншим або при переході на виплавку іншого виду чавуну. Він здійснюється майстром доменної печі один раз за тиждень, а результати розрахунку заносяться у шихтовий журнал.

Доменна піч корисним об'ємом V_n (відповідно до варіанту завдання) працює на агломератах **А і Б** (агломератах та окатишах **А і О**). Розрахунок ведеться виходячи з маси залізорудної і коксової подачі.

Початкові дані для розрахунку наведені у таблицях 1.1 та 1.2.

Коефіцієнт використання корисного об'єму доменної печі (КВКО) для усіх варіантів однаковий і рівний 0,6. Винесення пилу з подачі розподіляється пропорційно масам залізорудних матеріалів. Винесення пилу з коксу рівне 1% від маси коксу, алеїм можна нехтувати.

Таблиця 1.1 - Залізорудні компоненти шихти, чавун і шлак

Варіант, №	Корисний об'єм печі, V_k , м ³	Залізорудні компоненти шихти	Маса у подачі, М, Т	Вміст компонентів, %			Винос пилу з подачі, V_n , кг	Основність шлаку, $O_{ш}$	Вапно у шлаку, $CaO_{ш}$, %	Елементи чавуну %	
				Fe	SiO ₂	CaO				Fe _ч	Si _ч
1	1719	Агл. А	15	53,62	10,21	12,44	560	1,26	46,41	93,32	0,73
		Агл. Б	7	54,26	9,63	10,31					
2	2000	Окатиші	8	64,32	2,36	0,83	520	1,27	45,93	93,81	0,81
		Агломер.	20	52,94	10,67	12,13					
3	1513	Агломер.	13	53,82	11,24	12,95	610	1,27	46,82	94,13	0,68
		Окатиші	6	63,77	2,81	0,75					
4	1386	Агл. А	12	52,34	11,12	13,41	480	1,28	45,16	93,37	0,76
		Агл. Б	6	54,17	9,83	10,69					
5	1033	Агломер.	10	52,87	10,94	12,83	540	1,28	47,61	93,72	0,63
		Окатиші	6	65,13	2,11	0,83					
6	2300	Агломер.	20	54,62	9,86	12,17	430	1,23	46,93	94,57	0,84
		Окатиші	10	64,27	2,21	0,63					
7	3200	Агломер.	26	53,64	10,37	12,29	440	1,19	48,81	94,73	0,67
		Окатиші	14	63,71	2,67	0,71					
8	1386	Агл. А	12	52,46	10,47	12,24	620	1,25	45,38	93,82	0,76
		Агл. Б	8	53,61	10,64	12,47					
9	1719	Агломер.	17	52,92	10,64	12,47	640	1,28	46,19	92,73	0,83
		Зал.руда	8	53,48	13,26	0,31					
10	1517	Окатиші	10	64,82	2,77	0,83	615	1,27	45,61	93,83	0,66
		Зал.руда	9	52,60	14,71	0,15					

Таблиця 1.2 - Кокс та вапняк

Варіант, №	Параметри коксу					Склад вапняку, %		
	Маса у подачі, M _к , кг	Зола у коксі, A, %	СКЛАД ЗОЛИ, %			SiO _{2в}	CaO _в	MgO _в
			Fe _к	SiO _{2к}	CaO _к			
1	6100	10,43	15,36	41,82	5,34	1,32	52,64	1,75
2	7200	9,80	14,83	39,61	6,27	1,28	52,83	1,44
3	5600	11,07	17,24	43,27	4,73	1,44	51,90	1,92
4	5400	10,61	16,40	40,42	7,46	1,37	52,31	1,56
5	4500	9,44	19,32	42,70	3,86	1,52	52,62	1,65
6	8300	9,82	18,02	43,11	4,56	1,31	51,93	1,68
7	10500	10,26	15,41	39,23	5,72	1,40	52,08	1,84
8	5400	10,05	16,29	40,81	6,42	1,48	52,45	1,79
9	6800	9,76	14,92	41,35	4,91	1,53	51,14	1,82
10	5500	9,23	17,40	40,41	5,14	1,37	50,92	2,36

Приклад розрахунку

Піч об'ємом $V_p = 1719 \text{ м}^3$ працює на агломератах **A** і **Б**.

Витрата агломерату **A** за подачу 14 т, агломерату **Б** – 7 т.

Маса залізорудної подачі 21 т.

В агломераті **A** містяться: 51.23% Fe; 11.4% SiO₂; 13.2% CaO.

В агломераті **Б** містяться: 50.08% Fe; 11.85% SiO₂; 12.9% CaO.

Маса коксової подачі – 5.6 т.

У коксі міститься 10.0% золи, а у золі коксу: 41.3% SiO₂; 3.4% CaO та 15.82% Fe.

Винесення пилу за одну подачу складає 600 кг, основність шлаку CaO/SiO₂ = 1.25, вміст CaO у шлаку – 47.0%.

У чавуні міститься 94.5% Fe і 0.70% Si.

Коефіцієнт використання корисного об'єму рівний 0.61 м³·сут/т.

Розрахунок ведеться, виходячи з маси залізорудної та коксової подачі.

1. Кількість кремнезему, що вноситься у доменну піч агломератом та коксом:

$$\text{SiO}_{2п} = (M_a - B_a) \cdot \text{SiO}_{2a} / 100 + (M_b - B_b) \cdot \text{SiO}_{2b} / 100 + (M_k - B_k) \cdot A_k \cdot \text{SiO}_{2к} / (100 \cdot 100) = (14000 - 400) \cdot 11.4 / 100 + (7000 - 200) \cdot 11.85 / 100 + 5600 \cdot 10 \cdot 41.3 / (100 \cdot 100) = \mathbf{2588 \text{ кг}}$$

де M_a , M_b і M_k – відповідно маси агломерату **A** і **Б**, що входять до складу шихти, а також маса коксу, кг; B_a , B_b і B_k – винесення пилу агломерату **A**, **Б** та коксу відповідно у кг; SiO_{2a} , SiO_{2b} і $\text{SiO}_{2к}$ – вміст кремнезему відповідно в агломератах **A**, **Б** та золі коксу, %; A_k – зола коксу %.

2. Кількість вапна, що вноситься у доменну піч агломератом і коксом:

$$\begin{aligned} \mathbf{CaO_n} &= (M_a - B_a) \cdot CaO_a / 100 + (M_b - B_b) \cdot CaO_b / 100 + (M_k - B_k) \cdot A_k \cdot CaO_k / \\ &\quad (100 \cdot 100) = \\ &= (14000 - 400) \cdot 13.2 / 100 + (7000 - 200) \cdot 12.9 / 100 + 5600 \cdot 10 \cdot 3.4 / (100 \cdot 100) = \\ &\quad = \mathbf{2678 \text{ кг}} \end{aligned}$$

де $\mathbf{CaO_a}$, $\mathbf{CaO_b}$ і $\mathbf{CaO_k}$ – вміст вапна відповідно в агломератах **A**, **B** і золі коксу, %.

3. Кількість заліза, що вноситься у доменну піч агломератом і коксом:

$$\begin{aligned} \mathbf{Fe} &= (M_a - B_a) \cdot Fe_a / 100 + (M_b - B_b) \cdot Fe_b / 100 + (M_k - B_k) \cdot A_k \cdot Fe_k / 100 \cdot 100 = \\ &= (14000 - 400) \cdot 51.23 / 100 + (7000 - 200) \cdot 50.08 / 100 + 5600 \cdot 10 \cdot 15.82 / (100 \cdot 100) = \\ &\quad = \mathbf{10439 \text{ кг}} \end{aligned}$$

де $\mathbf{Fe_a}$, $\mathbf{Fe_b}$ і $\mathbf{Fe_k}$ – вміст заліза відповідно в агломератах **A**, **B** і золі коксу, %.

4. Вихід чавуну з однієї подачі:

$$\mathbf{Fe_n} = Fe \cdot 100 / Fe_c = 10439 \cdot 100 / 94.5 = \mathbf{11070 \text{ кг}}$$

де $\mathbf{Fe_c}$ – вміст заліза у чавуні, %.

5. Витрата кремнезему на кремній чавуну:

$$\mathbf{SiO_{2ч}} = Fe_n \cdot 60 \cdot Si_c / (100 \cdot 28) = 11070 \cdot 60 \cdot 0.7 / (100 \cdot 28) = \mathbf{165 \text{ кг}}$$

де **60** і **28** – молекулярна маса кремнезему і атомна маса кремнію відповідно; $\mathbf{Si_c}$ – вміст кремнію у чавуні, %.

6. Кількість кремнезему, який переходить у шлак:

$$\mathbf{SiO_{2ш}} = SiO_{2п} - SiO_{2ч} = 2588 - 165 = \mathbf{2423 \text{ кг}}$$

7. Необхідна кількість вапна у шлаку при заданій основності $O_{ш}$:

$$\mathbf{CaO_{шп}} = SiO_{2ш} \cdot O_{ш} = 2423 \cdot 1.25 = \mathbf{2988 \text{ кг}}$$

8. Необхідно внести вапна вапняком у шихту:

$$\mathbf{CaO_b} = CaO_{шп} - CaO_n = 2988 - 2678 = \mathbf{310 \text{ кг}}$$

9. Флюсуча здатність вапняку:

$$\mathbf{CaO_{ф}} = CaO_{в} + MgO_{в} - SiO_{2в} \cdot O_{ш} = 52,7 + 1,8 - 1,3 \cdot 1,25 = \mathbf{52,87\%}$$

де $\mathbf{CaO_{в}}$, $\mathbf{MgO_{в}}$ і $\mathbf{SiO_{2в}}$ – відповідно вміст у вапняку вапна, магnezії і кремнезему %.

10. Необхідна кількість вапняку за подачу:

$$\mathbf{CaCO_{3п}} = CaO_{в} \cdot 100 / CaO_{ф} = 310 \cdot 100 / 52,87 = \mathbf{587 \text{ кг}}$$

Кількість вапняку за подачу приймається заокруглено відповідно до точності зважування вагон-вагами ± 25 кг.

11. Вихід шлаку зоднієї подачі:

$$\mathbf{Ш_{п}} = CaO_{шп} \cdot 100 / CaO_{ш} = 2988 \cdot 100 / 47 = \mathbf{6350 \text{ кг}}$$

де $\mathbf{CaO_{ш}}$ – вміст вапна у шлаку, %.

12. Вихід шлаку на тону чавуну:

$$\mathbf{Ш_{т}} = Ш_{п} \cdot 1000 / Fe_{п} = 6350 \cdot 1000 / 11070 = \mathbf{574 \text{ кг/т}}$$

13. Витрата коксу на тону чавуну:

$$\mathbf{K_{пв}} = M_{к} \cdot 1000 / Fe_{п} = 5600 \cdot 1000 / 11070 = \mathbf{506 \text{ кг/т}}$$

14. Розрахунок продуктивності доменної печі:

$$\mathbf{П} = V_{п} / KBKO = 1719 / 0,61 = \mathbf{2800 \text{ т/сут}}$$

де $\mathbf{V_{п}}$ – корисний об'єм доменної печі, м^3 ; \mathbf{KBKO} – коефіцієнт використання корисного об'єму доменної печі, $\text{м}^3 \cdot \text{сут/т}$.

