


**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ПОЗАДОМЕННОЇ ОБРОБКИ ЧАВУНУ**

методичні вказівки до виконання
практичних робіт та індивідуальних завдань
для студентів спеціальності 136 Металургія
усіх форм навчання
другого (магістерського) рівня вищої освіти

*Рекомендовано Науково-методичною
радою ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 1 від «8» вересня 2023 р
Обов'язково до розміщення в репозитарії*

Запоріжжя 2023



Енергоефективні технології позадоменної обробки чавуну методичні вказівки до виконання практичних робіт та індивідуальних завдань для здобувачів за освітньо-професійною програмою другого (магістерського) рівня спеціальності 136 – металургія / Укл.: Стоянов О.М., Малій Х.В., Запоріжжя, ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2023.


Викладено методичні вказівки до дисципліни «Енергоефективні технології позадоменної обробки чавуну» наведено методичні вказівки для виконання практичних завдань.

Призначені для студентів спеціальності 136 – металургія (магістерський рівень).

Самостійне електронне текстове мережеве видання

Затверджено на засіданні кафедри
металургії, матеріалознавства
та організації виробництва
Протокол № 1 від «28» серпня 2023 р.

Узгоджено:
Секретар Редакційної ради


Малій Х. В.
«29 » серпня 2023 р.

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2023



ЗМІСТ

Практична робота №1	
Енерго-технологічне моделювання процесу десульфурації чавуну	4
Практична робота №2	
Розрахунок матеріаловитрат при десіліконізації чавуну	8
Практична робота №3	
Розрахунок енергоємності чавуну при дефосфорації	12
Практична робота №4	
Аналітичні дослідження інноваційних технологій рафінування чавуну	14
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	15
ДОДАТКИ	16



Практична робота №1 Енерго-технологічне моделювання процесу десульфурзації чавуну

Мета роботи: визначення витрати реагентів і енергоємності обробки для досягнення заданого вмісту в чавуні.

Теоретичні положення

Основними задачами позапічної обробки чавуну є десиліконізація, дефосфорація і десульфурізація. Через відмінність умов протікання цих процесів їх зазвичай здійснюють на різних установках. Але існують і технології, що забезпечують одночасне видалення цих домішок. Найбільше поширення одержала технологія позапічної десульфурізації чавуну.

Десульфурізація чавуну. Зниження вмісту сірки в чавуні на випуску з доменної печі досягають зниженням витрати коксу, використовуючи багату на залізо флюсовану шихту, використанням природного газу і високо нагрітого дуття, зменшують вміст сірки у коксі та видаляють сірку з руд при окискуванні. Умовами протікання десульфурізації є високі температура розплаву і основність шлаку та низька окисленість шлаку. У якості реагентів десульфураторів використовують магній, матеріали, що містять кальцій, соду і марганець. Ефективність реагентів збільшується у наступній послідовності: сода, карбід кальцію, вапно, магній. Високий ступінь засвоєння магнію досягається шляхом використання наступних технологій:

- 1) Вдування гранульованого магнію у струмені природного газу;
- 2) Подача вглиб металу суміші магнію і матеріалів, що містять кальцій у струмені азоту або повітря.
- 3) Вдування гранульованого магнію пасивованого солями (NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 і KCl) у струмені азоту або повітря.
- 4) Введення порошкового дроту, який містить наповнювач з суміші магнію та інших компонентів.
- 5) Використання магнококсу-реагенту, у формі шматків коксу насичених магнієм.

До матеріалів, що містять кальцій, відносять вапно, вапняк, карбід кальцію та їх суміші, наприклад діамідне вапно **CaD** ($\text{CaC}_2:\text{CaCO}_3=60:40$). При введенні тугоплавких реагентів (вапна, карбіда кальцію та їх сумішей) необхідні спеціальні заходи, щодо їх перемішування.

Використання для десульфурізації соди вимагає встановлення спеціальних стендів з газоуловлюванням і газоочисткою.