15. Для розрахованої продуктивності печі необхідно завантажувати подач:

$$\mathbf{N} = П \cdot 1000 / Fe_{п} = 2800 \cdot 1000 / 11070 = \mathbf{252 \text{ шт.}}$$

16. Інтенсивність ходу доменної печі по спаленому коксу:

$$\mathbf{I_{к}} = M_{к} \cdot N / V_{п} = 5600 \cdot 252 / 1719 = \mathbf{822 \text{ кг/м}^3}.$$

1.1.2 Коректування шихти при зміні зольності й вологості коксу

Однією з умов рівного ходу доменної печі й нормального теплового стану горну є постійність якості завантажуваного у піч коксу. При зміні показників якості коксу (барабанної проби, вміст золи, сірки, летючих речовин, вологи) відповідне коректування шихти потрібно проводити одночасно з початком завантаження у піч коксу із зміненним складом.

Збільшення золи й вологи у коксі зменшують в ньому відносний вміст вуглецю, а, отже, і прихід тепла у доменну піч.

Початкові дані наведено в таблиці 1.3, питома витрата коксу для всіх варіантів $K_{пв} = 580$ кг/т чавуну.

Таблиця 1.3 - Параметри шихти та шлаку

Варіант, №, пп	Маса коксу у подачі, M_k , т	Базова Зольність Коксу, А, %	Кремнезем у золі коксу,	Зміна зольності коксу, dA,	Зміна вологості коксу, dW, %	Основність шлаку, $O_{ш}$	Флюсуюча здатність вапняку, $CaO_{ф}$, %
1	6,1	10,43	41,82	+ 0,78	+ 1,85	1,26	52,34
2	7,2	9,80	39,61	+ 0,86	+ 2,16	1,27	52,64
3	5,6	11,07	43,27	- 0,94	- 1,36	1,27	51,98
4	5,4	10,61	40,42	- 0,68	+ 1,93	1,28	51,63
5	4,5	9,44	42,70	+ 0,73	- 1,58	1,28	52,16
6	8,3	9,82	43,11	+ 0,93	+ 1,78	1,23	51,27
7	10,5	10,26	39,23	- 0,86	- 2,07	1,19	50,86
8	5,4	10,05	40,81	+ 1,08	+ 2,36	1,25	51,37
9	6,8	9,76	41,35	- 1,16	- 1,73	1,28	53,08
10	5,5	9,23	40,41	+ 0,87	+ 1,18	1,27	52,19

Приклад розрахунку

Вміст золи й вологи у новому маршруті коксу зріс відповідно на $dA = 1,89\%$ і $dW = 2,07\%$.

Величина коксової подачі була $M_k = 6000$ кг $SiO_{2к} = 40\%$.

1. Для збереження теплового стану печі незмінним, необхідно збільшити масу коксу за подачу:

$$DM_{к1} = M_k \cdot (dA + dW)/100 = 6000 \cdot (0,89+2,07) /100 = 177,6 \text{ кг}$$

2. Збільшення витрати коксу і його зольності збільшило прихід кремнезему у піч:

$$\text{SiO}_{2п} = (M_k \cdot dA + dM_{k1} \cdot (A + dA)) \cdot \text{SiO}_{2к} / (100 \cdot 100) = \\ = (6000 \cdot 0,89 + 177,6 \cdot (9,6 + 0,89)) \cdot 40 / (100 \cdot 100) = \mathbf{28,8 \text{ кг}}$$

де **A** – вміст золи у базовому (попередньому) коксі %; **SiO_{2к}** – вміст кремнезему у золі коксу %.

3. Для збереження заданої основності шлаку необхідно збільшити кількість вапняку:

$$\text{CaCO}_{3п} = \text{SiO}_{2п} \cdot O_{ш} \cdot 100 / \text{CaO}_{ф} = 28,8 \cdot 1,25 \cdot 100 / 51,47 = \mathbf{69,7 \text{ кг}}$$

де **O_ш** – основність (CaO/SiO₂) шлаку; **CaO_ф** – здатність вапняку флюсувати, %.

Кількість вапняку за подачу приймається заокруглено відповідно до точності зважування вагон-вагами, причому, якщо кількість вапняку за розрахунком нижче 100 кг, то або додають 100 кг, або залишають його незмінним залежно від виду шлаку.

4. Збільшення кількості вапняку на 72 кг спричиняє за собою необхідне збільшення витрати коксу 0,5% на кожні 10 кг/т вапняку [2]:

$$dM_{k2} = K_{пв} \cdot \text{CaCO}_{3п} \cdot 0,5 / 10 \cdot 100 = 580 \cdot 69,7 \cdot 0,5 / 10 \cdot 100 = \mathbf{20,2 \text{ кг}}$$

5. Загальна кількість додаткового коксу

$$dM_k = dM_{k1} + dM_{k2} = 177,6 + 20,2 = \mathbf{197,8 \text{ кг}}$$

Додаткову кількість коксу округляють залежно від точності зважування коксу вагами, тому приймаємо **200 кг** за подачу. Загальна вага подачі коксу після коректування дорівнює **6200 кг**

Примітка.

При зміні (погіршенні) якості й складу коксу витрату його на 1т чавуну орієнтовно змінюють (збільшують) в наступних розмірах, кг:

- зниження вмісту вуглецю на 1 %.....15-20
- збільшення вмісту золи на 1 %.....6
- збільшення вмісту сірки на 0,1%4-7
- збільшення вмісту води на 1 %..... 5-6
- зменшення показника M₄₀ на 1 %.....8.

Кількість коксу за подачу при нормальному нагріві печі не змінюють, якщо коливання води не перевищують 0,8%, а коливання золи 0,2%.

1.2 Розрахунки параметрів дуття

1.2.1 Визначення витрати дуття на фурмах доменної печі

Для визначення кількості вуглецю коксу, який дійшов до фурм, необхідно провести розрахунок витрати вуглецю однієї тони коксу в процесі його руху від колошника до горна.

Початкові дані наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Параметри коксу, чавуну і дуття

Варіант, №	Питома витрата коксу, К _{пв} , кг/т	Технічний аналіз коксу, %				Хімічний склад чавуну, %					Ступінь прямого відновлення, г _d	Витрата С на СН ₄ , %	Вологість дуття, %
		Зола, А	Летучі, L	Сірка, S	Волога, W	Кремній, Si _ч	Марганець, Mn _ч	Фосфор, P _ч	Сірка, S _ч	Вуглець, C _ч			
1	650	10,4	1,07	1,46	2,36	0,73	0,58	0,12	0,033	4,17	0,32	0,83	1,34
2	615	9,80	0,98	1,52	3,16	0,81	0,64	0,10	0,047	4,42	0,34	0,76	1,18
3	593	11,1	0,93	1,38	1,92	0,68	0,52	0,09	0,041	4,62	0,29	0,87	1,63
4	585	10,6	1,18	1,44	2,68	0,76	0,57	0,11	0,034	4,16	0,35	0,66	2,14
5	640	9,44	1,13	1,32	1,46	0,63	0,51	0,08	0,045	4,86	0,28	0,72	1,78
6	635	9,82	0,76	1,56	1,18	0,84	0,53	0,13	0,028	4,19	0,27	0,78	1,37
7	630	10,3	1,14	1,42	2,14	0,67	0,65	0,16	0,043	4,23	0,38	0,93	1,42
8	602	10,1	0,98	1,39	2,60	0,76	0,58	0,14	0,039	5,08	0,35	0,74	1,06
9	645	9,76	1,16	1,58	1,76	0,83	0,66	0,10	0,044	4,32	0,30	0,85	1,12
10	590	9,23	0,83	1,47	1,93	0,66	0,69	0,09	0,037	4,67	0,36	0,80	2,07

Приклад розрахунку

Розрахунок ведеться на тону коксу (1000 кг).

1. Маса сухого коксу:

$$M_{\text{КС}} = 1000 - W \cdot 1000 / 100 = 1000 - 2,5 \cdot 1000 / 100 = \mathbf{975 \text{ кг/т коксу}}$$

де **W** - вологість коксу, %.

2. Кількість вуглецю у коксі:

$$C_{\text{к}} = M_{\text{КС}} - (A + L + S) \cdot M_{\text{КС}} / 100 = 975 - (10 + 1 + 1,4) \cdot 975 / 100 = \mathbf{854,1 \text{ кг}}$$

де **A**, **L** і **S** – відповідно вміст у коксі золи, летючих речовин та сірки, %.

3. Кількість вуглецю, що витрачається на утворення метану колошниково-го газу:

$$C_{CH_4} = C_k \cdot \% C_{CH_4} / 100 = 854,1 \cdot 0,8 / 100 = \mathbf{6,83 \text{ кг}}$$

де $\% C_{CH_4}$ – витрата вуглецю на утворення метану, %.

4. Кількість вуглецю, що витрачається на розчинення у чавуні:

$$C_{ч} = 1000 \cdot \% C_{ч} / (K_{пв} \cdot 100) = 1000 \cdot 4,5 / (0,65 \cdot 100) = \mathbf{69,23 \text{ кг}}$$

де $\% C_{ч}$ – вміст вуглецю у чавуні, %; $1000/K_{пв}$ - вихід чавуну з розрахунку на 1т коксу, кг; $K_{пв}$ – питома витрата коксу, т/т чавуну.

5. Окислюється вуглецю шихтою і дуттям:

$$C_{шд} = C_k - (C_{CH_4} + C_{ч}) = 854,1 - (6,83+69,23) = \mathbf{778,04 \text{ кг}}$$

6. Окислюється вуглецю шихтою, тобто витрачається на пряме відновлення заліза, марганцю, кремнію і фосфору за реакціями:



$$C_{ш} = (Fe_{ч} \cdot rd \cdot 12/56 + Mn_{ч} \cdot 12/55 + Si_{ч} \cdot 24/28 + P_{ч} \cdot 60/62) / (K_{пв} \cdot 100) \\ = (94,04 \cdot 0,3 \cdot 12/56 + 0,5 \cdot 12/55 + 0,8 \cdot 24/28 + 0,08 \cdot 60/62) / (0,65 \cdot 100) = \mathbf{106,4 \text{ кг}}$$

де $Fe_{ч}$ – вміст заліза у чавуні (%), що розраховується з хімічного складу останнього:

$$Fe_{ч} = 100 - (Mn_{ч} + Si_{ч} + P_{ч} + S_{ч} + C_{ч});$$

12, 56, 55, 28, 31 – атомні маси відповідно вуглецю, заліза, марганцю, кремнію та фосфору.

7. Кількість вуглецю, що згорає на фурмах:

$$C_{ф} = C_{шд} - C_{ш} = 778,04 - 106,4 = \mathbf{671,64 \text{ кг}}$$

8. На спалювання вуглецю біля фурм за реакцією $2C + O_2 = 2CO$ потрібно кисню:

$$O_2 = C_{ф} \cdot 22,4 / (2 \cdot 12) = 671,64 \cdot 22,4 / (2 \cdot 12) = \mathbf{626,9 \text{ м}^3}$$

9. Вміст кисню у вологому дутті:

$$O_{2д} = \% O_{2д} \cdot (1 - \% H_2O_{д} / 100) + O_{2в} = 21 \cdot (1 - 1 / 100) + 0,5 = \mathbf{21,29 \%}$$

де $\% O_{2д}$ – кількість кисню у сухому дутті, %; $\% H_2O_{д}$ – вологість дуття%; $O_{2в}$ – кількість кисню (%), яка утворюється при розкладанні води у горні печі за реакцією: $H_2O = H_2 + 0,5O_2$.

10. Кількість дуття, яка необхідна для спалювання на фурмах вуглецю з однієї тони коксу, завантаженого у доменну піч:

$$Q_{д} = O_2 \cdot 100 / O_{2д} = 626,9 \cdot 100 / 21,29 = \mathbf{2944,6 \text{ м}^3}.$$

1.2.2 Коректувальний розрахунок дуття, природного газу і коксу при зміні тиску газу під колошником

При вимушеному тимчасовому переведенні доменної печі на нормальний тиск у дуттєвому режимі коректують повітряне дуття і природний газ, що спричиняє коректування витрати коксу.

Початкові дані наведено у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Параметри дуття доменних печей різного об'єму

Варіант, №	Корисний об'єм печі, $V_{п}$, м^3	Кількість дуття, $Q_{д}$, $\text{м}^3/\text{хвил}$	Кількість природного газу, $Q_{пг}$, $\text{м}^3/\text{хвил}$	Кількість вологи дуття, $H_2O_{д}$, $\text{г}/\text{м}^3$	Кількість кисню, $O_{2д}$, $\text{м}^3/\text{хвил}$	Тиск на колошнику $P_{к}$, аті	Знижений тиск $P_{н}$, аті	Кількість подач за хвилину $N_{п}$
1	1719	2900	100	10,72	90	1,6	0,8	8
2	2000	3000	150	9,44	125	1,4	0,4	9
3	1513	2600	120	13,04	100	1,5	0,6	7
4	1386	2300	90	17,12	85	1,3	0,5	7
5	1033	1900	80	14,24	50	1,7	0,7	8
6	2300	3200	140	10,96	115	1,5	0,5	8
7	3200	4700	210	11,36	210	1,5	0,4	8
8	1386	2400	90	8,48	80	1,4	0,3	6
9	1719	3000	160	8,96	130	1,6	0,6	7
10	1513	2550	170	16,56	135	1,35	0,4	7

Приклад розрахунку

Доменна піч об'ємом **1513 м³** працювала з тиском під колошником **P_к = 150 кПа**, кількістю дуття **Q_д = 2500 м³/хвил**, кількістю природного газу **Q_{пг} = 170 м³/хвил**. З технологічних причин тиск під колошником був знижений до **90 кПа**.

Для того, щоб зберегти незмінним перепад тиску газу в печі при зменшеному тиску газу під колошником **P_н = 90 кПа**, кількість дуття зменшують з розрахунку 2% на 10 кПа зменшення тиску газу під колошником.

1. Відсоток зменшення кількості дуття відповідно до зниженого тиску під колошником:

$$\% Q_d = (P_k - P_n) \cdot 2 / 10 = (150 - 90) \cdot 2 / 10 = 12 \%$$

де **P_к** і **P_н** – тиск під колошником і нормальний (знижений) тиск, кПа.

2. Кількість дуття необхідно зменшити на наступну величину:

$$dQ_d = \% Q_d \cdot Q_d / 100 = 12 \cdot 2500 / 100 = 300 \text{ м}^3/\text{хвил}$$

де **Q_д** – початкова кількість дуття, м³/хвил.

3. Кількість природного газу повинна бути зменшена пропорційно дуттю:

$$dQ_{пг} = Q_{пг} \cdot \% Q_d / 100 = 170 \cdot 12 / 100 = 20,4 \text{ м}^3/\text{хвил}$$


де **Q_{пг}** – початкова кількість природного газу, м³/мин.

Для збереження нормального теплового стану печі необхідно скоректувати витрату коксу з наступного розрахунку: 1 м³ природного газу еквівалентний 1 кг коксу.

4. При зменшенні кількості природного газу на **dQ_{пг} м³/хвил**, кількість коксу за подачу потрібно збільшити на наступну величину:

$$dM_k = dQ_{пг} / N_m = 20,4 / 7 = 3 \text{ кг}$$

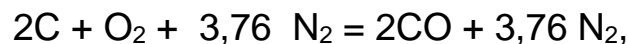
де **N_м** – кількість подач, що завантажуються у піч протягом хвилини при її роботі на нормальному тиску газу під колошником, шт.



Після усунення неполадки піч переводять на підвищений тиск газу під колошником, відповідно коректуючи кількість дуття, природного газу і коксу.

1.2.3 Визначення кількості і складу горнового газу при зміні складу дуття

При зміні вмісту природного газу, кисню й вологи у дутті змінюється кількість горнового газу, його хімічний склад і температура. При сухому незбагаченому дутті кількість горнового газу, який утворюється, по відношенню до кількості дуття, зростає згідно відомої реакції:



тобто кожна об'ємна одиниця кисню дуття (кг-моль), перетворюється на дві об'ємні одиниці (кг-моль) оксиду вуглецю, який утворюється, а коефіцієнт при азоті рівний співвідношенню відсотка азоту в сухому атмосферному дутті до кисню $3,76 = 79 / 21$.

Початкові дані для розрахунку наведені у таблиці 1.5.

Приклад розрахунку

1. Склад горнового газу у цьому випадку визначається з виразів:

$$\% \text{CO} = 2 \cdot 100 / (2 + 3,76) = \mathbf{34,72 \%}$$

$$\% \text{N}_2 = 3,76 \cdot 100 / (2 + 3,76) = \mathbf{65,28 \%}$$

де 2 і 3,76 – коефіцієнти пропорційності правої частини рівняння.

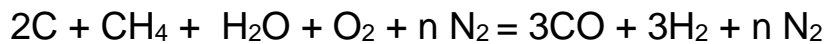
2. Кількість горнових газів від 100% (4,76) сухого атмосферного дуття складе наступну величину у відсотках:

$$\% Q_{\text{гр}} = 5,76 \cdot 100 / 4,76 = \mathbf{1,21\%}, \text{ або у кубометрах:}$$

$$Q_{\text{гр}} = 5,76 \cdot Q_{\text{д}} / 4,76 = 5,76 \cdot 2500 / 4,76 = \mathbf{3025,2 \text{ м}^3/\text{хвил}}$$

де **5,76** і **4,76** сума молекул горнового газу у правій і дуття у лівій частинах рівняння; $Q_{\text{д}}$ – кількість сухого атмосферного дуття на доменну піч, $\text{м}^3/\text{хвил}$.

При додаванні у дуття природного газу $\text{CH}_{4\text{д}}$, кисню $\text{O}_{2\text{д}}$ й вологи $\text{H}_2\text{O}_{\text{д}}$, процентний склад горнового газу розраховується згідно рівнянню реакції горіння:



де n – коефіцієнт, який залежить від співвідношення кількості азоту $N_{2\text{кд}}$ й кисню $O_{2\text{кд}}$ у комбінованому дутті: $n = N_{2\text{кд}} / O_{2\text{кд}}$.

Додатковий кисень входить до складу дуття, оскільки подається у дуття перед повітродувкою. Для визначення коефіцієнта n задамося витратами:

- дуття $Q_d = 2630 \text{ м}^3/\text{хвил}$;
- вологи $H_2O_d = 11,1 \text{ г/м}^3$ дуття (оскільки 1% вологи у дутті складає 8 г/м^3 , то $11,1 / 8 = 1,4\%$), волога атмосферна, тобто спеціально не додається;
- кисню $O_{2d} = 130 \text{ м}^3/\text{хвил}$;
- природного газу $CH_{4d} = 190 \text{ м}^3/\text{хвил}$, для спрощення розрахунків вважаємо, що природний газ складається тільки з метану.

3. Перерахуємо вологу дуття на $\text{м}^3/\text{хвил}$, для цього поділимо її значення у г/м^3 на питому масу, рівну молекулярній масі діленої на її об'єм ($18 / 22,4 = 0,8 \text{ кг/м}^3$, або 800 г/м^3) і помножимо на кількість дуття:

$$H_2O_d = 11,1 \cdot 2630 / 800 = 36,5 \text{ м}^3/\text{хвил}.$$

4. Азот у комбінованому дутті знаходиться в основному у сухому повітряному дутті і, відповідно до його процентного складу (79%), його кількість складе:

$$N_{2\text{кд}} = (Q_d - O_{2d} - H_2O_d) \cdot 79 / 100 = (2630 - 130 - 36,5) \cdot 79 / 100 = 1965,2 \text{ м}^3/\text{хвил}.$$

5. Кисень у комбінованому дутті знаходиться у сухому атмосферному повітрі, у волозі H_2O_d , $\text{м}^3/\text{хвил}$, і додатковому кисні O_{2d} , $\text{м}^3/\text{хвил}$:

$$O_{2\text{кд}} = (Q_d - O_{2d} - H_2O_d) \cdot 21 / 100 + H_2O_d \cdot 50,2 / 100 + O_{2d} = (2630 - 130 - 36,5) \cdot 21 / 100 + 36,5 \cdot 50,2 / 100 + 130 = 665,7 \text{ м}^3/\text{хвил}$$

де **21** – кількість кисню у сухому дутті, %; **50,2** – кількість кисню у волозі (H_2O) за об'ємом або 89 по вазі, %.

6. Коефіцієнт $n = 1965,2 / 665,7 = 2,95$.

7. Загальна кількість комбінованого дуття:

$$Q_{\text{кд}} = Q_d + Q_{\text{пг}} = 2630 + 190 = 2820 \text{ м}^3/\text{хвил}$$



частка кисню у комбінованому дутті:

$$\omega = O_{2\text{кд}} / Q_{\text{кд}} = 665,7 / 2820 = \mathbf{0,236}$$

частка природного газу у комбінованому дутті:

$$\pi = \text{CH}_{4\text{д}} / Q_{\text{кд}} = 190 / 2820 = \mathbf{0,067}.$$

8. Кількість горнових газів розраховується за формулою:

$$Q_{\text{гг}} = Q_{\text{кд}} \cdot (1 + \omega + 2\varphi + 2\pi) = 2820 \cdot (1 + 0,236 + 2 \cdot 0,014 + 2 \cdot 0,067) = \mathbf{3942,4 \text{ м}^3/\text{хвил}}$$

де ω , φ , π - частка кисню, вологи і природного газу у дутті відповідно, а коефіцієнти при них – кількість молекул з кисню, вологи й природного газу у горнових газах по стехіометрії.