Методика проведення роботи

Порядок виконання комп'ютерного моделювання десульфурзації

- 1) З додатку А студенти переносять вихідні данні (хімічний склад, температуру і масу чавуну) для моделювання в програму;
- 2) Розраховують вручну кінцевий вміст сірки в чавуні при ступені десульфурзації 50, 60, 70, 80, 90 %. Розраховану концентрацію домішок заносять в таблиці 1 і 2.

$$S_{кін} = S_{поч} - (\delta_S \cdot S_{поч} / 100)$$

Таблиця 1


Витрата реагенту для десульфурзації чавуну

$S_{поч}, \%$	$S_{кін}, \%$	$\delta_S, \%$	Витрата реагенту, кг/т				
			гранульований магній	Магній і вапно	карбід кальцію	магнієвий дріт	сода
		50					
		60					
		70					
		80					
		90					

Таблиця 2

Падіння температури чавуну після обробки

$S_{поч}, \%$	$S_{кін}, \%$	$\delta_S, \%$	Падіння температури чавуну після обробки, °C				
			гранульований магній	вапно	магній та вапно	магнієвий дріт	сода
		50					
		60					
		70					
		80					
		90					



3) Виконують моделювання десульфурації чавуну запропонованими реагентами, змінюючи кінцевий вміст сірки в чавуні відповідно до розрахованого в табл. 1 і 2.

4) Для сталої величини ступеня десульфурації чавуну 80 % визначають загальну витрату суміші реагентів із різною масовою часткою компонентів в ній. Результати записують у формі потрійної діаграми (рис. 1). У округлених прямокутниках вказують витрату реагентів, що відповідає кожному варіанту хімічного складу суміші. Після цього біля кожної сторони великого трикутника та на кожній стороні маленьких трикутничків проставляють стрілки, направлені в бік зменшення питомої витрати суміші.

5) За результатами моделювання процесу десульфурації (див. табл. 1) будують графіки залежності:

- кінцевого вмісту сірки в чавуні від витрати реагентів (табл. 1);
- кінцевого вмісту сірки в чавуні від зменшення температури (табл. 2)
- зменшення температури чавуну після обробки від кінцевого вмісту сірки в чавуні;
- приросту енергоємності від кінцевого вмісту сірки в чавуні.

Зміст звіту з виконаної роботи:

- назва, мета і матеріали та обладнання для проведення лабораторної роботи;
- основні теоретичні положення з позапічного рафінування чавуну (3-6 сторінок зошиту);
- таблицю з вихідними даними (хімічний склад, температура і маса чавуну перед обробкою);
- таблиці 1-2 з результатами моделювання процесів позапічної обробки чавуну та потрійні діаграми (рис. 1) із результатами моделювання;
- графіки залежностей перелічені вище;
- висновки стосовно ефективності використання реагентів та режимів обробки для позапічного рафінування чавуну.

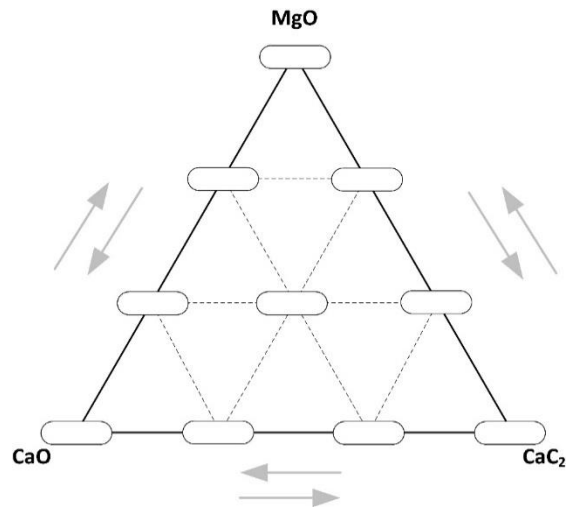


Рис. 1. Потрійна діаграма питомої витрати реагентів-десульфураторів



Практична робота №2

Розрахунок матеріаловитрат при десиліконізації чавуну

Мета роботи: визначення витрати реагентів і зміни енергоємності для досягнення заданого вмісту кремнію в чавуні.

Теоретичні положення

Десиліконізація чавуну. Виконується з метою зменшення вмісту кремнію в чавуні, що призводить до зменшення витрати вапна і, відповідно, маси шлаку (до 2÷4%) у конвертерній плавці. Для обробки використовують матеріали, що містять кисень: залізну руду, агломерат, окалину, які вдувають у струмені азоту повітря чи кисню. Витрата реагенту коливається в межах 10÷45 кг/т чавуну. При десиліконізації важливо вводити реагенти таким чином, щоб запобігти окисненню вуглецю. Це досягається введенням реагентів у глиб розплаву, де умови протікання реакції окислення вуглецю стрімко погіршуються.

Методика проведення роботи

Порядок виконання комп'ютерного моделювання десиліконізації і дефосфорації чавуну

- 1) З додатку Б студенти переносять вихідні данні (хімічний склад, температуру і масу чавуну) для моделювання в програму;
- 2) Розраховують вручну кінцевий вміст кремнію та фосфору в чавуні при ступені десиліконізації 10, 20, 30, 40, 50 %. Розраховані концентрації домішок заносять в таблиці 3-4.
- 3) Виконують моделювання десиліконізації чавуну, змінюючи кінцевий вміст кремнію в чавуні відповідно до розрахованого в табл. 3-4. Для цього у лівому віконці **«Десиліконізація чавуну»** натискають кнопку із назвою відповідного реагенту. Результати (витрати реагентів та збільшення температури чавуну) записують в табл. 3-4. Після цього натискають кнопку **«Очистити»** і натискають кнопку з назвою наступного реагенту. Моделювання повторюють для всіх реагентів і кожного кінцевого вмісту кремнію в чавуні.

Таблиця 3

Витрата реагентів для десиліконізації

Si _{поч} , %	Si _{кін} , %	δ _{Si} , %	Витрата реагентів, кг/т чавуну		
			Окалина	Агломерат	Сода
		10			
		20			
		30			
		40			
		50			

4) Для ступеня десиліконізації 50% виконують моделювання обробки чавуну сумішшю з різним співвідношенням компонентів, занотовуючи її витрату і величину збільшення температури чавуну у потрібну діаграму, що зображена на рис. 2. Для спрощення аналізу результатів моделювання бажано вносити значення двох досліджуваних показників у дві окремі діаграми.

Таблиця 4

Змінення температури чавуну після десиліконізації

Si _{поч} , %	Si _{кін} , %	δ _{Si} , %	Збільшення температури чавуну після обробки реагентом, °C		
			Окалина	Агломерат	Сода
		10			
		20			
		30			
		40			
		50			

5) За даними рис. 2 визначають найбільш ефективний серед розглянутих варіант суміші.

6) Для ступеня десиліконізації 50% виконують моделювання обробки чавуну окалиною, агломератом та содою при використанні різного газу-носія (азот, повітря та кисень). Визначають найбільш ефективний газ-носії. Результати моделювання записують в табл. 5.