У відсотках від вдуваного комбінованого дуття:

$$\% Q_{\text{гг}} = Q_{\text{гг}} \cdot 100 / Q_{\text{кд}} = 3942,4 \cdot 100 / 2820 = \mathbf{139,8 \%}.$$

9. Склад горнового газу можна підрахувати за наступними формулами:

$$\begin{aligned} \% \text{CO}_{\text{гг}} &= (2\omega + \varphi) \cdot 100 / (1 + \omega + 2\varphi + 2\pi) = \\ &= (2 \cdot 0,236 + 0,014) \cdot 100 / (1 + 0,236 + 2 \cdot 0,014 + 2 \cdot 0,067) = \mathbf{34,77 \%}, \end{aligned}$$

або у кубометрах за хвилину:

$$\text{CO}_{\text{гг}} = Q_{\text{гг}} \cdot \% \text{CO}_{\text{гг}} / 100 = 3942,4 \cdot 34,76 / 100 = \mathbf{1370,4 \text{ м}^3/\text{хвил}}.$$

Те ж для водню:

$$\begin{aligned} \% \text{H}_{2\text{гг}} &= (\varphi + 2\pi) \cdot 100 / (1 + \omega + 2\varphi + 2\pi) = \\ &= (0,014 + 2 \cdot 0,067) \cdot 100 / 1,398 = 10,58 \% \\ \text{H}_{2\text{гг}} &= Q_{\text{гг}} \cdot \% \text{H}_{2\text{гг}} / 100 = 3942,4 \cdot 10,58 / 100 = \mathbf{417,1 \text{ м}^3/\text{хвил}} \end{aligned}$$

і азоту:

$$\begin{aligned} \% \text{N}_{2\text{гг}} &= (1 - \omega) \cdot 100 / (1 + \omega + 2\varphi + 2\pi) = (1 - 0,236) \cdot 100 / 1,398 = \\ &= \mathbf{54,65 \%} \\ \text{N}_{2\text{гг}} &= Q_{\text{гг}} \cdot \% \text{N}_2 / 100 = 3942,4 \cdot 54,65 / 100 = \mathbf{2154,5 \text{ м}^3/\text{хвил}}. \end{aligned}$$

10. Розрахунок ступеня використання водню в доменній печі. Звичайно ступінь використання водню в доменній печі розраховується за аналізом колошникового газу: $\% \text{H}_2\text{O}_k / (\% \text{H}_{2\text{кг}} + \% \text{H}_2\text{O}_{\text{кг}})$, але аналіз вологи колошникового газу не роблять, оскільки у колошниковий газ волога потрапляє ще і з шихти при випаровуванні. Тому надійніше розраховувати показник використання водню за його кількістю, що прийшла у горн, віднявши кількість водню колошникового газу:

$$\eta_{\text{H}_2} = 1,5 \cdot (\% \text{H}_{2\text{гг}} - \% \text{H}_{2\text{кг}}) / \% \text{H}_{2\text{гг}} = 1,5 \cdot (10,58 - 7,28) / 10,58 = \mathbf{0,468}.$$

1.2.4 Розрахунок зміни маси коксу за подачу при зміні температури і вологості дуття

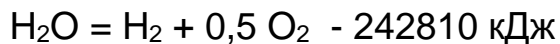
Під час роботи доменної печі виникають ситуації, коли необхідно змінити температуру й вологість дуття за технологічними або конструктивними умовами.

Для збереження колишнього температурного режиму горна печі необхідно визначити підвищення температури дуття при збільшенні його вологості.

Початкові дані наведені у таблицях 1.1 і 1.5.

Приклад розрахунку

1. На розкладання вологи дуття у горнідоменної печі за реакцією



витрачається наступна кількість тепла:

$$dQ = 242810 / 18000 = \mathbf{13,5 \text{ кДж/г H}_2\text{O}},$$

де **18000** – кількість грам води відповідно до її молекулярної ваги.

2. При теплоємності гарячого дуття $C_d = 1,5 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{°C}$, для компенсації витрат тепла на розкладання 1г вологи, необхідно підвищити температуру дуття на наступну величину:

$$dT_d = dQ / (\text{H}_2\text{O}_d \cdot C_d) = 13,5 / (1,0 \cdot 1,5) = \mathbf{9 \text{ °C}}$$

де H_2O_d – кількість вологи, г.

3. Вологість дуття у 1% означає, що у 1м^3 дуття міститься 10 літрів водяної пари. Один літр пари важить $18/22,4=0,8\text{г}$. Отже, 1% водяної пари у дутті відповідає:

$$H_2O_d = 0,8 \cdot 10 = 8 \text{ г/м}^3.$$

4. Для компенсації витрати тепла на розкладання 8г вологи (пару) в 1м³ дуття необхідно збільшити температуру дуття на наступну величину:

$$T_{кд} = dT_d \cdot H_2O_d = 9 \cdot 8 = 72^\circ\text{C}.$$

Якщо немає можливості компенсувати вологу дуття підвищенням температури, то необхідно збільшувати витрату коксу за подачу відповідно до статистичних даних:

Зменшення вологості дуття на кожен 1 г/м³

зменшує витрату коксу на0,3 %

Підвищення температури дуття в межах 1000-1100 °С

зменшує витрату коксу на3,3 %

5.Збільшення питомої витрати коксу при додаванні у дуття $H_2O_d = 8 \text{ г/м}^3$ вологи:

$$dK_{уд} = H_2O_d \cdot 0,3 = 8 \cdot 0,3 = 2,4 \%$$

Для визначення добавки кількості коксу у подачу необхідно визначити вихід чавуну з подачі залізородного матеріалу, який визначається наступним шляхом. Визначається кількість заліза з подачі. Визначається кількість заліза у чавуні за складом чавуну. Ділення цих величин дасть вихід чавуну з подачі. Ділення кількості коксу у подачі на вихід чавуну з подачі дозволить визначити питому витрату коксу.

6. Кількість заліза, що вноситься у доменну піч агломератом і коксом:

$$\begin{aligned} Fe &= (M_a - B_a) \cdot Fe_a / 100 + (M_o - B_o) \cdot Fe_o / 100 + (M_k - B_k) \cdot A_k \cdot Fe_k / 100 \cdot 100 = \\ &= (20000 - 150) \cdot 55 / 100 + (10000 - 50) \cdot 60 / 100 + (8600 - 40) \cdot 10 \cdot 17 / 10000 \\ &= 17033, \text{ кг} \end{aligned}$$

де Fe_a , Fe_o і Fe_k – вміст заліза відповідно в агломератах **A**, **B** і золі коксу %; B_a , B_o і B_k – винесення пилу з подачі відповідно агломерату, окатишів і коксу, кг.

7. Вміст заліза у чавуні:

$$\begin{aligned} Fe_ч &= 100 - (Si_ч + Mn_ч + P_ч + S_ч + C_ч) = \\ &= 100 - (0,7 + 0,5 + 0,1 + 0,05 + 4,2) = 94,45 \%$$

8. Вихід чавуну з однієї подачі:

$$Fe_п = Fe \cdot 100 / Fe_ч = 17033 \cdot 100 / 94,45 = 18034, \text{ кг}$$

9. Питома витрата коксу з розрахунку на тону чавуну:

$$K_{пв} = M_k \cdot 1000 / Fe_{ч} = 8600 \cdot 1000 / 18034 = \mathbf{480 \text{ кг}}$$

10. Кількість коксу за подачу, яка необхідна для компенсації $V_v = 8 \text{ г/м}^3$ вологи у дутті (або 72°C температури дуття):

$$dK_n = M_k \cdot dK_{пв} / 100 = 8600 \cdot 2,4 / 100 = \mathbf{206,4 \text{ кг}}$$

Таким чином, для компенсації 8 г/м^3 вологи у дутті (або 72°C гарячого дуття) необхідно додатково додавати у подачу **200 кг коксу**.

1.3 Розрахунки шихти при зміні шихтових матеріалів та марки чавуну

1.3.1 Визначення залізорудного складу подачі при зміні шихтових умов

У доменну піч завантажували трьохкомпонентну шихту наступного складу:

Вид залізорудної шихти	Агломерат A_1	Агломерат A_2	Окатиши O_k
Кількісний склад %	$A_1 = 80,7$	$A_2 = 6,4$	$O_k = 12,9$
Вміст заліза %	$\%Fe_{A1} = 55,09$	$\%Fe_{A2} = 52,9$	$\%Fe_{O_k} = 65,3$

Окатиші замінили агломератом A_1 . Слід визначити склад залізорудної частини подачі масою $M_n = 55\text{т}$ за умови збереження у ній маси заліза. Маса коксу у подачі дорівнює $M_{кп} = 15\text{т}$.

Початкові дані наведені у таблицях 1.1 та 1.2. В умовах вважати, що один вид шихтового матеріалу на 50% замінюється іншим.

Приклад розрахунку

1. Маса агломерату A_1 , A_2 і окатишів O_k у подачі відповідно складають:

$$M_{A1} = M_n \cdot A_1 / 100 = 55 \cdot 80,7 / 100 = \mathbf{44,385 \text{ т}}$$


$$M_{A2} = M_n \cdot A_2 / 100 = 55 \cdot 6,4 / 100 = \mathbf{3,52 \text{ т}}$$

$$M_{O_k} = M_n \cdot O_k / 100 = 55 \cdot 12,9 / 100 = \mathbf{7,095 \text{ т}}$$

2. Кількість заліза, що вноситься окатишами, складає:

$$Fe_{O_k} = M_{O_k} \cdot \% Fe_{O_k} / 100 = 7,095 \cdot 65,3 / 100 = \mathbf{4,633 \text{ т}}$$

3. Для покриття дефіциту заліза необхідно збільшити масу агломерату A_1 :


$$dM_{A1} = Fe_{OK} \cdot 100 / \% Fe_{A1} = 4,633 \cdot 100 / 55,09 = 8,410 \text{ т.}$$

4. Нова маса агломерату A_1 у подачі повинна бути

$$M_{A1H} = M_{A1} + dM_{A1} = 44,385 + 8,410 = 52,795 \text{ т.}$$

5. Загальна маса рудної подачі складе наступну величину:

$$M_H = M_{A1H} + M_{A2} = 52,795 + 3,52 = 56,315 \text{ т.}$$

Необхідно пам'ятати, що, зберігаючи рудне навантаження відносно кількості заліза, ми збільшуємо його по відношенню до маси залізорудної складової подачі.

6. Для коректування маси коксу за подачу, беремо те рудне навантаження, яке було:

$$P_H = M_H / M_{кп} = 56/15 = 3,7.$$

7. Додаткова кількість коксу за подачу повинна бути:

$$dM_{кп} = M_H / P_H - M_{кп} = 56,315/3,7 - 15 = 0,22 \text{ т.}$$

Висновок. При заміні окатишів агломератом A_1 необхідно додати **220 кг** коксу за подачу, тобто нова маса коксу у подачі складатиме **15,22 т**, замість **15 т** початкових.

1.3.2 Перешихтовка на чавун іншої марки

При виконанні спеціальних замовлень на чавун часто потрібно переводити доменні печі на виплавку чавуну іншої марки, наприклад, з передільного на ливарного або навпаки. У цьому випадку проводять перешихтовку з урахуванням технологічних особливостей того або іншого виду чавуну.

При переході на ливарний чавун з передільного збільшують витрату коксу відповідно до марки ливарного чавуну, коректують основність шлаку і, часто, склад дуття (зменшують кількість дуття і додають, як правило, кисень).

Початкові дані наведено у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6. Параметри чавуну і шлаку

Варіант, №	Марка передільного чавуну	Вихід шлаку, кг/т чавуну	Склад шлаку, %					Коксова подача, M_k , кг	Марка ливарного чавуну
			SiO_2	CaO	Al_2O_3	MgO	MnO		
1	П1	450	38,56	48,69	7,50	3,84	0,29	6100	Л2
2	ПФ1	491	39,79	49,06	6,99	3,72	0,27	7200	Л1
3	П2	482	38,69	49,00	6,92	3,87	0,30	5600	Л5
4	ПВК3	481	38,40	49,1	6,9	4,0	0,32	5400	ЛР6
5	ПФ2	458	38,40	49,2	7,0	3,9	0,3	4500	ЛР3
6	ПВК1	458	39,5	48,4	6,85	3,95	0,29	8300	ЛР1
7	ПЛ1	442	40,12	47,44	6,86	4,37	0,39	10500	ЛР2
8	ПФ3	451	39,06	48,99	6,73	4,02	0,25	5400	ЛР6
9	ПВК2	452	38,64	49,4	6,78	3,94	0,20	6800	Л1
10	ПЛ2	447	38,60	49,2	7,1	3,8	0,23	5500	Л3

Приклад розрахунку

Доменна піч корисним об'ємом $V_{п} = 1513 \text{ м}^3$ виплавляла переробний чавун марки П₁ ($Si = 0,7\%$) другої групи ($Mn = 0,75\%$), класу А ($P = 0,1\%$), третьої категорії ($S = 0,03\%$). Маса коксової подачі була $M_k = 5700 \text{ кг}$ (питома витрата коксу $K_{пв} = 506 \text{ кг/т чавуну}$). Золи у коксі було $A = 10,0\%$, а в ній $SiO_2 = 41,3\%$; $CaO = 3,4\%$. Склад шлаку при виплавці переробного чавуну був наступним: $CaO = 48,75\%$; $SiO_2 = 39,0\%$, вихід його 574 кг/т чавуну .