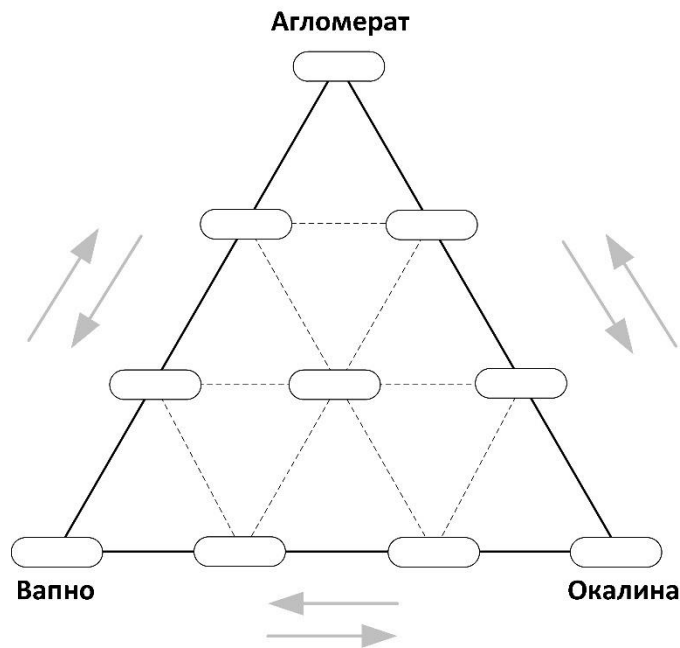


Рис. 2. Результати моделювання процесу десиліконізації чавуну сумішами із різним хімічним складом

Таблиця 5

Витрата реагентів при використанні різного газу-носія


Реагент	Газ-носіє		
	азот	повітря	кисень
Окалина			
Агломерат			
Сода			

7) Для ступеня десиліконізації 50% виконують моделювання обробки чавуну окалиною, агломератом та содою при використанні найбільш ефективного газу-носія. Питому витрату останнього змінюють в межах 0,3-0,7 з кроком 0,1 м³/т. Результати моделювання записують в табл. 6.

Таблиця 6

Витрата реагентів при різній питомій витраті газу-носія

Питома витрата газу-носія, м ³ /т	Витрата реагентів, кг/т чавуну		
	Окалина	Агломерат	Суміш
0,3			
0,4			
0,5			
0,6			
0,7			



8) За результатами моделювання процесів десиліконізації і дефосфорації будують графіки залежності:

- кінцевого вмісту кремнію в чавуні від витрати реагентів;
- збільшення температури чавуну від кінцевого вмісту кремнію в чавуні;
- стовпчасту діаграму витрати реагентів для десиліконізації чавуну при використанні різного газу-носія;
- витрати різних реагентів від питомої витрати газу-носія на обробку.

Зміст звіту з виконаної роботи:

- назва, мета і матеріали та обладнання для проведення лабораторної роботи;
- основні теоретичні положення з позапічного рафінування чавуну (1-6 сторінок зошиту);
- таблицю з вихідними даними (хімічний склад, температура і маса чавуну перед обробкою);
- таблиці 3-6 з результатами моделювання процесів позапічної обробки чавуну та потрібні діаграми (рис. 2) із результатами моделювання;
- Висновки по роботі.



Практична робота №3 Розрахунок енергоємності чавуну при дефосфорації

Мета роботи: визначення витрати реагентів і зміни енергоємності для досягнення заданого вмісту фосфору в чавуні.

Теоретичні положення

Дефосфорація чавуну. Отримання низького вмісту фосфору в доменній печі можливо лише використанням шихти із низьким вмістом фосфору. Умовами протікання реакції дефосфорації є низька температура розплаву і висока основність та окисленість шлаку. Ці умови досягаються шляхом використання матеріалів, що містять вапно і оксиди заліза та соду. Зазвичай використовують суміші реагентів окалини, вапна і плавикового шпату у співвідношенні 10:9:1. Їх витрата складає до 50 кг/т чавуну. Щоб уникнути помітних тепловтрат при обробці порошкоподібні матеріали вдувають у струмені кисню з інтенсивністю 10÷20 л/хв. Також можливе використання азоту. Ефективність дефосфорації суттєво збільшується при обробці попередньо знекремленого чавуну.

Методика проведення роботи


Порядок виконання комп'ютерного моделювання дефосфорації чавуну

- 1) З додатку В студенти переносять вихідні данні (хімічний склад, температуру і масу чавуну) для моделювання в програму (Лист «DSi_DP»);
- 2) Розраховують вручну кінцевий вміст фосфору в чавуні при ступені дефосфорації 30, 35, 40, 45, 50 %.
- 3) Виконують моделювання дефосфорації чавуну, змінюючи кінцевий вміст фосфору в чавуні відповідно до розрахованого в табл. 7, і заново вивчають витрату суміші та приріст енергоємності чавуну.