Необхідно перейти на виплавку ливарного чавуну марки Л2 ($Si = 3\%$) третьої групи ($Mn = 0,7\%$), класу А ($P = 0,08\%$), другої категорії ($S = 0,03\%$).

1. Для збільшення вмісту кремнію з 0,7 до 3,0% (на $dSi = 2,3\%$) необхідно збільшити витрату коксу, відповідно до статистичних даних [2, 6] (збільшення кремнію у чавуні на 1% збільшує витрату коксу на 5-15%, у середньому на $dK_{пв} = 10\%$), на наступну величину:

$$dM_k = M_k \cdot dSi \cdot dK_{пв} / 100 = 5700 \cdot 2,3 \cdot 10 / 100 = 1311 \text{ кг}$$

2. Величина коксової подачі для виплавки ливарного чавуну дорівнює:

$$M_{кл} = M_k + dM_k = 5700 + 1311 = 7011 \text{ кг}$$

У зв'язку з тим, що ливарний чавун гарячіший, тому немає необхідності тримати основність на рівні $O_{ш} = 1,25$. При виплавці ливарного чавуну основність шлаку складає 1,05-1,20 [7], де нижня межа відповідає висококрем'янистому ливарному чавуну марки Л₁, а верхній - Л₆. Оскільки ми переходимо на марку Л₂, то основність шлаку зміниться і її необхідно

розрахувати, виходячи з умови рівних можливостей десульфурзації, що визначається рівністю коефіцієнтів розподілу сірки для переробного і ливарного чавунів, температура шлаку яких в середньому дорівнює 1450 і 1500°C відповідно. При необхідності, для більш точнішого розрахування температури шлаку можна скористатися емпіричною формулою $T_{\text{ч}} = 1462,9 + 57,704 \ln(Si_{\text{ч}})$ приблизно рахуючи, що температура шлаку дорівнює температурі чавуну.

3. Розрахуємо коефіцієнт розподілу сірки L_S для переробного чавуну за відомим складом і температурою шлаку:

$$\begin{aligned} L_{S,1450} &= 98 \cdot O_{\text{ш}} + (\text{MgO} + \text{MnO}) / \text{SiO}_2)^2 - 160 \cdot (O_{\text{ш}} + (\text{MgO} + \text{MnO}) / \text{SiO}_2) + \\ &\quad + 72 - (0,6 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - 0,012 \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3)^2 - 4,032)^4 = \\ &= 98 \cdot (1,25 + (3,96 + 0,27) / 39,11)^2 - 160 \cdot (1,25 + (3,96 + \\ &\quad 0,27) / 39,11) + 72 - (0,6 \cdot 7 - 0,012 \cdot 7^2 - 4,032)^4 = \mathbf{36,4} \end{aligned}$$

де MgO , MnO , SiO_2 і Al_2O_3 – склад шлаку, %.

4. Коефіцієнт розподілу сірки для ливарного чавуну повинен бути таким же, як і для переробного чавуну, щоб одержати таку ж сірку у чавуні. Навіть трохи меншим у зв'язку з тим, що більше сірки випаровується з колошниковими газами:

$$L_{S,1500} = \eta \cdot L_{S,1450} = \mathbf{36,4}$$

де температурна поправка $\eta = 2,7 \cdot t / 100 - 0,067 \cdot (t/100)^2 - 24,063$
 $= 2,7 \cdot 1500 / 100 - 0,067 \cdot (1500 / 100)^2 - 24,063 = \mathbf{1,362}$

тут t – температура шлаку, °C. Таким чином, нову основність $O_{\text{шл}}$ знайдемо з попереднього рівняння четвертого ступеня. Вона дорівнює 1,14.


5. Зменшення кількості кремнезему в шлаку у зв'язку з переходом з шихти у чавун $dSi = 2,3\%$ кремнію:

$$d\text{SiO}_{2\text{ш1}} = dSi \cdot 60 / (28 \cdot \text{Ш}_{\text{пв}}) = 2,3 \cdot 60 \cdot 1000 / (28 \cdot 574) = \mathbf{8,6\%}$$

або $M_{\text{к}} \cdot \text{Ш}_{\text{пв}} \cdot 8,6 / (K_{\text{пв}} \cdot 100) = 5700 \cdot 576 \cdot 8,6 / (506 \cdot 100) = \mathbf{556 \text{ кг}}$

де **60** і **28** – молекулярні і атомні маси SiO_2 і Si відповідно; $\text{Ш}_{\text{пв}}$ – питома кількість шлаку, кг/т чавуну; $K_{\text{пв}}$ – питома витрата коксу, кг/т чавуну.

6. Збільшення кількості кремнезему, що перейшов у шлак за рахунок збільшення коксової подачі:


$$d\text{SiO}_{2\text{ш2}} = dM_{\text{к}} \cdot A_{\text{к}} \cdot \text{SiO}_{2\text{к}} / (100 \cdot 100) = 1311 \cdot 10 \cdot 41,3 / (100 \cdot 100) = \mathbf{54,1 \text{ кг}}$$

7. Кількість кремнезему у шлаку передільного чавуну:

$$\text{SiO}_{2\text{ш}} = M_{\text{к}} \cdot \text{Ш}_{\text{пв}} \cdot \% \text{SiO}_{2\text{ш}} / (K_{\text{пв}} \cdot 100) = 5700 \cdot 574 \cdot 39 / (506 \cdot 100) = \mathbf{2521,7 \text{ кг}}$$

8. Кількість кремнезему у шлаку ливарного чавуну:

$$\text{SiO}_{2\text{шл}} = \text{SiO}_{2\text{ш}} - d\text{SiO}_{2\text{ш1}} + d\text{SiO}_{2\text{ш2}} = 2521,7 - 556 + 54,1 = \mathbf{2019,8 \text{ кг}}$$

9. Кількість вапна у шлаку передільного чавуну:

$$\text{CaO}_{\text{ш}} = \text{SiO}_{2\text{ш}} \cdot O_{\text{ш}} = 2521,7 \cdot 1,25 = \mathbf{3152,2 \text{ кг}}$$

10. Кількість вапна у шлаку ливарного чавуну з урахуванням додавання коксу у подачу:

$$\begin{aligned} \text{CaO}_{\text{шл1}} &= \text{CaO}_{\text{ш}} + dM_{\text{к}} \cdot A \cdot \% \text{CaO}_{\text{А}} / (100 \cdot 100) = \\ &= 3152,2 + 1311 \cdot 10 \cdot 3,4 / (100 \cdot 100) = \mathbf{3156,7 \text{ кг}} \end{aligned}$$

де **A** – кількість золи у коксі, %; **% CaO_A** – кількість вапна у золі коксу, %.

11. Основність шлаку ливарного чавуну:

$$O_{\text{шл1}} = \text{CaO}_{\text{шл1}} / \text{SiO}_{2\text{шл}} = 3156,7 / 2019,8 = \mathbf{1,56}$$

12. Визначимо зайву кількість вапна у шлаку ливарного чавуну, оскільки згідно розрахункам п. 1.4 вона повинна бути 1,14:

$$\text{CaO}_{\text{л}} = \text{CaO}_{\text{ш1}} - O_{\text{шл}} \cdot \text{SiO}_{2\text{шл}} = 3156,7 - 1,14 \cdot 2019,8 = \mathbf{854,1 \text{ кг}}$$

13. Необхідна кількість вапняку, яку необхідно вивести з подачі:

$$d\text{CaCO}_{3\text{п}} = \text{CaO}_{\text{л}} \cdot 100 / \text{CaO}_{\text{ф}} = 854,1 \cdot 100 / 52,87 = \mathbf{1615,5 \text{ кг}}$$

де **CaO_ф** – флюсуюча здатність вапняку, %.

14. Коректування коксу на вапняк, виведений з шихти, проводиться відповідно до статистичних даних, наведених у довідниках, а саме – зниження витрати коксу 0,5% на кожні 10 кг/т виведеного вапняку. Остаточна скоректована витрата коксу за подачу складе:

$$M_{\text{клк}} = M_{\text{кл}} - d\text{CaCO}_{3\text{п}} \cdot 0,5/10 = 4011 - 1615,5 \cdot 0,05 = \mathbf{6930,2 \text{ кг}}$$

Питома витрата коксу на ливарний чавун даної марки складе:

$$K_{\text{пвл}} = M_{\text{клк}} \cdot K_{\text{пв}} / M_{\text{к}} = 6930,2 \cdot 506 / 5700 = \mathbf{615,2 \text{ кг/т}}$$

2. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

2.1 Розподіл матеріалів на колошнику доменної печі

Мета роботи

1. Ознайомитись із пристроєм та принципом дії типового засипного апарату доменної печі.
2. Визначити вплив різних факторів на розподіл шихтових матеріалів на колошник моделі доменної печі.

Загальні відомості

Розподіл шихтових матеріалів на колошнику значною мірою визначає продуктивність та економічність роботи доменної печі.

При існуючих в даний час типових конструкціях засипних апаратів шихтові матеріали по горизонтальному перерізу колошника розподіляються нерівномірно, що іноді призводить до небажаного формування газового потоку [8].

Розподіл матеріалів по колу колошника має бути максимально рівномірним. Однак на практиці спостерігається нерівномірність через одностороннє завантаження шихти.

Нерівномірність може бути різною залежно від маси подачі та фізичних властивостей шихти.

Радіальний розподіл шихтових матеріалів має бути раціонально нерівномірним. Ідеальним був би такий розподіл матеріалів та газів, при якому у будь-якому перерізі печі одиниця залізородного матеріалу оброблялася певною кількістю газу [8].

Розподіл матеріалів на колошнику визначає безліч факторів: порядок завантаження, величина подачі, рівень засипу матеріалів, відстань між стінкою колошника і кромкою великого конуса та ін.

Дослідження розподілу матеріалів конусним завантажувальним пристроєм

Опис установки

Установка вивчення розподілу матеріалів є плоску модель доменної печі обсягом 1386 м³масштабі 1:20 (рис. 2.1) [8].

Шихта завантажується в приймальну лійку малого конуса 1. Так як модель плоска, лійка з конусом повертається на 180 °. При опусканні малого конуса 2 матеріали потрапляють у лійку великого конуса 3, яка в нижній частині закрита великим конусом 4. Його відкриванні потрапляє в «верхню циліндричну частину печі, яка називається колошником 5.

На моделі в області нижньої частини горна в днищі є три отвори (два на периферії і один в центрі), які перекриті шестернями 6, насадженими на вал, з'єднаний з електромотором 7. При обертанні шестерень шихтові

матеріали прокидаються в бункер 8, розташований під моделлю . За рахунок видалення матеріалів забезпечується рух шихти у моделі [8].

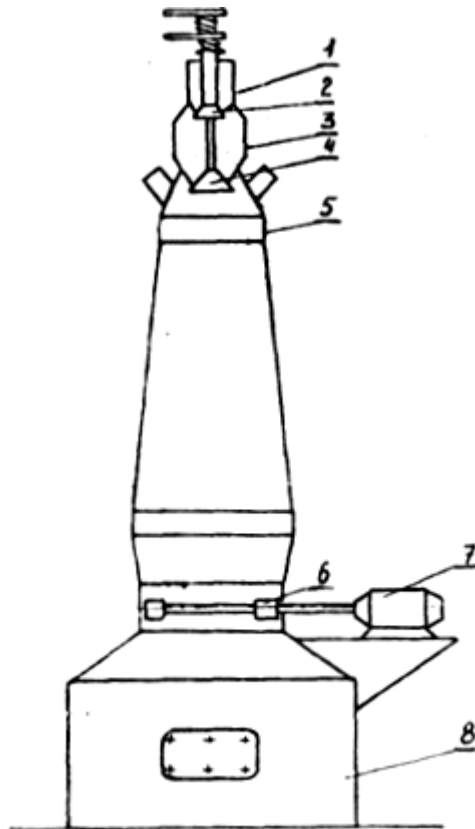


Рисунок 2.1 - Плaska модель доменної печі

Порядок виконання роботи

Вплив величини подачі

Зважені малі порції шихтових матеріалів (100 г коксу та 200 г руди) завантажують в модель доменної печі при рівні засипу 80 мм та порядку завантаження РРКК ↓. Завантаження здійснюють в такий спосіб. Набирають дві порції руди на великий конус і опускають їх у піч. У такій послідовності завантажують кокс. Після опускання всієї подачі в модель рівень засипу зменшується. Щоб наступну подачу матеріалів завантажувати при тому ж рівні (80мм), необхідно опустити шихту в моделі. Коли рівень засипу досягне заданого значення, вимикають електромотор [8].

Після завантаження 2-х - 3-х малих подач переходять до завантаження 2х - 3-х великих подач (200 г коксу та 400 г руди). Матеріали завантажують в модель при рівні засипу 80 мм та порядку завантаження РРКК↓. Порівнюють, як розподілився матеріал і роблять замальовку шарів руди та коксу при малій і великій подачі [8].

Вплив порядку завантаження

Зважуємо великі порції шихтових матеріалів 200 г коксу та 400 г руди та завантажуюмо їх у модель доменної печі при рівні засипу 80 мм та зворотному порядку завантаження ККРР↓. Завантажені за системою ККРР ↓ 2 - 3 подачі порівнюємо із завантаженими раніше подачами по системі РРКК ↓, звернувши увагу на розподіл руди в периферійній зоні. У звіті робимо замальовку шарів руди та коксу для прямої та зворотної подачі [8].

Вплив рівня засипу

У модель доменної печі засипаємо кокс до рівня 50 мм. Зважуємо порції шихтових матеріалів (100 г коксу та 200 г руди) і завантажуюмо в модель при рівні засипу 50 мм та прямому порядку завантаження РРКК ↓.

Розподіл матеріалів, отриманий при завантаженні 2-3 малих подач при цьому рівні, порівнюємо з розподілом матеріалів, отриманим при завантаженні малих подач при рівні засипу 80 мм. Звернути увагу на розташування гребеня при різних рівнях засипу. Замалюємо розташування матеріалу при рівні засипу 50 і 80 мм [8].

У звіті робимо замальовку шарів руди та коксу. Пояснюємо отримані закономірності.

2.2 Дослідження впливу хімічного складу залізорудної шихти на процеси відновлення та шлакоутворення при різних температурах

Мета роботи

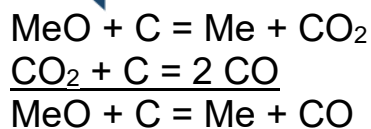
1. Ознайомитись із особливостями та кінетикою відновлення залізорудних матеріалів.
2. Визначити температури плавління доменного шлаку в залежності від його складу.

2.2.1 Дослідження впливу хімічного складу залізорудної шихти на процеси відновлення

Загальні відомості

Відновлення оксидів металів вуглецем є одним з найбільш поширених типів металургійних процесів. Наприклад, в доменній печі відновлення заліза з його оксидів здійснюється не тільки газом (CO і H_2), але і твердим вуглецем коксу. Відновлення за допомогою газу називається непрямим (посереднім), а процес взаємодії оксидів заліза з вуглецем коксу прийнято називати прямим. Реакції першого типу протікають при помірних температурах (до $900 - 950^\circ\text{C}$) і виділяють в газ CO_2 і H_2O [8].

У загальному вигляді механізм прямого відновлення зводиться до двокільцевої схеми:



Тобто, відновлення оксиду металу здійснюється газоподібним оксидом вуглецю, а роль твердого вуглецю зводиться до регенерації CO із CO₂. Звідси витікає, що початок помітного розвитку процесу прямого відновлення визначається температурами, при яких можливий перебіг реакції CO₂ + C = 2 CO. Для умов доменної печі ці температури 950 – 1000 С і більш [8].

В області низьких температур реакція CO₂ + C = 2 CO неможлива по термодинамічних причинах і тому пряме відновлення не має помітного розвитку.

До чинників, що визначають швидкість прямого відновлення, слід віднести, перш за все, температурно-теплові умови процесу. Крім того, на хід процесу робить великий вплив металеве залізо, що утворюється при відновленні, яке значно прискорює газифікацію вуглецю вуглекислим газом або водяною парою. Хід процесу прямого відновлення у великій мірі залежить і від складу доменного газу [8].

У даній лабораторній роботі розглядається лише вплив температурного чинника на кінетику цього процесу.

Опис установки

Весь кисень, що віднімається від оксиду заліза в ході прямого відновлення, видаляється з реакційної зони у вигляді двох газів - CO і частково CO₂. Тому за кінетикою процесу можна стежити шляхом вимірювання в часі сумарної кількості обох газоподібних продуктів реакції.

Схема лабораторної установки наведена на рисунку 2.2. Установка складається з двох основних частин: печі з реакційною трубкою, обладнаною системою регулювання температури, і системи контролю кількості газів, що виділяються з реакційної зони [8].

У нагрівальну піч 1, що включена в електричну мережу через амперметр 2 і реостат 3 (призначені для підтримки необхідної температури в печі), вставляється фарфорова трубка 4, що служить реакційним простором. Трубка 4 з'єднується з балоном 5, в якому збирається газ, що виділяється при відновленні оксиду заліза твердим вуглецем. Балон 5 може відключатися від печі краном 6 і з'єднаний гнучким гумовим шлангом з балоном 7, призначеним для відбору води, що витісняється з балона 5 при заповненні його газом, який поступає з реакційного простору. Визначення кількості газу, що поступає в балон 5, проводиться по кількості витисненої води, вимірюваної за спеціальною шкалою на балоні 5. Балон 7 встановлений на підйомному столику 8, що допускає зміну положення рівня балона 7. Тиск газу в системі контролюється манометром 9. Залізородний матеріал і кокс вводяться в

реакційний простір в човнику 10. Реакційний простір може бути сполученим з атмосферою краном 11 і трубкою 12. Температура в печі контролюється платиновородієвою термопарою, сполученою з гальванометром 13 [8].

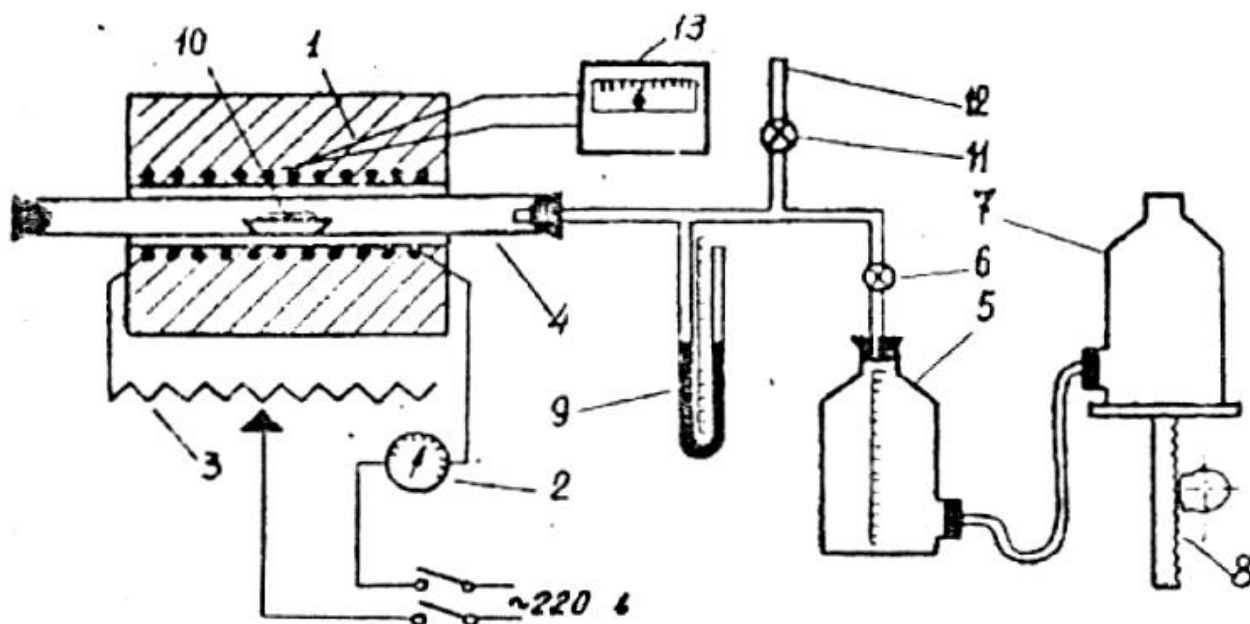


Рисунок 2.2 - Установка для дослідження кинетики відновлення

Порядок проведення дослідів

Включити піч для її нагріву до заданої температури. Необхідно нагрів печі проводити поступово (біля 30°C за хвилину), щоб фарфорова трубка, що представляє реакційний простір, не лопнула. Повільний нагрів досягається поступовим виведенням реостата [8].

Підготувати шихту для дослідів. Маса коксу в пробі (P_K) визначається, виходячи із заданого хімічного складу залізородних матеріалів і коксу за рівнянням:

$$P_K = (12 P_{зм} / C_K) * (3 Fe_2O_3 / 160 + FeO / 72), \text{ г}$$

де $P_{зм}$ - маса залізородного матеріалу, узята в пробі, грам (задається викладачем); $3 Fe_2O_3$ і FeO - вміст відповідних оксидів в залізородному матеріалі, долі од; C_K - вміст вуглецю в органічній масі коксу, долі од.

Проби подрібнених коксу і залізородного матеріалу ретельно перемішуються і завантажуються у фарфоровий човник.