Таблиця 7

Результати обробки для досягнення різного ступеня дефосфорації

$P_{\text{поч}}, \%$	$P_{\text{кін}}, \%$	$\delta_P, \%$	Витрата суміші, кг/т	Приріст енергоємності чавуну, МДж/т
		10		
		20		
		30		
		40		
		50		



4) За результатами моделювання процесів дефосфорації будуть графіки залежності:

- витрати суміші для дефосфорації від кінцевого вмісту фосфору в чавуні (див. табл. 7);

- приросту енергоємності чавуну після обробки від кінцевого вмісту фосфору в чавуні (див. табл. 7).

Зміст звіту з виконаної роботи:


- назва, мета і матеріали та обладнання для проведення лабораторної роботи;

- основні теоретичні положення з позапічного рафінування чавуну;

- таблицю з вихідними даними (хімічний склад, температура і маса чавуну перед обробкою);

- таблиці 1 з результатами моделювання процесів позапічної обробки чавуну та графіки із результатами моделювання;

- Висновки по роботі.



Практична робота №4

Аналітичні дослідження інноваційних технологій рафінування чавуну

Мета роботи: проведення аналітичних досліджень у напрямку сучасних технологій поза доменної обробки чавуну

Методика проведення роботи

Відповідно до теми (назва роботи) необхідно самостійно знайти літературні джерела у якому наведені відомості з цієї теми у вигляді аналізу статей у журналах.

Для того, щоб отримати оцінку "задовільно", треба знайти одну статтю,

"добре" – 3-4, "відмінно" – більше п'яти статей з теми завдання.

Практична робота з конспектом статей з наведенням основних тез наукового пошуку, малюнків, що ілюструють ці тези, висновки автора (авторів), У випадку, коли розглядається декілька статей, необхідно після наведення відомостей про кожну окремо порівняти їх. Особливо цінується думка автора відносно наведеного.

Практична робота викладається на папері і містить слідуючі розділи:

- титульний лист з назвою завдання, ПІБ автора та шифром групи;
- перший розділ, який називається "Результати дослідження питання", містить конспекти статей, що використані;
- другий розділ "Аналіз результатів", що містить порівняльний аналіз автора реферату, його думки відносно наведеного і розрахунки відповідно до завдань. Вдала думка може підвищити оцінку проти тієї, що визначається кількістю наведенні статей;
- третій розділ "Література", у якому під номерами 1,2,3 наведені відомості про статті, що реферовані, у вигляді: прізвища та ініціали перших трьох авторів, назва статті, назва журналу, де надрукована стаття, рік видання, номер журналу, сторінки, на яких надрукована стаття.

Рекомендується здійснювати пошук статті слідуючим чином. У монографіях, що наведені у списку літератури та інших, продивитись відповідний розділ і знайти посилання на статті, у яких викладено питання, а потім проробити ці статті.

Оформлюється практична робота згідно норм ЄСКД. Структура: титульний лист, текст на українській мові, з схемами і рисунками обладнання, перелік посилань на літературу. Захист на семінарі.



ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.worldsteel.org/>
2. Металургія сталі. Конвертерне виробництво: теорія, технологія, якість металу, конструкція агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія / О.Г. Величко, Б.М. Бойченко, П.С. Харлашин, М.Є. Нехаєв [и др.]. – Д.: РВА «Дніпро-VAL», 2015. – 434 с.
3. Технології підвищення якості сталі / О.Г. Величко, О.М. Стоянов, Б.М. Бойченко, К.Г. Нізяєв. – Дніпропетровськ: Середняк Т.К., 2016. – 196 с.

Вихідні дані до практичної роботи 1

№ з/п	C	Si	Mn	S	P	t, °C	Вага, т
1	3,9	0,53	0,27	0,036	0,13	1398	202
2	4,5	0,5	0,28	0,04	0,1	1263	48
3	4	0,49	0,65	0,036	0,1	1386	160
4	4,4	0,46	0,52	0,022	0,11	1271	80
5	4,5	0,59	0,44	0,021	0,15	1368	232
6	4,2	0,61	0,23	0,023	0,13	1273	114
7	3,9	0,67	0,38	0,043	0,13	1270	234
8	4,4	0,69	0,7	0,023	0,14	1382	255
9	4	0,51	0,25	0,033	0,11	1305	62
10	4,5	0,39	0,36	0,037	0,12	1268	80
11	4	0,49	0,76	0,043	0,13	1378	50
12	4,5	0,64	0,68	0,04	0,12	1274	122
13	4,3	0,4	0,52	0,024	0,12	1355	246
14	3,9	0,42	0,66	0,041	0,15	1337	75
15	4,4	0,59	0,7	0,039	0,1	1284	117
16	4	0,49	0,72	0,042	0,11	1386	152
17	3,9	0,47	0,45	0,037	0,12	1321	144
18	4,2	0,36	0,37	0,031	0,1	1252	250
19	4,5	0,5	0,8	0,024	0,1	1356	231
20	4,2	0,42	0,61	0,038	0,1	1310	250

Вихідні дані до практичної роботи 2

№ з/п	C	Si	Mn	S	P	t, °C	Вага, т
1	3,9	0,53	0,27	0,036	0,13	1398	202
2	4,5	0,5	0,28	0,04	0,1	1263	48
3	4	0,49	0,65	0,036	0,1	1386	160
4	4,4	0,46	0,52	0,022	0,11	1271	80
5	4,5	0,59	0,44	0,021	0,15	1368	232
6	4,2	0,61	0,23	0,023	0,13	1273	114
7	3,9	0,67	0,38	0,043	0,13	1270	234
8	4,4	0,69	0,7	0,023	0,14	1382	255
9	4	0,51	0,25	0,033	0,11	1305	62
10	4,5	0,39	0,36	0,037	0,12	1268	80
11	4	0,49	0,76	0,043	0,13	1378	50
12	4,5	0,64	0,68	0,04	0,12	1274	122
13	4,3	0,4	0,52	0,024	0,12	1355	246
14	3,9	0,42	0,66	0,041	0,15	1337	75
15	4,4	0,59	0,7	0,039	0,1	1284	117
16	4	0,49	0,72	0,042	0,11	1386	152
17	3,9	0,47	0,45	0,037	0,12	1321	144
18	4,2	0,36	0,37	0,031	0,1	1252	250
19	4,5	0,5	0,8	0,024	0,1	1356	231
20	4,2	0,42	0,61	0,038	0,1	1310	250

Вихідні дані до практичної роботи 3

№ з/п	C	Si	Mn	S	P	t, °C	Вага, т
1	3,9	0,53	0,27	0,036	0,13	1398	202
2	4,5	0,5	0,28	0,04	0,1	1263	48
3	4	0,49	0,65	0,036	0,1	1386	160
4	4,4	0,46	0,52	0,022	0,11	1271	80
5	4,5	0,59	0,44	0,021	0,15	1368	232
6	4,2	0,61	0,23	0,023	0,13	1273	114
7	3,9	0,67	0,38	0,043	0,13	1270	234
8	4,4	0,69	0,7	0,023	0,14	1382	255
9	4	0,51	0,25	0,033	0,11	1305	62
10	4,5	0,39	0,36	0,037	0,12	1268	80
11	4	0,49	0,76	0,043	0,13	1378	50
12	4,5	0,64	0,68	0,04	0,12	1274	122
13	4,3	0,4	0,52	0,024	0,12	1355	246
14	3,9	0,42	0,66	0,041	0,15	1337	75
15	4,4	0,59	0,7	0,039	0,1	1284	117
16	4	0,49	0,72	0,042	0,11	1386	152
17	3,9	0,47	0,45	0,037	0,12	1321	144
18	4,2	0,36	0,37	0,031	0,1	1252	250
19	4,5	0,5	0,8	0,024	0,1	1356	231
20	4,2	0,42	0,61	0,038	0,1	1310	250