При розігрітій печі (до заданої температури) відкрити пробку на вільній стороні реакційної трубки і ввести човник з пробами в ізотермічну зону. Після цього трубку необхідно знову закрити пробкою, а кран 6 поволі



відкрити. Початок реакції відбувається при зростанні тиску в установці, контрольованого манометром 9. Кран 11 повинен бути закритий. За допомогою штатива рівень води в балоні 7 слід підтримувати весь час на 10 мм нижче, ніж в балоні 5. Користуючись шкалою на балоні 5, проводять відлік виходу кожних 100 см³ газу (по кількості витисненої води). Дослід продовжують протягом 30-40 хвилин, підтримуючи при цьому задану температуру в робочому просторі. В ході досліду фіксують час, відповідний виходу кожних 100 см³ газу [8].

Після закінчення досліду відкрити кран 11; підняти балон 7 вище за балон 5 (чим створюється позитивний тиск в системі) і підпалити газ на виході трубки 12. Після спалювання газу човник витягують з реакційного простору на вогнетривку підставку і проводять: наступної проби відповідно до завдання [8].

Обробка експериментальних даних

Ступінь відновлення залізородного матеріалу визначається за формулою:

$$W = (O_i / O_{ш}) * 100\%$$

де O_i - кількість кисню, що перейшла у газ із залізородного матеріалу, грам; $O_{ш}$ - кількість пов'язаного із залізом кисню, грам.

$$O_i = 0,000257 P V / (273 + T), \text{ г,}$$

де V - вихід газу, см³; P - барометричний тиск в лабораторії, мм. рт. ст; T - температура повітря в лабораторії °C.

$$O_{ш} = [48/112 (Fe_{заг} - (56 / 72) FeO) + (16/72) FeO] P_{зм}, \text{ г}$$

де $Fe_{заг}$, FeO - вміст заліза і його закису в залізородному матеріалі, %; $P_{зм}$ - маса залізородного матеріалу в пробі, грамів.

Результати вимірів і розрахунків зводяться в таблицю:

Умови досліду; температура, вид матеріалу	Час від початку досліду, сек	Вихід газу, V, см ³	Кількість O ₂ , що перейшов в газ з проби, O _i , грам	Ступінь відновлення від початку досліду, %

За даними таблиці будується графік зміни ступеню відновлення під час досліду і пояснюються отримані залежності.

2.2.2 Дослідження впливу складу шлаку на його температуру плавління

Опис установки

Загальна схема установки показана на рисунку 2.3. Між контактами мікропечі 1 знаходиться платинова пластинка 8. Контакти включаються через трансформатор 2 в мережу послідовно з двома реостатами 3. Для миттєвого розмикання ланцюга служить рубильник 4. Термопара підключена до гальванометра 6. Для поліпшення спостереження за пробєю шлаку, що знаходиться в робочому просторі мікропечі, служить бінокляр 7 [8].

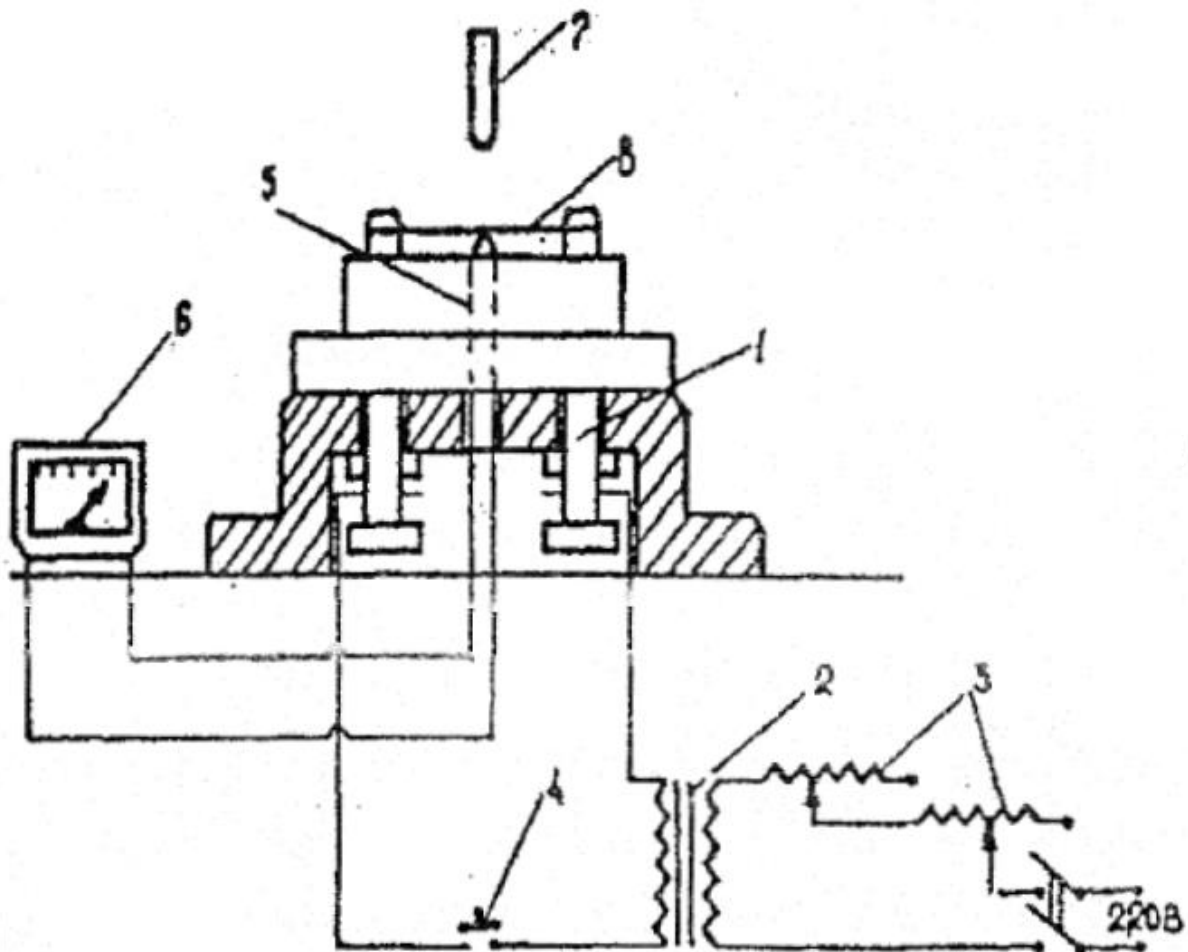


Рисунок 2.3 - Установка для визначення температури плавління шлаку

Виконання роботи

Після ознайомлення з установкою необхідно оглянути запропоновані шлаки, зіставивши їх зовнішній вигляд (будова, колір) з хімічним аналізом. При цьому слід звернути увагу на зовнішній вигляд шлаків переробного і ливарного чавунів, феромарганцю і феросиліцію, на зміну зовнішнього вигляду шлаків переробного чавуну із зміною основності, вміст закису заліза, закису марганцю [8].

Один із студентів повинен управляти реостатами і одночасно стежити за свідченнями гальванометра. Другий повинен спостерігати в бінокляр і проводити відімкнений (у момент розплавлений) рубильника, вести записи і проводити підготовку чергової проби шлаку. Той, хто спостерігає, підганяє бінокляр відповідно своєму зору і проводить фокусування пластинки. Щипцями відколюється найдрібніший уламок проби шлаку (над скляною пластинкою). Слід звернути увагу на те, щоб розмір кусочка шлаку був можливо меншим. В цьому випадку результат визначення температури плавлення шлаку буде точнішим, оскільки температури пластинки і проби будуть практично однаковими [8].

Визначення температури плавлення шлаку виконується таким чином. Кусочок шлаку укладається в центр пластинки, вводяться повністю реостати, включається рубильник. Регулюючим реостатом поступово вводиться опір і тим самим збільшується сила струму в ланцюзі. Пластинка мікропечі при цьому розжарюватиметься [8].

Підвищення температури можна проводити порівняно швидко до 1200 °С і потім дуже повільно, обережно, без ривків, в протилежному разі можна перепалити пластинку.

Швидкість нагріву пластинки по гальванометру повинна бути не більше 25° на секунду, для цього швидкість виведення реостата весь час орієнтується по показанням гальванометра. Той, хто спостерігає в бінокляр, стежить за нагрівом проби. В мить, коли кусочок шлаку розплавляється в «калюжку», той, хто спостерігає, дає команду «вимір» і одночасно вимикає рубильник 4. Температура по гальванометру у момент виміру береться за температуру плавлення шлаку [8].

Після того, як пластинка остигне, з неї зчищається залишок шлаку від попереднього визначення, пластинка протирається ваткою, змоченою в кислоті, і установка готова до наступного визначення.

Результати представляємо у формі зведеної таблиці:

№ проби	Аналіз шлаку, %						Температура плавлення в мікропечі, °С	Примітка
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	FeO		

В кінці роботи наводяться висновки по суті роботи та будується графік залежності температури плавлення шлаку від вмісту MgO для різних діапазонів вмісту оксиду алюмінію.

2.3 Дослідження впливу різноманітних умов на формування зони циркуляції в доменній печі

Мета роботи

1. Ознайомитись із особливостями вдування дуття в фурми доменної печі.
2. Визначити вплив технологічних параметрів на форму та розміри зони циркуляції в доменній печі.

Загальні відомості

Однією з найважливіших умов успішної роботи доменної печі є узгодження роботи сурми з умовами завантаження і розподілом матеріалів на колошнику. Узгодженням розподілу матеріалів на колошнику з роботою фурм можна добитися максимального використання енергії газів, що приведе до зниження питомої витрати палива і збільшення продуктивності доменної печі [8].

Від кількості фурм залежить взаєморозташування зон горіння, співвідношення між площею окислювальних і відновлювальних зон, що у свою чергу впливають на характер руху шихти, газодинамічні умови і, в кінцевому рахунку, на техніко-економічні показники роботи печі.

Оскільки на печі, що діє, кількість фурм постійна, то як регулююча дія на розподіл газового потоку є зміна параметрів повітряних фурм (діаметра, висуву, кута нахилу). Зменшення діаметра фурм при постійній кількості дуття збільшує швидкість дуття і, як наслідок, викликає збільшення розмірів зон циркуляції і віддалення всіх характерних точок зони від торця фурми. Збільшення діаметра фурм приводить до зменшення зон циркуляції. Ця обставина пов'язана з кінетичною енергією дуття тієї, що враховує як масу, так і швидкість газового потоку. Чим більше кінетична енергія дуття, тим довжина зони циркуляції більша [8].

Висув фурм, як правило, вибирається з умов стійкості футеровки сурми і практично для кожної доменної печі залишається постійним. Із збільшенням висуву фурм довжина зони циркуляції в більшості випадків скорочується при будь-яких діаметрах фурм. При великому висуві фурм зона циркуляції пересувається до центра сурми. Такий вплив висуву вказує на неефективність зміни даного параметра при регулюванні процесів в сурмі доменної печі [8].

Ефективнішим способом регулювання параметрів зон циркуляції є зміна кута нахилу фурм. Змінюючи кут нахилу фурм, при незмінних параметрах дуття і фурм, представляється можливим змінити форму зон циркуляції при незмінних її розмірах.

Опис установки

Схема установки для визначення впливу діаметра фурм, їх висуву і кута нахилу на розміри зон циркуляції представлена на рисунку 2.4.

Ємкість, в яку завантажуються шихта, виконана з прозорого матеріалу у вигляді сектора нижньої частини доменної печі, встановленого на стенд 1. Зовнішня частина сектора обмежена стінками горна 2, заплечиків 4, розпару 5, шахти 6, а також двома плоскими вертикальними стінками 7. Повітря в модель подається через дві суміжні фурми 3, встановлені в стінці горна. Кількість повітря контролюється ротаметрами 8, а регулюється вентилями 9, встановленими на повітропроводі 10, що йде від компресора 11. Для визначення розмірів зон циркуляції на вертикальних стінках моделі нанесена вимірвальна сітка 12 [8].

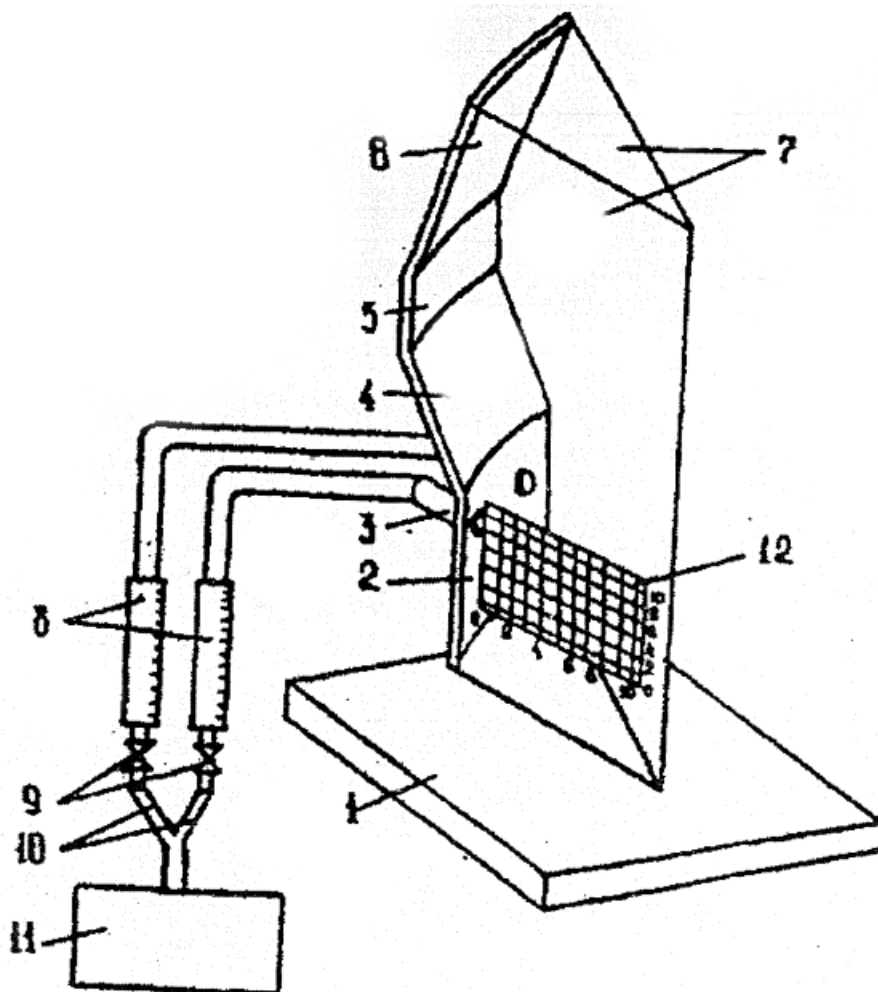



Рисунок 2.4 - Установка для дослідження зон циркуляції

Порядок виконання роботи

Визначення впливу діаметра фурм

Для проведення дослідів береться кокс величиною 5 - 7 мм і завантажуються в модель (рис.2.4) Перед завантаженням коксу встановлюються фурми мінімального діаметра ($b = 10$ мм). Потім в модель через фурми подається повітря в такій кількості, при якій утворюються зони циркуляції. Через 1-2 хвилини з моменту подачі повітря



необхідно провести вимір зон циркуляції за допомогою координатної сітки або лінійки. Провівши вимір, необхідно відзначити, яка кількість повітря при цьому подавалася, після чого подачу повітря припинити і замість фурм діаметром 10 мм встановити фурми діаметром 15, 20 і 25 мм. Кожен подальший дослід проводити з тією ж витратою повітря, що і перший дослід [8].

Визначення впливу висуву фурм

Для проведення цього дослідження, як і в першому випадку, в модель встановлюється фурма будь-якого діаметра (10 - 20 мм), але при мінімальному її висуву - 10 мм. Потім в модель подається повітря і проводиться вимір зони циркуляції, а також максимальне видалення зони циркуляції від стінки сурми. Одночасно реєструється витрата повітря. Подальші дослідження проводяться на вибраному для першого дослідження діаметрі фурм і витраті повітря, але при висуві фурми, що дорівнює 15, 20 і 25 мм [8].

Визначення впливу витрати повітря

Для дослідження в модель вставляється фурма будь-якого діаметру (10-20 мм), висув фурми - 10 мм. Потім в модель подається повітря у кількості, достатнього для утворення зони циркуляції. Фіксуються витрата повітря та розміри зони циркуляції. Збільшуємо витрату повітря і фіксуємо нові параметри зони циркуляції [8].

Результат вимірювань вносяться в таблицю:

Діаметр фурми, мм	Висув фурми, мм	Витрата дуття, л/хв	Ширина зони циркуляції, мм	Висота зони циркуляції, мм

За результатами дослідів будуються графіки залежності довжини і ширини зони циркуляції від досліджуваних параметрів.

3. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Індивідуальні завдання це підготовані самостійно студентом повідомлення на одну з запропонованих тем та оформлені як реферат. Перелік тем повідомляється на початку змістовного модуля.

Номери тем для виконання індивідуального завдання студент обирає з переліку тем наведених у пунктах 3.1 та 3.2 у відповідності до його номеру за списком студентської групи.

За потреби в роботі надаються відповідні до завдання схеми, малюнки, таблиці та розрахунки. Обсяг індивідуальної роботи має складати не менше 10 сторінок комп'ютерного тексту. Виконане індивідуальне завдання містить титульну сторінку, зміст, перелік використаних літературних джерел. Індивідуальна робота має бути надруковано шрифтом Arial 14 розміру з інтервалом 1,5. Оформлення роботи проводиться відповідно до ДСТУ 3008:2015.

Мінімальна оцінка за підготовку індивідуального завдання 50 % від максимальної кількості балів передбачених за виконання індивідуального завдання; ще до 50 % від максимальної кількості балів студент отримує за виступ на семінарському занятті. Під час виступу оцінюється рівень підготовки, глибина розглянутої теми, логічність побудови розповіді, відповіді на питання, які можуть бути задані.

3.1 Варіанти тем для індивідуального завдання 1

1. Особливості організації руху матеріалів і газів в доменній печі. Вплив технологічних параметрів на газопроникність стовпа матеріалів в доменній печі.

2. Схеми завантаження шихтових матеріалів у піч. Закономірності сипання та розподіл матеріалів на колошнику.

3. Закономірності теплообміну в доменній печі. Вплив різних факторів на характер розподілу температур в об'ємі стовпа шихти.


4. Утворення та властивості шлаку. Вплив кількості і властивостей шлаку на роботу доменної печі.

5. Особливості процесів відновлення в доменній печі. Порівняння прямого і непрямого відновлення заліза.

6. Закономірності відновлення різних хімічних елементів у доменній печі. Ступень і характер відновлення різних домішок чавуну в доменній печі. Види чавунів та феросплавів, що виплавляються в доменних печах.

7. Основні фізико-хімічні процеси, що протікають в горні доменної печі.

8. Закономірності десульфурзації чавуну в доменній печі. Фактори, що визначають ефективність десульфурзації чавуну в доменній печі.



9. Етапи розвитку доменного виробництва. Оцінка впливу напрацьованих технологійних рішень на показники доменного процесу.

10. Основні вимоги до шихтових матеріалів доменної плавки. Характеристика окремих шихтових матеріалів. Існуючі та перспективні замітники залізорудних матеріалів та палива для доменної плавки.

3.2 Варіанти тем для індивідуального завдання 2

1. Підвищення техніко-економічних показників доменного виробництва за рахунок збільшення температури дуття. Оцініть максимальну температуру дуття для сучасних доменних печей з урахуванням витрат та складнощів при надвисокому нагріві дуття.

2. Підвищення техніко-економічних доменного виробництва за рахунок покращання якості коксу. Вимоги до якості коксу при вдування 200 та більше кг пиловугільного палива на 1 т чавуну.

3. Підвищення техніко-економічних доменного виробництва за рахунок покращання якості залізорудних матеріалів. Сформулюйте вимоги до залізорудних матеріалів при роботі доменної печі з високою витратою пиловугільного палива.

4. Збільшення кампанії доменної печі за рахунок підвищення терміну служби вогнетривкої кладки горну та лещаді. Оцінити вплив на стійкість футерування лещаді свинцю та інших шкідливих домішок.

5. Ефективне формування гарнісажу в доменній печі при використанні різних систем охолодження. Оцінити вплив технологічних факторів, в тому числі вдування пиловугільного палива, на роботу систем охолодження та формування гарнісажу.

6. Зниження витрат коксу при виробництві чавуну за рахунок використанні інших видів палив. Порівняння ефективності заміни коксу різних палив.

7. Підвищення ефективності розподілу газового потоку в доменній печі використанні завантажувальних пристроїв різних типів. Особливості розподілу матеріалів на печах різного об'єму та при вдування пиловугільного палива.

8. Утилізація залишкової енергії колошникового газу при застосування мокрої та сухої систем газоочищення. Підвищенні ефективності утилізації залишкової енергії газів.

9. Організація ефективної роботи доменної печі при вдуванні пиловугільного палива. Заходи для зменшення негативного впливу на роботу доменної печі від вдування великої кількості пиловугільного палива.

10. Покращення умов роботи на ливарному дворі. Підвищення стійкості футерування жолобів та ефективності закриття чавунної льотки.



ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лялюк В. П. Теорія і технологія доменної плавки : навч. посіб. Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д. О., 2020. 516 с
2. Dian Z. C. Blast furnace production of technical manuals. Metallurgical Industry Press Pub, 1991. 881 p.
3. Johnson J. E. The Principles Operation and Products of the Blast Furnace. Forgotten Books, 2018. 577 p.
4. Лялюк В. П., Товаровський Й. Г., Кассім Д. О., Ляхова І. А. Теоретичні і практичні основи використання кускового антрациту в доменній плавці. Кривий Ріг : Дионат, 2016. 312 с.
5. Коксозамінні технології в доменній плавці : монографія / В. П. Лялюк та ін. Дніпропетровськ : Пороги, 2006. 276 с.
6. Bose S. K., Roy S. K. Principles of Metallurgical Thermodynamics. Universities Press, 2014. 750 p.
7. Основи металургійного виробництва металів і сплавів : підручник / Д. Ф. Чернега та ін. Київ : Вища школа, 2006. 503 с.
8. Ковшов В.М., Чістяков В.Г. Методичний посібник для самостійної роботи студентів з дисципліни "Дослідження за фахом" за спеціальністю 7.050401 „Металургія чорних металів”. Днепропетровськ. НМетАУ. 2012. 39 с. http://nmetau.edu.ua/file/dosl.za_fah.ukr.doc



Навчально-методичне видання

**Бойко Максим Миколайович
Реков Юрій Васильович
Ягольник Максим Вікторович
Стоянов Олександр Миколайович**

МЕТАЛУРГІЯ ЧАВУНУ:

**методичні рекомендації
до виконання практичних та лабораторних робіт**

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції