

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ІНІ/факультет	Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра	Металургійних технологій
Спеціальність	136 – Металургія
Форма навчання	Заочна

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

МАСЛОВ РОМАН МИКОЛАЙОВИЧ

*(прізвище, ім'я, по батькові ідобувача)*

на тему Дослідження ефективності сучасних методів позапічної десульфурзації чавуну та вибір оптимального з метою підвищення ефективності доменної плавки  
*(повна назва теми)*

за матеріалами металургійних підприємств України і Європи  
*(повна назва бази дослідження)*

науковий керівник: д.т.н., професор  Кассім Д.О.  
*(наук. ступінь, вчене звання) (підпис) (прізвище, ініціали)*

**Робота допущена до захисту в ЕК**

Протокол засідання кафедри

від 12.06 2025р. № 12

Завідувач кафедри

  
*(підпис)*

д.т.н., професор

*Наук. ступінь, вчене звання*

Д.О. Кассім

*Ініціали, прізвище*

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
Кафедра металургійних технологій

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)  
Спеціальність 136 – Металургія  
(шифр і назва)

Завідувач кафедри **ЗАТВЕРДЖУЮ**

  
(підпис)

проф. Д.О. Кассім  
(посада, вчене звання,  
прізвище ініціали)

«04» квітня 2025 року

### ЗАВДАННЯ

#### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ(КИ)

МАСЛОВУ РОМАНУ МИКОЛАЙОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра:

Дослідження ефективності сучасних методів позапічної десульфуратії чавуну та вибір оптимального з метою підвищення ефективності доменної плавки

керівник кваліфікаційної роботи Кассім Дар'я Олександрівна, д.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «04» квітня 2025 № 241-ст

2. Строк подання кваліфікаційної роботи до кафедри 09.06.2025

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра: статті, патенти, промислові дослідження

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. Аналітична частина: проаналізувати закономірності розподілу сірки між шихтою і продуктами плавки в доменній печі; виконати порівняльний аналіз сучасних методів позапічної десульфуратії чавуну







4.2. Основна частина: оцінити ефективність різних методів введення магнію в рідкий чавун; визначити шляхи підвищення ефективності використання магнію для позадоменної десульфуратії чавуну; дослідити технології позапічної десульфуратії чавуну шляхом інжекції «чистого» магнію; обрати раціональну конструкцію фурми для позадоменної десульфуратії чавуну магнієм

4.3. Охорона праці: аналіз шкідливих і небезпечних факторів доменного цеху; розробка заходів щодо усунення шкідливих і небезпечних факторів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових

креслень): графічний матеріал повинен в повній мірі відповідати темі диплому та відобразити його суть та запропоновані проектні рішення

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Кассім Д.О., професор		
2 Основна частина	Кассім Д.О., професор		
3 Охорона праці	Кассім Д.О., професор		

7. Дата видачі завдання «04» квітня 2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	09.05.2025	
2.	Основна частина	16.05.2025	
3.	Охорона праці	23.05.2025	
4.	Оформлення пояснювальної записки	30.05.2025	
5.	Виконання графічної частини	07.06.2025	
6.	Подання роботи до кафедри	09.06.2025	
7.	Захист роботи в ЕК	19.06.2025	

Студент

Керівник випускної роботи

  
(підпис)  
  
(підпис)

Маслов Р.М.  
(прізвище та ініціали)

Кассім Д.О.  
(прізвище та ініціали)

**ВІДОМІСТЬ** кваліфікаційної роботи бакалавра  
(назва випускної кваліфікаційної роботи)

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	К-сть. лис- тів	№ екз	Примітка
			Документація загальна			
1	A4		Пояснювальна записка	74		
			Слайди			
2	A4	ННПІ ДУЕТ.136.КРБ.01	Розподіл сірки між шихтою і продуктами плавки в доменній печі	1		
3	A4	ННПІ ДУЕТ.136. КРБ.02	Залежність коефіцієнта розподілу сірки від основності шлаків і температури	1		
4	A4	ННПІ ДУЕТ.136. КРБ.03	Недоліки розглянутих методів позалічної десульфурації	1		
5	A4	ННПІ ДУЕТ.136. КРБ.04	Зміна вмісту сірки в чавуні за різної питомої витрати реагенту, що вдувається. Маса чавуну в ковші 70-110 т	1		
6	A4	ННПІ ДУЕТ.136. КРБ.05	Залежність масової частки видаленої з чавуну сірки, засвоєної шлаком, від товщини шару шлаку в ковші	1		
7	A4	ННПІ ДУЕТ.136. КРБ.06	Принципова схема установки десульфурації чавуну вдуванням магнію	1		
8	A4	ННПІ ДУЕТ.136. КРБ.07	Принципові схеми вдування зернистого магнію в ківш із рідким чавуном	1		
9	A4	ННПІ ДУЕТ.136. КРБ.08	Схема обраної конструкції двопотокової занурювальної фурми	1		
10	A4	ННПІ ДУЕТ.136. КРБ.09	Основні промислові параметри модернізованого процесу десульфурації чавуну зернистим або гранульованим магнієм	1		
11	A4	ННПІ ДУЕТ.136. КРБ.10	Техніко-економічні показники доменної печі корисним об'ємом 5000 м <sup>3</sup>	1		

ННПІ ДУЕТ.136.ДП

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата
Розробив		Маслов Р.М.		07.06.25
Керівник		Кассім Д.О.		09.06.25
Н.контр.		Кассім Д.О.		09.06.25
Затв.		Кассім Д.О.		09.06.25

Відомість кваліфікаційної  
роботи бакалавра

Літ.		Лист	Листів
Д	Т	1	1

ННПІ ДУЕТ  
каф. Металургійних технологій  
гр. ЗМЧМ-21

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра – 74 с.,  
рисуноків – 16, таблиць – 2, бібліографічних джерел – 36.

Об'єкт розробки – позапічна десульфуріяція чавуну магнієм.

Мета роботи – підвищення ефективності роботи доменних печей за рахунок оптимізації методів позапічної десульфуріяції чавуну, які б дали змогу поліпшити якість чавуну для подальшої переробки в сталеливарних і чавуноливарних виробництвах.

Метод дослідження та прилади – аналіз промислового досвіду та теоретичних досліджень процесів позапічної обробки чавуну на вітчизняних і зарубіжних заводах, опублікованих у технічній літературі; розробка можливості використання альтернативних десульфуріаційних реагентів, що мали б високу ефективність десульфуріяції за невеликих витрат і забезпечували необхідну якість металу.

Виконаний порівняльний аналіз сучасних методів введення магнію в рідкий чавун показав найбільшу ефективність процесу позапічної обробки чавуну вдуванням магнію без пасивуючих добавок, тобто реалізації найпростішої принципової схеми інжекційної технології. Обрана конструкція двопотокової занурювальної фурми для подачі диспергованого магнію у потоці несучого азоту. При цьому забезпечується витікання газопорошкових струменів у кільцевій оболонці захисного газу (азоту) підігрітого до температури 300-500 °С.

Для діючих доменних печей додатковий економічний ефект може бути отримано завдяки скороченню питомої витрати коксу при виведенні (або скороченні до мінімуму) з шихти сирого вапняку і допущенні збільшення вмісту сірки в чавуні.

ЧАВУН, ПОЗАПІЧНА ОБРОБКА, СІРКА, ДЕСУЛЬФУРАЦІЯ, МАГНІЙ,  
ЧЕРВОНОЛАМКІСТЬ, ЯКІСТЬ МЕТАЛУ, ФУРМА, ВИПАРНИК

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАТИНА	9
1.1 Аналіз закономірностей розподілу сірки між шихтою і продуктами плавки в доменній печі	9
1.2 Основні методи та технологічні рішення позапічної десульфурації чавуну	14
1.2.1 Десульфурація вапном	15
1.2.2 Десульфурація чавуну содою	16
1.2.3 Десульфурація чавуну карбідом кальцію	17
1.2.4 Десульфурація чавуну комплексними реагентами	18
1.2.5 Десульфурація чавуну гранульованим магнієм	21
1.3 Висновки по Аналітичній частині та постановка завдань дослідження	26
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	29
2.1 Оцінка ефективності різних методів введення магнію в рідкий чавун	29
2.2 Шляхи підвищення ефективності використання магнію для позадоменної десульфурації чавуну	35
2.3 Дослідження технології позапічної десульфурації чавуну шляхом інжекції «чистого» магнію	42
2.3.1 Застосування фурми з випарником для вдування магнію у великовантажні ковші	45
2.4 Вибір конструкції фурми для позадоменної десульфурації чавуну магнієм	49
2.5 Оцінка ефективності застосування фурми без випарника для інжектування гранульованого магнію у великовантажні ковші	52
Висновки по Основній частині	57
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	61
3.1 Основні шкідливі та небезпечні фактори в умовах доменного	61

виробництва	
3.2 Заходи щодо зниження впливу шкідливостей і небезпек на робочій ділянці	63
3.2.1 Засоби індивідуального захисту	64
3.3.2 Створення санітарних умов	65
3.4 Пожежна профілактика	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	68
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	71

## ВСТУП

Сучасне металургійне виробництво висуває жорсткі вимоги до якості чавуну, особливо з огляду на його подальше використання у виробництві сталі, а також у литті відповідальних деталей. Однією з найшкідливіших домішок у чавуні є сірка, надлишок якої призводить до крихкості, зниження пластичності та виникнення гарячих тріщин. Тому зменшення вмісту сірки – обов'язковий етап підготовки чавуну до подальшої обробки або переробки.

Позапічна десульфуріяція, тобто видалення сірки з рідкого чавуну за межами доменної печі, набула широкого застосування як високоефективний і гнучкий метод. Завдяки різноманіттю реагентів (магній, вапно, кальцій, комплексні суміші) та вдосконаленим технологічним схемам, сучасні методи позапічної десульфуріяції дозволяють досягати значного зниження вмісту сірки при оптимальних витратах ресурсів.

Метою даної роботи є дослідження ефективності сучасних методів позапічної десульфуріяції чавуну, аналіз їх впливу на якість металу та виробничі показники, а також обґрунтування вибору оптимального методу оптимального методу позапічної десульфуріяції чавуну для підвищення ефективності доменного процесу.

Актуальність теми дослідження зумовлена тим, що ефективна десульфуріяція дозволяє покращити якість чавуну ще до подачі його на сталеплавильні агрегати, зменшуючи потребу в глибокому очищенні сталі. Це скорочує витрати, час плавки та підвищує загальну продуктивність.

Позапічна десульфуріяція, як більш гнучка й контрольована технологія, дозволяє знизити витрати на реагенти, електроенергію та ремонт устаткування в порівнянні з традиційними методами. Крім того важливим є також і екологічний аспект – зниження вмісту сірки у продукції сприяє зменшенню шкідливих викидів у атмосферу, що особливо актуально в умовах посилення екологічних норм і переходу до більш сталого виробництва.

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

Залежність якості чавуну від вмісту шкідливих речовин у шихтових матеріалах – один із ключових чинників, що впливають на властивості кінцевого продукту й ефективність не лише доменного, а і сталеплавильного та прокатного виробництв.

Основними шкідливими домішками в чавуні вважаються сірка і фосфор. Фосфор міститься в усіх шихтових матеріалах доменної плавки. Найбільша його кількість, що досягає іноді 1,2 і навіть 1,5 %, міститься в залізорудних матеріалах. У шихтових матеріалах фосфор міститься переважно у вигляді фосфатів кальцію  $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$  або вівіанату  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ .

В умовах доменної плавки фосфор на 100 % відновлюється і практично повністю переходить до складу чавуну. Зменшити вміст фосфору в умовах доменної плавки неможливо. Єдиний спосіб зменшити вміст цього шкідливого елемента – застосування шихтових матеріалів з низьким вмістом фосфору. Повне відновлення фосфору обумовлюється невеликою хімічною спорідненістю з киснем, наближеною до заліза, яке також відновлюється практично повністю.

Оскільки контролювати вміст фосфору в чавуні в процесі його виплавки не можливо, то головним критерієм, за яким судять про якість отриманого чавуну, є вміст у ньому сірки.

### 1.1 Аналіз закономірностей розподілу сірки між шихтою і продуктами плавки в доменній печі

До доменної печі сірка потрапляє з шихтовими матеріалами. Основна кількість сірки (80-85 %) на заводах України вноситься в печі з коксом, а інша – агломератом, окатишами та іншими компонентами шихти [1]. В агломераті сірка міститься у вигляді  $\text{CaS}$ , у флюсі та руді – у вигляді піриту  $\text{FeS}_2$  і сульфатів  $\text{BaSO}_4$  і  $\text{CaSO}_4$ , у коксі – у вигляді органічних і мінеральних

сполук. Потрапляючи в піч, сірка розподіляється між чавуном, шлаком і газом. У рідкому чавуні може розчинитися до 0,9% сірки, тоді як на випуску її вміст у чавуні не повинен перевищувати 0,03-0,07%.

Сірка, що міститься в агломераті та коксі, по-різному поводить у процесі руху шихти від колошника до горна. В офлюсованому агломераті сірка міцно пов'язана з сульфідом кальцію і може переходити тільки до шлаку під час плавки офлюсованої порожньої породи. Сірка агломерату не може перейти в газову фазу навіть у незначній кількості. Сірка коксу, навпаки, повністю газифікується в доменній печі.

На рисунку 1.1 наведено діаграму розподілу сірки між шихтою і продуктами плавки в доменній печі [6(8),8].

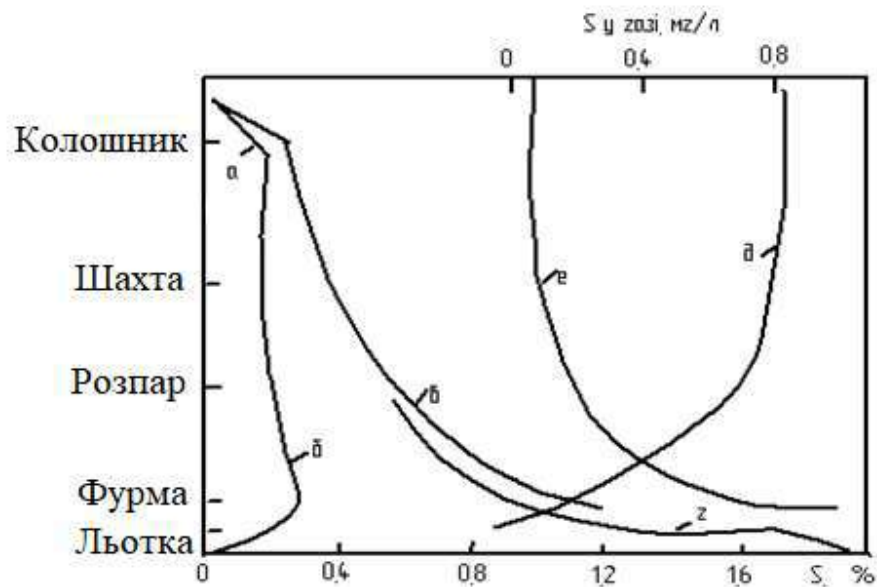


Рис. 1.1. Розподіл сірки між шихтою і продуктами плавки в доменній печі

а — агломерат б — метал; в — флюс; г — шлак д — кокс, е — газ

Як видно з рисунка 1.1, в агломераті (а) і флюсі (в), що завантажуються і опускаються на рівні колошника, вміст сірки збільшується за рахунок поглинання її з газової фази. Значне зниження поглинання сірки агломератом у шахті печі пов'язане з активним ходом насичення заліза вуглецем у цій ділянці. З переходом у рідкий стан металу збільшується поглинання ним

сірки. Під час проходження крапель чавуну через шар шлаку в горні різко збільшується контактна поверхня між FeS із CaO в шлаку, і процес іде у зворотному напрямку – відбувається десульфурація чавуну (див. рис. 1.1, б). На момент приходу кусків коксу в фурменні зони з нього видаляється приблизно половина сірки. Залишок сірки коксу газифікується під час горіння коксу (див. рис. 1.1, е). Отже максимальний перерозподіл сірки між шихтою і продуктами плавки відбувається в нижній частині печі. Дослідження [1] підтвердили, що максимальна концентрація сірки утворюється в горновому газі після завершення процесів горіння коксу.

Між продуктами плавки – чавуном і шлаком - сірка розподіляється не рівномірно [2]. Сірка в шлаку перебуває у вигляді сульфідів CaS, MgS, MnS і FeS. У чавуні вона може перебувати тільки у вигляді FeS. Сульфіди кальцію і магнію в чавуні не розчиняються, а в сульфіді марганцю розчиняється слабо. Співвідношення вмісту сірки в шлаку і чавуні називається коефіцієнтом розподілу сірки між чавуном і шлаком:

$$L_S = \frac{(S)}{[S]}, \quad (1.1)$$

де:  $L_S$  – коефіцієнт розподілу сірки; (S) – вміст сірки в шлаку, %; [S] – вміст сірки в чавуні, %.

Цей коефіцієнт характеризує сіркопоглинальну здатність шлаку.

Для зниження вмісту сірки в чавуні необхідно створити умови, за яких якомога більша кількість сірки буде пов'язана з кальцієм і магнієм, сульфіди яких розчиняються тільки в шлаку. Кількість сірки у вигляді сульфідів різних металів, визначається хімічною міцністю сульфідів та умовами процесу десульфурації. Про хімічну міцність сульфідів судять за хімічною спорідненістю заліза, марганцю, магнію і кальцію до сірки. Найміцнішими є сульфіди кальцію і магнію, але, оскільки в доменному шлаку ці метали у вільному стані бути не можуть, то реакція десульфурації відбувається за рахунок вапна (CaO) і магнезії (MgO).

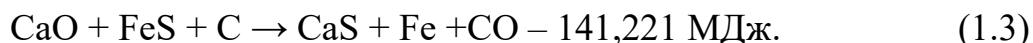
Основною реакцією десульфурації чавуну в доменній печі є реакція взаємодії окису кальцію з сульфідом заліза:



Реакція найбільш інтенсивно протікає під час проходження крапель чавуну через шар шлаку. Для успішного протікання реакції (1.2) необхідними умовами є:

- збільшення основності шлаку  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ;
- зменшення в шлаку вмісту  $\text{FeO}$  внаслідок відновлення його з вугіллям;
- досить високе нагрівання горна, яке б забезпечувало високу рухливість шлаку і витрати тепла на відновлення  $\text{FeO}$  — продукту реакції десульфурації.

Сумарна реакція десульфурації з урахуванням відновлення  $\text{FeO}$  має вигляд:



Аналогічна реакція може протікати і під час взаємодії з магnezією, але значення її в десульфурації чавуну набагато менше порівняно з реакцією (1.3).

Сірка, що міститься в коксі, здебільшого окислюється в фурменній зоні в осередках горіння кисню дуття до  $\text{SO}_2$ , який, піднімаючись угору з газами, відновлюється твердим вуглецем коксу за реакцією:



Елементарна сірка, яка при цьому утворилася, негайно з'єднується із залізом і розчиняється в чавуні. Зазвичай у чавуні залишається незначна

частина сірки, тоді як більша її частина переходить у шлак у вигляді  $\text{CaS}$ ,  $\text{MnS}$ ,  $\text{MgS}$  і  $\text{FeS}$ . Що більша основність шлаку, то більше сірки переходить у шлак. Тому для отримання якісного чавуну необхідно постійно вживати заходів, спрямованих на зменшення вмісту сірки в чавуні, коли більша її частина переходить у шлак і видаляється з колошниковим газом.

Крім основності шлаку на десульфурацію чавуну впливає і температура шлаку. Ці фактори нерозривно пов'язані між собою (рис. 1.2) [2].

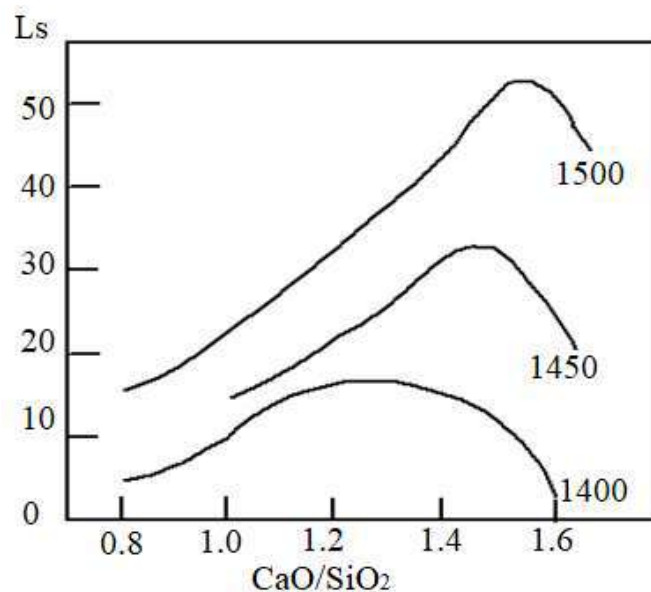


Рис. 1.2. Залежність коефіцієнта розподілу сірки від основності шлаків і температури (цифри біля кривих)

Аналіз рисунка показує, що за підвищеної основності шлаку і недостатньої його температури розчинність сульфідів кальцію і магнію в шлаку знижується, збільшується в'язкість шлаку, погіршуються умови розкислення шлаку (відновлення  $\text{FeO}$ ) і чавун виходить сірчанним. Досить велика температура шлаку, але за низької його основності, сама по собі не може забезпечити отримання чавуну з низьким вмістом сірки. Тому для отримання чавуну з низьким вмістом сірки необхідно, щоб шлак мав оптимальну основність з температурою, яка забезпечувала б хорошу розчинність у шлаку сульфідів кальцію і магнію.

Збільшення вмісту глинозему в шлаку підвищує десульфураційну здатність шлаку тільки за одночасного збільшення основності шлаку. Якщо ж вміст глинозему в шлаку збільшується за незмінної основності, тоді коефіцієнт розподілу сірки зменшується.

Важливою умовою отримання чавуну з низьким вмістом сірки також є тривалість контакту чавуну зі шлаком. Основна частина сірки видаляється з чавуну, коли він у вигляді крапель стікає в горн через шар шлаку. Чим товщий шар шлаку над шаром чавуну, тим довший шлях крапель чавуну в шарі шлаку і то повніша десульфурація чавуну. Після того як чавун і шлак розділяються в горні, десульфурація чавуну шлаком можлива лише на рубежі розділу.

Для поліпшення умов десульфурації чавуну бажано мати над шаром чавуну якомога товщий шар шлаку. Це досягається збільшенням числа випусків і відстані за висотою між чавунною і шлаковою льотками, що дає змогу вести піч без відпрацьовування верхнього шлаку, оскільки його відпрацьовування погіршує умови десульфурації чавуну. На сьогодні випуск продуктів плавки здійснюють через чавунну льотку, що дає змогу забезпечити додаткову десульфурацію чавуну шлаком.

## 1.2 Основні методи та технологічні рішення позапічної десульфурації чавуну

Нині існує багато промислових методів позадоменної десульфурації. Залежно від реагенту, технологічних і технічних рішень до них можна віднести:

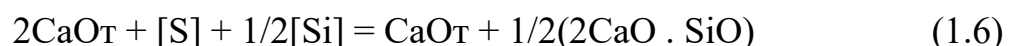
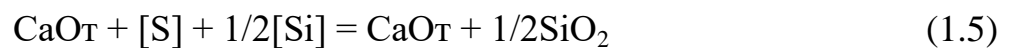
- вдування порошкового вапна та вапновмісних матеріалів;
- вдування кальцинованої соди; вдування карбїду кальцію;
- вдування магнію без добавок і наповнювачів через фурму з «постійним» діаметром каналу;
- застосування порошкового магнієвмісного дроту.

### 1.2.1 Десульфурація вапном

Вапно є найбільш дешевим і, на перший погляд, доступним десульфуратором. У промислових масштабах цей метод позапічної обробки чавуну застосовують у ФРН; у Швеції, застосовуючи при цьому в барабані, що обертаються. У країнах СНД використовували дрібнодисперсне вапно з низьким вмістом  $\text{CaO}_{\text{акт}}$  на «Азовсталі».

Якість вапна як реагенту для обробки чавуну характеризується багатьма показниками, зокрема фізичними властивостями (плинність, кут природного укосу). Погіршення цих параметрів призводить до порушення технологічного процесу: порушується подача реагенту пневмотранспортом, можливі сплески металу з ковша через порушення рівномірності подачі реагенту. Може відбуватися «зависання» реагенту в системі дозування та пневмотранспорту.

Вапно має високу здатність видаляти сірку. Десульфурація протікає за реакціями:



Лімітуючими для реакції десульфурації вапном є вміст  $\text{CaO}_{\text{акт}}$  у вапні і кінетичні умови, насамперед, величина реакційної поверхні частинок вапна. Експериментально доведено, що чим вищий вміст  $\text{CaO}_{\text{акт}}$  і менші частинки вапна, тим вищими є показники десульфурації [3].

Технологічні показники процесу десульфурації залежать від ступеня випалу і вологості вапна. Ступінь випалу вапна виражається через показник «П.П.П.» - втрати маси вапна при прожарюванні. За температури рідкого чавуну вуглекислі солі вапна поганого випалу розкладаються з виділенням вуглекислого газу, що збільшує бурхливість барботажу чавуну і може

призвести до виплеску металу з ковша. Що вищий показник «П.П.П.», то гірша якість вапна.

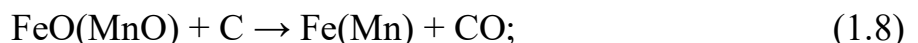
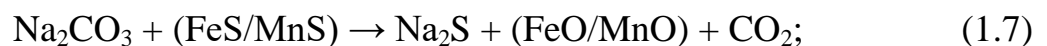
Як виявили дослідження, вапно з великою реакційною здатністю, тобто те, яке краще гідратується, має вищу десульфураційну здатність.

Відповідно до інформації, наведеної в [3, 4], за допомогою вапна вміст сірки можна знизити до 0,010-0,015 %, що супроводжується значними витратами вапна (20 кг/т чавуну і вище), значним падінням температури чавуну на 80-100 °С, утворенням значної кількості додаткового шлаку (понад 4 % від ваги чавуну). Ці недоліки можуть бути знижені за рахунок застосування високоактивного і спеціально підготовленого вапна з вмістом активного окису кальцію в порошку понад 93,0 %.

Однак отримання такого вапна вимагає застосування як вихідної речовини особливо чистих вапняків, якісного випалу їх і спеціальної технології помелу, що в цілому ряді випадків не реалізується.

### 1.2.2 Десульфурація чавуну содою

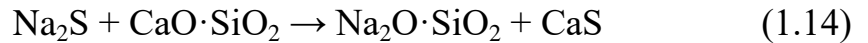
Найбільшого поширення метод десульфурації чавуну содою набув на заводах Західної Європи. У країнах СНД також є досвід використання кальцинованої соди як десульфуратора [5]. Середній ступінь десульфурації содою становить 35-75 %. Видалення сірки за допомогою соди відоме давно. При цьому реакції в металі можуть іти за схемою:



Як видно, домішка вапна є корисною, оскільки тоді прискорюються реакції (1.9) і (1.11), оскільки кремнезем зв'язується в дуже міцну сполуку:



і далі

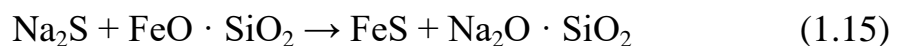


що запобігає поверненню сірки зі шлаку до металу.

Прискорює процес десульфурації і домішка вуглецю, який знижує кількість FeO і MnO в шлаку.

Десульфурація чавуну содою успішніше протікає за надлишку Na<sub>2</sub>O, зниженої температури, додавання соди в рідкому вигляді, унеможливлення потрапляння в зону реакції SiO<sub>2</sub>, за рахунок кислих доменних шлаків, піску, що формується, з канав і кислого футерування ковша. Процес десульфурації протікає активніше в умовах відновної атмосфери. З реакцій (1.9) і (1.11) видно, що в процесі видалення сірки з чавуну одночасно видаляється і кремній. Останнє важливо для подальшого перероблення чавуну на сталь.

Якщо в ковшовому шлаку недостатня кількість Na<sub>2</sub>O і є надлишок FeO і SiO<sub>2</sub>, тоді можливе повернення сірки назад до металу:



Тому шлак із ковша видаляють. Процес цей досить трудомісткий, оскільки шлак видаляють ручними або механічними скребками. Рідше застосовують спеціальні конструкції ковшів, содові вежі тощо.

Під час обробки кальцинованою содою вміст сірки в чавуні знижується майже до 0,005 %; втрати металу зі шлаком незначні, проте втрати температури рідкого чавуну досить великі – 60-100 °С (див. рис. 1.2). Шлаки, що утворюються під час застосування соди як десульфуратора, досить агресивно впливають на футерування ковшів, міксерів і плавильних

агрегатів. Видалення рідкорухомих содових шлаків або очищення чавуну від содових шлаків є досить трудомісткою операцією.

Крім перерахованих недоліків, до їх числа можна віднести також досить інтенсивний винос пилу (порошку соди, спели), внаслідок чого збільшується витрата реагенту; великі газові виділення; значна втрата соди при створенні силікату натрію під час потрапляння доменного шлаку до чавуновозних ковшів і місткостей для обробки чавуну; погіршення умов праці, що негативно впливає на екологію регіону. Тому десульфурація содою нині менш поширена, ніж це спостерігалось в 50-60-ті роки минулого століття.

### 1.2.3 Десульфурація чавуну карбідом кальцію

Карбід кальцію вважають альтернативним реагентом магнію. Суміш технічного кальцію з газоутворювальними домішками набула широкого поширення в таких країнах, як ФРН, Японія, США, Канада, Швеція, Італія, Франція [7, 8].

Десульфурацію чавуну карбідом кальцію виконують у ковшах, у які через кришку вводять у робочий простір частково занурену в метал мішалку для перемішування металу з реагентом. Фурма використовує мішалку і для десульфурації чавуну на жолобі доменної печі. У цьому випадку мішалку встановлюють між двома перевальними пристроями, з яких перший захищає установку від потрапляння доменного шлаку, другий – забезпечує відокремлення сірчаного шлаку від чавуну. Незважаючи на дуже малу тривалість контакту чавуну з реагентом, вміст сірки може бути зменшено з 0,12 до 0,01 %. Витрата карбиду кальцію на обробку становить 3-5 кг/т чавуну.

При збільшенні питомої витрати реагенту до 14 кг/т чавуну вміст сірки можна зменшити до 0,005%. При цьому теплові втрати металу незначні (див. рис. 1.2) - приблизно 15-30 °С.

Інститутом чорної металургії були виконані дослідні продувки чавуну в 140-тонні ковші тонкоподрібненим технічним карбідом кальцію. Були отримані позитивні результати десульфурації. Однак реалізувати цю технологію на металургійних підприємствах нашої країни не змогли через дефіцит карбіду та складність його подрібнення і необхідність забезпечення особливих заходів безпеки під час його використання.

Крім того, під час використання карбіду кальцію утворюється значна кількість (до 2,5 % від ваги чавуну) додаткового шлаку, який містить близько 50 % корольків металу і близько 5 % карбіду кальцію. Шлаки, що утворюються під час десульфурації, та дим, що виділяється, містять карбід кальцію, який призводить до утворення ацетилену [9].

Отже, незважаючи на отримані позитивні дані, можна виокремити такі недоліки цього методу десульфурації: висока вартість реагенту; порівняно невисокий ступінь засвоєння реагенту; складність устаткування для транспортування та подачі карбіду кальцію; необхідність вжиття заходів для запобігання розкладанню його під час зберігання, а також для переробки карбідомістких шлаків. Також, як уже зазначалося раніше, в умовах нашої країни додатковим недоліком є дефіцит карбіду кальцію.

#### 1.2.4 Десульфурація чавуну комплексними реагентами

Застосування комплексних реагентів має на меті зменшення витрат дорогого і дефіцитного реагенту (наприклад, карбіду кальцію), або підвищеної здатності реагенту видаляти сірку (наприклад, вапна, підданого випалу, кальцинованої соди) шляхом введення домішки, що активує, або підбором оптимального співвідношення реагентів.

Так, наприклад, в Англії обробляють метал сумішшю кальцинованої соди (10 %), вапна (60-80 %) і карбіду кальцію (10-30 %) [10]. Зазначена суміш вдувається через занурену в рідкий метал фурму за допомогою азоту

або пропану. За даними промислових випробувань кінцевий вміст сірки в чавуні описується рівнянням:

$$S_K = -0,5 \cdot 10^{-3} \cdot I + 0,2654 \cdot S_{noc} + 0,0123 \quad (1.16)$$

де  $I$  – маса реагента, кг/т чавуну;  $S_{noc}$  – початковий вміст сірки в чавуні, %.

При витраті суміші 20 кг/т чавуну ступінь десульфурації досягає 55-65 %. Підвищення ступеня десульфурації за рахунок збільшення витрати карбиду кальцію обмежується через високу вартість реагенту.

У Німеччині з 1963 року працює установка з вдування в рідкий метал суміші вапна і соди у співвідношенні 9:1 [11]. За витрати суміші 10 кг/т чавуну ступінь десульфурації коливається від 20 до 54%, з підвищенням витрати суміші до 30 кг/т чавуну – ступінь десульфурації змінюється від 32 до 80 %. У процесі десульфурації температура чавуну знижується на 50 °С (див. рис. 1.2).

У Японії в промислових умовах проведено випробування десульфураційної суміші з 90 % вапна і 10 % плавикового шпату в 10-тонному ковші, який струшується. Суміш подавали у вигляді гранул, які запікалися за температури 1350 °С, а потім подрібнювалися до 1-4 мм. При витраті суміші в кількості 6-7 кг/т чавуну ефект десульфурації прирівнюється до отриманого при десульфурації карбідом кальцію в кількості 5,4 кг/т чавуну [9]. Вміст сірки в чавуні знижувався з 0,065 до 0,005 % для суміші вапна і плавикового шпату і з 0,055 до 0,008 % для карбиду кальцію.

Таким чином промислові випробування з десульфурації чавуну комплексним реагентом виявили, що витрата недешевої і дефіцитної соди може бути знижена без погіршення результатів десульфурації. Однак технологія десульфурації комплексними реагентами не була впроваджена на вітчизняних металургійних підприємствах, оскільки під час їхнього

застосування збільшується кількість шлаку в чавуновозних ковшах, а надійних засобів його видалення перед використанням у сталеплавильному виробництві немає. Крім того, хоча й кількість соди, що виносилася з ковша, зменшилася, але все ж таки застосування комплексних реагентів потребує спорудження дорогих очисних споруд.

#### 1.2.5 Десульфурація чавуну гранульованим магнієм

Гранульований магній, який виготовляють і застосовують у країнах СНД, є сипучим матеріалом, що складається з гранул шароподібної форми діаметром в основі 0,5 - 1,6 мм. Гранульований магній містить понад 91% магнію металевого, а решта – оксиди і хлориди лужних і лужноземельних металів. Це практично ідеальний матеріал для дозування, інжектування і позапічної обробки чавуну [1].

За даними Н.А. Воронової [1, 9], отримання гранульованого магнію простий процес, собівартість якого практично така сама, як і у злитого, а витрати на установку грануляції магнію невеликі – приблизно 4 % від собівартості магнію. Гранульований магній є технологічним і безпечним реагентом у процесах виготовлення, транспортування, зберігання і застосування.

Десульфурація чавуну гранульованим магнієм відбувається таким чином. На шляху транспортування з доменного цеху в сталеплавильний чавуновозні ковші подають на установку десульфурації і розташовують під фурмами. У всі ковші або частину ковшів (залежно від потреби) одночасно або по черзі (залежно від вимог) занурюють фурми і приводять вдування магнію. Швидкість введення магнію в метал становить 9 кг/хв. і питома витрата магнію (кг/т) надійно регулюється з пульта керування. Дим, який відходить від ковша, не токсичний, не вибухонебезпечний і легко піддається очищенню від пилу в газоочисних спорудах. Після закінчення вдування

гранульованого магнію фурму витягують із рідкого чавуну, ковші відправляють на відкачування шлаку, а потім у сталеплавильний цех.

Установка або відділення поза доменної десульфурації чавуну в чавуновозних ковшах гранульованим магнієм являє собою споруду естакадного типу, в якій розташоване обладнання для виконання всіх технологічних операцій.

Вдування магнію виконують із витратного бункера, який обладнаний системою регулювання і контролю всіх параметрів.

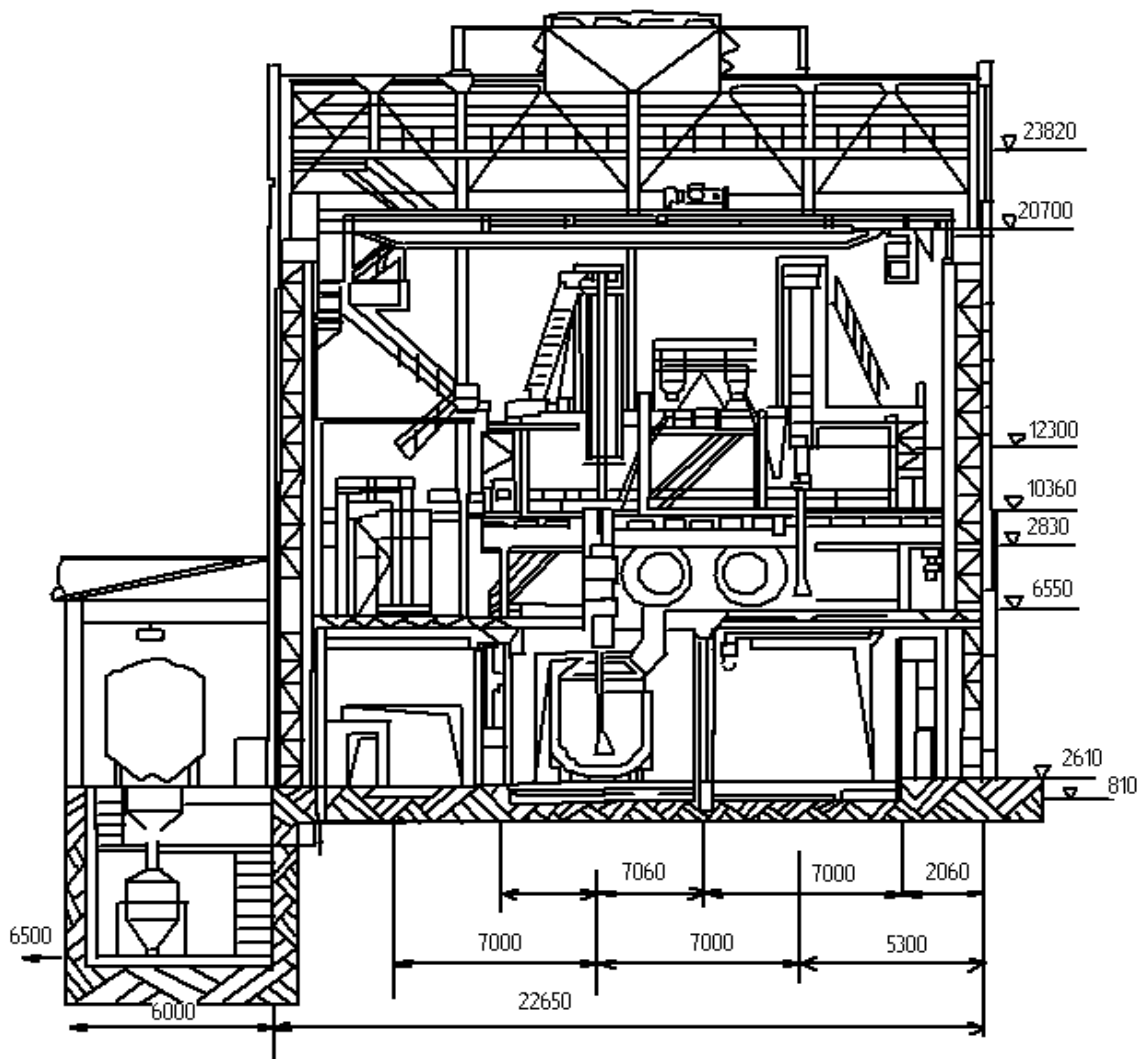


Рис. 1.3. Принципова схема-розріз (поперечний) відділення десульфурації чавуну потужністю до 4,5 млн. т/рік

Введення магнію в чавун найефективніше та найнадійніше досягається за умови застосування фурми, що має на виході розширену

камеру для попереднього нагрівання та випаровування частинок (рис. 1.4). Конструкція фурми, її елементів та конструктивні розміри можуть бути обрані заздалегідь індивідуально, в залежності від конкретних умов. Відпрацьована технологія виготовлення та обслуговування фурм забезпечує стійкість їх до 500 занурень і вище за тривалості кожного продування до 5 хвилин. За використання фурм із розширеною камерою, фурменний пристрій більш металомісткий, ніж для фурм із постійним діаметром каналу, але це опускається техніко-економічними перевагами, що зводяться до вищого ступеня засвоєння магнію, ширших можливостей варіювання параметрів оброблення, вищого рівня надійності, простоти експлуатації та інше.

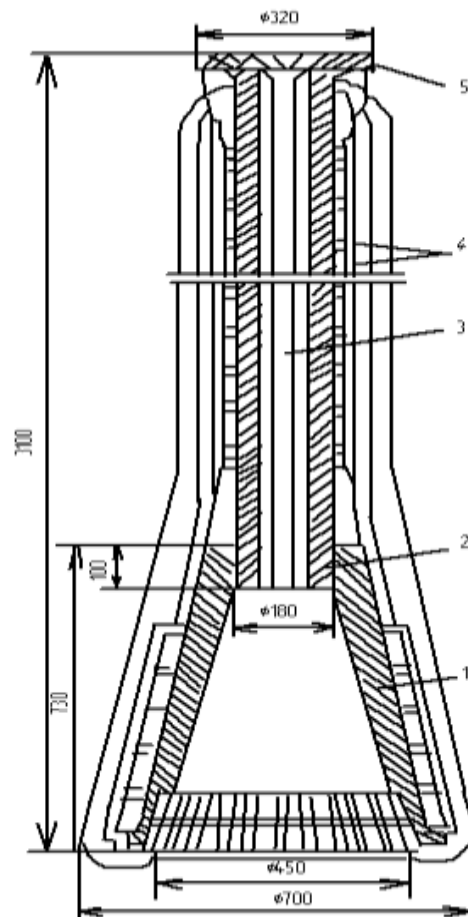


Рис. 1.4. Фурма для вдування гранульованого магнію  
 1 – розширена камера; 2 – несуча труба; 3 – канал фурми;  
 4 – арматура; 5 – фланець

На практиці основними є наступні параметрами обробки чавуну: інтенсивність введення магнію –  $6\div 15$  кг/хв, витрата газу для транспортування – до  $90$   $\text{м}^3/\text{год}$ , тиск газу –  $3\div 5$  ат, тривалість циклу операції вдування магнію – до 20 хвилин, оптимальний цикл роботи фурми – 2 години. Інжектування магнію в чавун може відбуватися як стисненим повітрям, так і в струмені аргону або природного газу. Найбільше магній засвоюється при використанні, як носія, природного газу.

Організація десульфурації чавуну гранульованим магнієм у заливних ковшах сталеплавильних цехів супроводжується, як правило, вищим ступенем засвоєння реагенту. Установка десульфурації в заливних ковшах простіша і дешевша у виготовленні, оскільки розташована прямо в цеху, не вимагає будівництва будівлі і використовується як енергодопоміжні послуги сталеплавильного цеху.

Питома витрата гранульованого магнію залежить від початкового і заданого кінцевого вмісту сірки в чавуні та визначається монограмою, що показана на рис. 1.5 і побудована за даними Воронової Н.А. [9, 12].

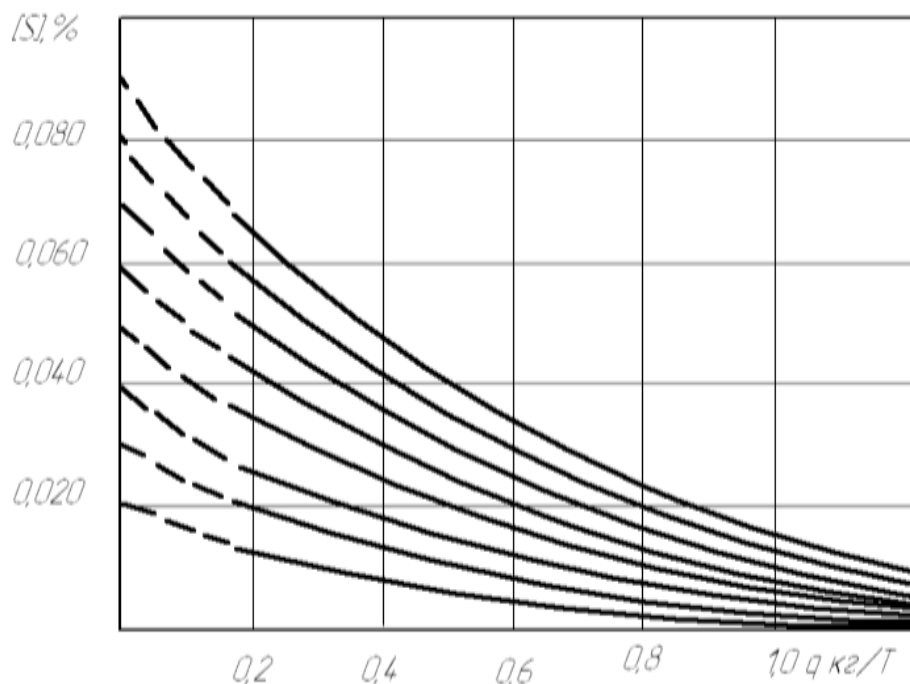


Рис. 1.5. Номограма питомої витрати гранульованого магнію ( $q$ ) для десульфурації чавуну під час вдування в струмені стисненого повітря

На рис. 1.6 представлено отриману в роботах [12, 13] діаграму зміни вмісту сірки в чавуні зі зміною питомої витрати реагенту, що вдувається, для різних технологій (вдування вапна, суміші вапна з содою, соди, карбїду кальцію і магнію).

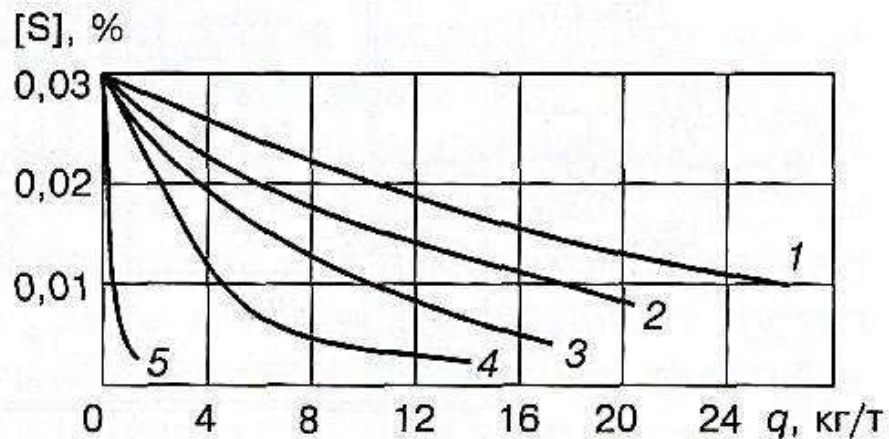


Рис. 1.6 Зміна вмісту сірки в чавуні за різної питомої витрати реагенту, що вдувається. Маса чавуну в ковші 70-110 т:

- 1 – вапно; 2 – суміш вапна з 15 % соди; 3 – кальцинована сода;  
4 – карбїд кальцію; 5 – гранульований магній

Наведені дані діаграми свідчать про те, що при досягненні однакового вмісту сірки та ступеня десульфурації чавуну питомі витрати немагнієвих реагентів на порядок вищі, ніж магнію, особливо це характерно для вапна, соди та сумішей на їхній основі. Застосування карбїду кальцію дещо знижує питомі витрати реагенту до 2-8 кг/т чавуну, але не досягається стійка і раціональна особливо глибока (<0,001-0,002 % сірки) десульфурація чавуну в істотних обсягах металургійного виробництва. Крім цього, як було зазначено вище, застосування карбїду кальцію супроводжується низкою екологічних наслідків і проблем безпеки.

Аналіз промислових даних показав, що, незважаючи на значне збільшення ТЕП, все ж таки не вдається повною мірою усунути притаманні саме немагнієвим процесам десульфурації недоліки:

- значна (понад 4 кг/т) витрата реагентів;
- великі втрати металу зі шлаком;
- значне зниження температури (особливо при вдуванні соди та вапна);
- неможливість суперглибокої десульфурації чавуну (до 0,001-0,002 % сірки);
- задовільні показники десульфурації досягаються тільки при обробці великих (понад 150 т) мас металу в ковшах.

Незважаючи на порівняння невисокої ціни на застосовувані реагенти (особливо вапна), собівартість процесу десульфурації досить висока.

З перерахованих вище причин найперспективнішими видаються процеси позапічної десульфурації чавуну магнієвмісними реагентами, що дають змогу варіювати глибину десульфурації та зменшити вміст сірки до 0,001 %.

### 1.3 Висновки по Аналітичній частині та постановка завдань дослідження

1. Для зниження вмісту сірки в чавуні в умовах доменної печі необхідно створити умови, за яких якомога більша кількість сірки була б зв'язана з кальцієм і магнієм, сульфідів яких розчиняються тільки в шлаку. Цим умовам відповідає збільшення температури в нижніх зонах теплообміна доменної печі та збільшення основності шлаку, що в свою чергу, вимагає збільшення витрати коксу і собівартості чавуну.

2. В Аналітичній частині даної дипломної роботи виконаний порівняльний аналіз сучасних методів позапічної десульфурації чавуну, а саме шляхом вдування вапна, суміші вапна з содою, соди, карбїду кальцію і магнію

3. Встановлено, що за допомогою вапна вміст сірки можна знизити до 0,010-0,015 %, що супроводжується значними витратами вапна (20 кг/т

чавуну і вище), значним падінням температури чавуну на 80-100 °С, утворенням значної кількості додаткового шлаку (понад 4 % від ваги чавуну).

4. Під час обробки кальцинованою содою вміст сірки в чавуні знижується майже до 0,005 %; втрати металу зі шлаком незначні, проте втрати температури рідкого чавуну досить великі – 60-100 °С. Шлаки, що утворюються під час застосування соди як десульфуратора, досить агресивно впливають на футерування ковшів, міксерів і плавильних агрегатів. Видалення рідкорухомих содових шлаків або очищення чавуну від содових шлаків є досить трудомісткою операцією.

5. Реалізувати в промислових масштабах технологію десульфуратії з використанням карбіда кальцію на металургійних підприємствах нашої країни не змогли через дефіцит карбіду та складність його подрібнення і необхідність забезпечення особливих заходів безпеки під час його використання. Крім того, під час використання карбіду кальцію утворюється значна кількість (до 2,5 % від ваги чавуну) додаткового шлаку, який містить близько 50 % корольків металу і близько 5 % карбіду кальцію.

6. Найпоширенішим методом десульфуратії є десульфуратія магнієм (особливо на вітчизняних металургійних підприємствах). Десульфуратію проводять здебільшого в чавуновозних ковшах і ковшах міксерного типу, при цьому використовують гранульований магній і пасивований магній, а за кордоном – магнієвий кокс.

7. У промисловій практиці обробки чавуну магнієм застосовують також у вигляді гранульованого без домішок, гранульованого з домішками і наповнювачами, а також у вигляді порошкового в суміші з наповнювачами та іншими матеріалами. Застосування магнію в суміші з наповнювачами не є найкращим варіантом для його засвоєння, оскільки призводить до невиробничих втрат магнію на взаємодію зі складовими наповнювача.

8. Промислова практика і широкі дослідження виявили, що найбільш оптимальним рішенням є вдування магнію без наповнювача, а найбільш технологічним видом магнію є гранульований магній.

В основній частині дипломної роботи необхідно вирішити такі завдання:

- оцінити ефективність різних методів введення магнію в рідкий чавун;
- визначити шляхи підвищення ефективності використання магнію для позадоменної десульфурації чавуну;
- дослідити технології позапічної десульфурації чавуну шляхом інжекції «чистого» магнію;
- обрати раціональну конструкцію фурми для позадоменної десульфурації чавуну магнієм.

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Оцінка ефективності різних методів введення магнію в рідкий чавун

Як показав виконаний аналіз, до 70-х років минулого століття процеси позапічної десульфурації чавуну базувалися на використанні таких реагентів, як обпалене вапно, карбід кальцію, кальцинована сода і різні композиції на їхній основі. В Аналітичній частині даної роботи були визначені основні недоліки таких методів, а саме:

- значні витрати реагентів (6-20 кг/т чавуну);
- велика кількість шлаку, що додатково утворюється (до 10-40 кг/т чавуну);
- значні втрати чавуну з ковшовим шлаком, що утворюється (у середньому 45 % від маси шлаку);
- обмежені можливості досягнення глибокої десульфурації чавуну;
- велика тривалість процесу десульфурації (як правило, понад 10 хв);
- недостатня стабільність результатів десульфурації;
- негативний вплив на екологію і водний басейн;
- значні витрати й економічні витрати від промислового застосування процесів десульфурації.

Зазначені недоліки стали причиною пошуку металургами різних країн досконаліших методів позапічної десульфурації чавуну.

Ще в 60-х роках ХХ століття металургами України, під керівництвом професора Н. А. Воронової, науковою школою Інституту чорної металургії та фахівцями металургійного комбінату "Азовсталь" [1, 9, 13, 14] було реалізовано технологічний процес десульфурації чавуну в доменних ковшах регульованим вдуванням диспергованого магнію крізь занурювану вогнетривку фурму, яку занурюють в чавуновозний ківш.

Введення магнію в розплав здійснювали в суміші з порошковим вапном. Вміст магнію в суміші варіювали в межах 5-50 %. Випробували як вдування готової магній-вапняної суміші, так і одночасну подачу магнію та вапна з дозуючих бункерів зі змішуванням матеріалів у пневмотранспортному матеріалопроводі (коінжекція).

Під час досліджень не було встановлено впливу методу підготовки суміші на результати десульфурації, тому для промислової реалізації було прийнято, як найнадійніший і менш витратний, процес вдування готової порошкової суміші магнію з вапном.

За цією технологією в 1969-1971 рр. на Металургійних комбінатах України («Азовсталь», ім. Ілліча, «Запоріжсталь») було споруджено та введено в експлуатацію три промислові установки десульфурації чавуну в 80-140-т чавуновозних ковшах з вдуванням порошкоподібних сумішей, що містять магній, які готували безпосередньо на установках у спеціальних аерозмішувачах.

Це були перші у світовій практиці промислові установки десульфурації чавуну магнієм, кожна потужністю 0,8-2,2 млн т на рік. Вміст сірки в чавуні зменшували до 0,003-0,010 %.

В інших країнах процеси десульфурації чавуну вдуванням порошкових магнієвмісних композицій почали застосовувати через 15-25 років. В основі їхнього застосування лежала принципова схема коінжекційного вдування магнію і вапна (карбиду кальцію) (рис. 2.1), оснащена сучасною системою управління і контролю параметрів. Як видно з рис. 2.1 схема установки десульфурації чавуну (УДЧ) на сумішах досить громіздка і складна. Порошки магнію і добавок надходять в автоцистернах 1 і 2, з яких перевантажуються в силоси 3 і 4, звідки за допомогою спеціальних бункерів 5 і 6 магній і вапно (карбід кальцію) під тиском надходять до дозувальних бункерів 7 і 8, з яких реагенти вдувають у рідкий чавун. Змішування матеріалів здійснюється в трубопроводі, під'єднаному до фурми, а склад суміші визначається інтенсивністю подачі магнію і карбиду кальцію

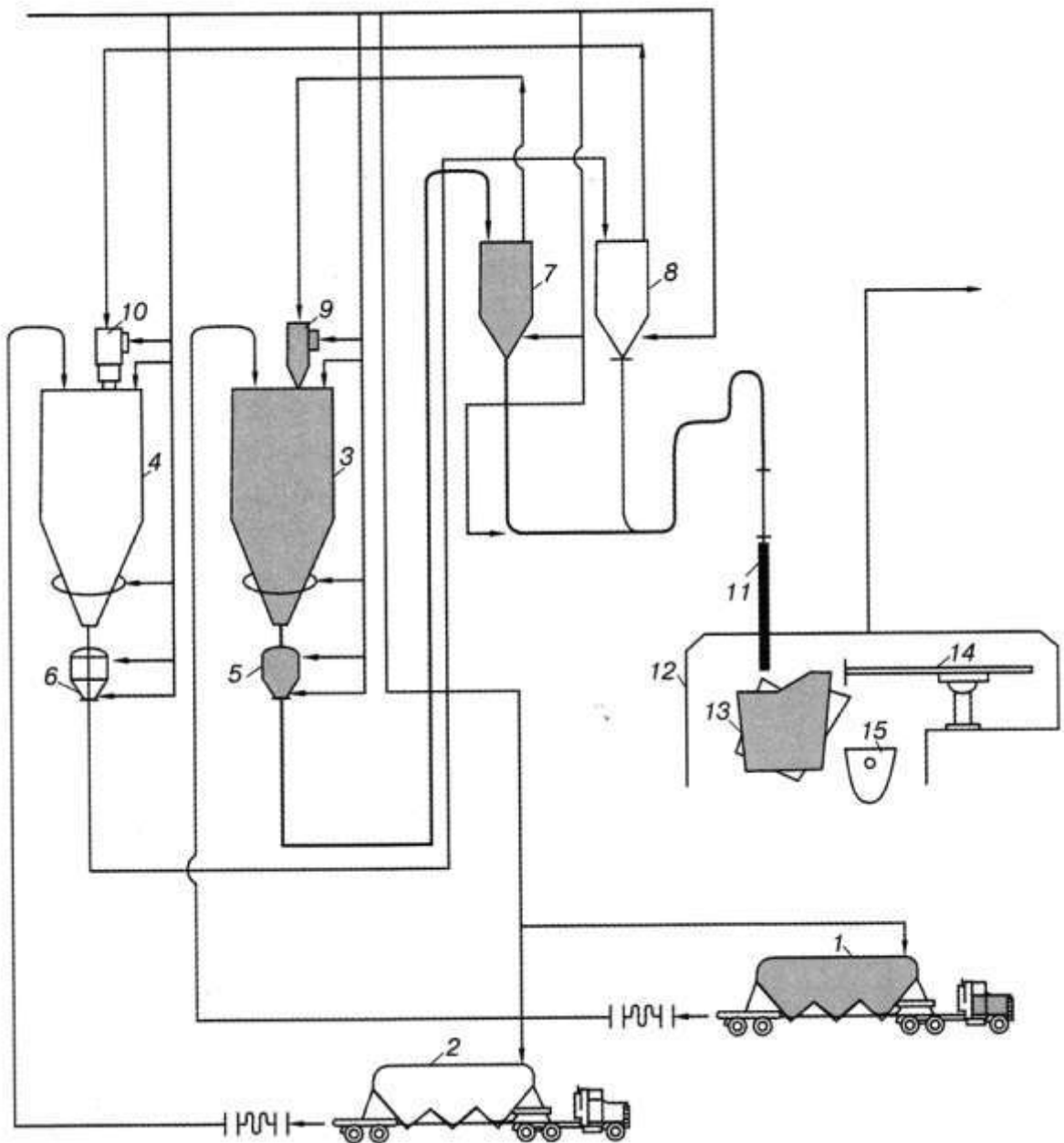


Рис.2.1 Принципова схема УДЧ сумішами вапна (карбіду кальцію) з порошковим магнієм методом коінжекції:

- 1 – цистерна з вапном; 2 – цистерна з магнієм; 3 – силос вапна;  
 4 – силос магнію; 5 – перевантажувач вапна; 6 – перевантажувач магнію;  
 7 – дозувальний бункер магнію; 8 – дозувальний бункер вапна;  
 9 – осаджувач вапна; 10 – осаджувач магнію; 11 – фурма;  
 12 – камера обробки чавуну; 13 – ківш; 14 – машина скачування шлаку;  
 15 – шлакова чаша

Дослідження процесу десульфурації чавуну вдуванням порошкових магнієвмісних сумішей показали, що добавки, які вводять до магнію ( $\text{CaO}$ ,  $\text{CaC}_2$ ), практично не беруть участі в десульфурації, а лише пасивують вдувний магній і забезпечують стійкість витікання магнію з каналу фурми в розплав чавуну.

У розплаві чавуну ці наповнювачі (в суміші з магнієм) погіршують умови теплових і масообмінних процесів між магнієм і рідким чавуном. Крім того, відбувається нераціональне витрачання магнію на взаємодію з карбонатами (недопал), вологою і гідратами вапна, що збільшує його втрати. У підсумку десульфурація чавуну вдуванням порошкових магнієвмісних сумішей супроводжується такими недоліками [9, 13, 14]:

- низьким засвоєнням магнію (20 - 50 %);
- необхідністю застосування декількох реагентів;
- підвищеною питомою витратою магнію (в 1,3 - 1,5 раза);
- значною питомою витратою реагентів (до 3 - 4 кг/т чавуну);
- підвищеним додатковим шлакоутворенням у ковші (до 6-10 кг/т чавуну);
- значними втратами чавуну зі шлаком (2,5 - 4,5 кг/т чавуну);
- недостатньою стабільністю результатів десульфурацій;
- труднощами здійснення десульфурацій чавуну в ковшах із масою металу менше 80 - 100 т і невеликою глибиною ванни (менше 1,8 - 2,0 м);
- складністю апаратурної схеми й установки десульфурації, великою кількістю устаткування та високими капітальними витратами;
- ненадійністю системи дозування та управління в реальних промислових умовах;
- особливими вимогами щодо вибухонебезпеки та пожежної безпеки у виконанні устаткування й установки;
- значними поточними й експлуатаційними витратами;
- значними витратами на десульфурацію.

Магній – своєрідна речовина, яка характеризується високою спорідненістю до сірки, здатністю розчинятися в рідкому чавуні та невисокою температурою випаровування (1150-1200 °С), яка, зазвичай, нижча за температуру оброблюваного рідкого чавуну. Остання властивість магнію зумовила розробку і застосування значної кількості методів і пристроїв для введення магнію в розплав чавуну, загальним принциповим рішенням яких є організація масообмінних процесів не на поверхні ванни, що рафінується, а в об'ємі розплаву при надлишковому тиску.

За видом використовованого магнієвого реагенту методи десульфурації чавуну магнієм, відповідно до даних [15] поділяються на такі:

- введення магнію (або його композицій) у вигляді кусків або зливків;
- введення (вдування) рідкого магнію;
- введення магнію у вигляді спеціального порошкового дроту;
- вдування диспергованого магнію або його композицій.

Механічне введення магнію у вигляді кусків і зливків було першим етапом багатьох розробок процесу рафінування чавуну магнієм. Для його здійснення кусковий реагент, що містить магній, поміщали в занурюваний у розплав футерований пристрій і вводили його в розплав чавуну, утримуючи на період нагріву, плавлення і випаровування магнію за рахунок тепла рідкого чавуну.

Обробка чавуну зливковими або кусковими магнієвмісними реагентами практично не застосовується в металургійній практиці. Це зумовлено цілою низкою недоліків, основні з них: некерованість процесу випаровування магнію, відсутність умов управління інтенсивністю введення магнію в розплав чавуну, несприятливі умови для масообмінних процесів між реагентом і розплавом, що рафінується, невисокий ступінь засвоєння магнію, практична неможливість створити сучасний високопродуктивний процес та установку для десульфурації великих мас чавуну під час інтенсивної роботи, а особливо – під час забезпечення глибокої десульфурації чавуну.

З метою визначення раціонального методу введення магнію в чавун у дослідному масштабі авторами [16] було здійснено обробку чавуну рідким магнієм, попередньо розплавленим і перегрітим до температури вище 750 °С. Розплавлений магній вводили в чавун через футерований магнієпровід на глибину 1,5 м. Інтенсивність подачі магнію (за спокійного характеру обробки розплаву в ковші) становила 0,15-0,2 кг/с (9-12 кг/хв). Ступінь десульфурації досягав 86 %. Однак подальшого розвитку і застосування цей метод десульфурації не одержав, оскільки впорскувальний апарат і елементи системи впорскування працювали ненадійно і не забезпечувалися умови безпечної експлуатації.

Дуже привабливим є метод введення магнію в рідкий чавун у вигляді спеціального порошкового дроту, що являє собою сталеву циліндричну оболонку (діаметром 9-12 мм), заповнену магнієвмісною сумішшю. Такий дріт намотується на барабан і у вигляді котушок поставляється споживачеві. «Робочий» наповнювач дроту може бути виконаний як у вигляді чистого магнію, так і його суміші з інертними добавками (останній варіант більш поширений). Вміст магнію в 1 м дроту змінюється в межах від 30 до 40 г [1], наповнювача – 42-73 г і сталеві стрічки – 155 г. Таким чином, дріт містить 12-16 % магнію, 17-30 % наповнювача і приблизно 63 % сталеві стрічки.

Рівень ефективності застосування порошкового магнієвмісного дроту для десульфурації чавуну у великовантажних ковшах може бути оцінений також за обробками чавуну в 300-тонних ковшах Магнітогорського меткомбінату (ММК) і «Северстали!» (Череповець) [16]. На ММК за середньої вихідної сірки в чавуні, що дорівнює 0,02 % введенням порошкового дроту (78 % Mg і 22 % CaC<sub>2</sub>) вміст сірки знижували в середньому до 0,012 %. При цьому параметри обробки були наступні: швидкість введення дроту – 2 м/с; інтенсивність введення магнію – 6 кг/хв; витрата магнію – 125 кг/ківш (0,42 кг/т чавуну); ступінь десульфурації – 41 %; тривалість операції введення дроту – 21 хв.

Наведені показники свідчать про те, що питомий ступінь десульфурації чавуну при обробці магнієвмісним дротом становив 9,8 % (на кожні 0,1 кг/т введеного магнію), а ступінь засвоєння магнію на сірку був дуже низьким – 14,5 %.

Таким чином, незважаючи на зовнішню простоту і привабливість, процес десульфурації чавуну магнієвмісним дротом не можна віднести до раціонального технологічного рішення для умов великопромислового сталеплавильного виробництва. Основні недоліки цього процесу:

- обмежений ступінь управління інтенсивністю випаровування магнію;
- відсутність можливості організації випаровування магнію біля дна ванни рідкого чавуну;
- недостатня однорідність розплаву (по сірці) в різних зонах ванни;
- низький ступінь засвоєння магнію;
- велика тривалість процесу введення магнію в розплав і невисока пропускна здатність поста десульфурації;
- дуже висока ціна реагенту в дроті;
- великі витрати на десульфурацію чавуну магнієвмісним дротом.

Викладене послужило підставою розробок процесу позапічної обробки чавуну вдуванням магнію без пасивуючих добавок, тобто реалізації найпростішої принципової схеми інжекційної технології.

## 2.2 Шляхи підвищення ефективності використання магнію для позадоменної десульфурації чавуну

Під час обробки магнієм десульфурація чавуну може протікати в результаті взаємодії пароподібного магнію з розчиненою в металі сіркою



а також шляхом розчинення магнію в чавуні



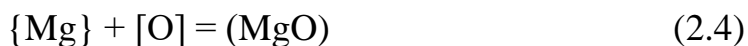
та подальшої взаємодії з сіркою в об'ємі металу



У сучасній науково-технічній літературі широко поширена думка, згідно з якою під час обробки чавуну магнієм основна кількість сірки видаляється за реакцією (2.3), швидкість якої обмежена надходженням магнію в метал за реакцією (2.2). Тому прийнято вважати, що параметри технологічного процесу повинні забезпечувати умови для розчинення в чавуні максимально можливої кількості магнію. Такі уявлення про механізм десульфурзації металу ґрунтуються, головним чином, на відомостях про досить високу розчинність магнію в насиченому вуглецем залізі та чавуні [1] і результатах лабораторних досліджень кінетики реакцій (2.2) і (2.3).

Дослідження кінетики розчинення магнію в чавуні та реакцій, що протікають під час цього, результати яких послужили підставою для висновку про видалення основної кількості сірки за реакцією (2.3), описано в роботах [23-25]. Аналіз цих робіт показує, що висновки авторів про механізм протікання реакцій ґрунтуються на аналізі їхньої кінетики та не враховують термодинамічні умови протікання реакції (2.3) в об'ємі чавуну.

Авторами [26] показано, що реакції між магнієм та сіркою чавуну протікають при високій активності кисню в розплаві, коли енергетично значно вигіднішою є взаємодія магнію з розчиненим у металі киснем по реакціям



У цих умовах реакція десульфурзації може протікати біля поверхні бульбашок пари магнію, що спливають у розплаві, за умови, що швидкість реакції (2.4) обмежена масовіддачею кисню з об'єму металу. У цьому разі активність кисню біля поверхні розділу фаз має наближатися до рівноважної з парою магнію, у результаті чого біля поверхні бульбашок, що спливають, виникають умови для одночасного перебігу реакцій (2.1) і (2.4) незалежно від

окиснення металу в основному його об'ємі. Однак можливість утворення сульфідів біля поверхні спливаючих бульбашок пари магнію ще не забезпечує десульфурацію металу в цілому. Якщо сульфідні, що утворилися, не виносяться бульбашками, що спливають, у шлак або газову фазу, в об'ємі чавуну в результаті взаємодії з розчиненим у металі киснем можливе утворення термодинамічно стійкіших оксидів магнію, що супроводжується зворотним переходом сірки в оброблюваний метал. Таким чином, десульфурацію чавуну магнієм слід розглядати як процес, ефективність якого визначається співвідношенням швидкостей утворення сульфідів за реакцією (2.1) і часткового їхнього окиснення розчиненим у металі киснем, оксидами шлаку та киснем газової фази.

Описані вище уявлення про механізм десульфурації металу дали змогу з достатню точність описати зміну вмісту сірки та кисню в металі під час оброблення магнієм значно більш окислених розплавів сталеплавильного виробництва. Оскільки чисельні значення коефіцієнтів дифузії кисню і сірки в рідкому залізі та його сплавах є величинами одного порядку, можна припускати, що реакція (2.1) також має протікати в дифузійній області.

Можливість протікання реакції (2.3) біля поверхні неметалевих включень у чавуні заперечувати не можна. Однак із висновком про домінуючу роль цієї реакції в десульфурації металу важко погодитися, оскільки під час обробки чавуну магнієм у промислових умовах площа поверхні розділу бульбашок пари магнію з металом у багато разів більша за площу поверхні неметалевих включень. Підтвердженням цьому можуть слугувати результати оцінки площі поверхні неметалевих включень у чавуні та поверхні розділу бульбашок пароподібного десульфуратора з металом під час оброблення 90 т чавуну за температури 1350 °С. У розрахунку припускали, що магній подається в розплав через фурму з випарною камерою в потоці азоту, який з достатньою для практичних цілей точністю можна розглядати як нейтральний щодо магнію газ [28]. Витрату магнію приймали рівною 9 кг/хв, витрату азоту – 60 м<sup>3</sup>/год, глибину введення магнію в метал

– 2,1 м. Оцінку площі поверхні неметалевих включень у чавуні проводили з використанням даних робіт [24, 25], згідно з якими в  $1 \text{ см}^3$  розплаву може перебувати до 105 сульфідних включень діаметром 1,5 мкм. Щільність рідкого чавуну приймали рівною  $6300 \text{ кг/м}^3$ . Під час оцінки площі поверхні бульбашок десульфуратора в чавуні припускали, що з випарної камери в метал надходить однорідна суміш пари магнію й азоту, яка в об'ємі чавуну дробиться на бульбашки критичного розміру грибоподібної форми. Ступінь використання магнію на десульфурацію чавуну в розрахунках приймали рівним 40 %. У результаті розрахунку площі поверхні неметалевих включень у чавуні отримано рівною  $10,1 \text{ м}^2$ . Розрахункова величина площі поверхні бульбашок пароподібного десульфуратора в металі залежно від обраного значення коефіцієнта форми бульбашки може змінюватися від 191,6 до  $239,5 \text{ м}^2$ .

Непрямим підтвердженням домінантної ролі реакції (2.1) у десульфурації чавуну магнієм можуть слугувати результати досліджень, згідно з якими за малої кількості ковшового шлаку основна кількість сульфідів магнію виноситься з металу бульбашками, які спливають, і видаляється з газами, що відходять. Як приклад на рис. 2.2 показано отриману за результатами досліджень, виконаних на металургійних підприємствах України та Китаю, залежність масової частки вилученої з чавуну сірки, яка була засвоєна шлаком, від товщини шару шлаку в ковші.



Рис. 2.2 Залежність масової частки видаленої з чавуну сірки, засвоєної шлаком, від товщини шару шлаку в ковші

Отже, наведені вище уявлення про механізм реакцій під час обробки чавуну магнієм дають змогу припускати, що головною причиною підвищення ефективності використання десульфуратора в разі зниження температури оброблюваного металу є не збільшення розчинності магнію в оброблюваному чавуні, а зменшення його окиснюваності.

Вирішення питання про механізм реакцій під час десульфурації чавуну магнієм важливе для вибору режиму інжектування магнію в метал. Відомо, що розчинність магнію в чавуні підпорядковується закону Генрі, відповідно до якого концентрація магнію в металі пропорційна парціальному тиску його пари в газовій фазі над розплавом.

Якщо припускати, що домінуюча роль у десульфурації чавуну належить реакції (2.3), необхідно створювати умови для розчинення в оброблюваному металі максимально можливої кількості магнію. З цією метою вдування магнію в чавун рекомендується вести з мінімальними витратами газу-носія за концентрації магнію в газі понад  $15 \text{ кг/м}^3$ .

Якщо десульфурація чавуну протікає за реакцією (2.1), підвищенню ефективності використання десульфуратора може сприяти збільшення витрати нейтрального відносно магнію газу-носія, що супроводжується збільшенням об'єму і площі поверхні розділу пароподібного десульфуратора з розплавом за рівної кількості введеного в метал магнію. При цьому слід звернути увагу на те, що деяке зниження парціального тиску пари магнію в бульбашках газоподібного десульфуратора не призводить до зменшення його десульфурувальної здатності.

Авторами роботи [29] експериментально підтверджено екстремальний характер залежності вмісту сірки в чавуні від концентрації розчиненого в металі магнію і парціального тиску його в газовій фазі, що контактує з металом. Встановлено, що мінімальний залишковий вміст сірки можна одержати за тиску пари магнію над металом близько 30 кПа.

Відомі дослідно-промислові дослідження, результати яких свідчать про відсутність негативного впливу азоту, що подається разом із магнієм у метал,

на результати десульфуратії чавуну та можливості підвищення ступеня використання десульфуратора шляхом збільшення витрати газу.

Прикладом можуть бути результати досліджень, проведених на промисловому обладнанні позадоменної десульфуратії чавуну Донецького металопрокатного заводу. Середня швидкість подачі магнію в метал становила близько 8 кг/хв за витрати повітря 80 нм<sup>3</sup>/год. Розрахунки показували, що за такого режиму обробки 7,5 % магнію окислюється киснем повітря. Крім того, в результаті розбавлення азотом парціальний тиск пари магнію в суміші газів, що надходить у метал, зменшується на 13,4 %. Це призводить до зменшення ступеня використання магнію під час розчинення в чавуні більш ніж на 10 %. Тому, якщо десульфуратія чавуну протікає за реакцією (2.3), подавання повітря у випарну камеру повинно призводити до значного зниження ступеня використання десульфуратора порівняно з обробкою чавуну чистою парою магнію. Виходячи з цього, була зроблена спроба підвищити ефективність обробки шляхом використання випарника, конструкція якого давала змогу припинити подачу повітря у випарну камеру після занурення випарника в метал на задану глибину і вести десульфуратію чавуну чистою парою магнію [30].

Швидкість реакції (2.1) визначається величиною площі поверхні розділу пароподібного десульфуратора з чавуном та інтенсивністю перемішування металу, від якої залежить величина коефіцієнта масовіддачі сірки з об'єму чавуну. Авторами робіт [31, 32] під час обробки природнолегованого чавуну в 30-т заливальних ковшах вивчено залежність константи швидкості в кінетичному рівнянні реакції першого порядку щодо концентрації сірки в чавуні від швидкості дисипації енергії в металі. Десульфуратію чавуну вели з використанням гранульованого магнію, який вводили в метал через фурму з випаровувальною камерою з одночасною незалежною подачею в неї азоту.

Під час описаних вище досліджень відзначено, що в експериментах, проведених з обмеженою швидкістю подачі в метал магнію і підвищеною витратою азоту, ступінь використання магнію на десульфурацію чавуну збільшувався. Результати аналізу впливу швидкості дисипації енергії на величину коефіцієнта масовіддачі сірки в чавуні свідчать про відсутність помітного зростання коефіцієнта масовіддачі сірки при підвищенні швидкості дисипації енергії від 0,5 до 1,5 Вт/кг. Це дає змогу стверджувати, що зазначене в проведених експериментах збільшення ступеня використання магнію на десульфурацію чавуну було досягнуто в результаті збільшення об'єму і площі поверхні розділу пароподібного десульфуратора з металом, віднесених до одиниці маси введеного в розплав магнію.

Таким чином, можна зробити наступні висновки:

- під час обробки чавуну магнієм основна кількість сірки видаляється з металу в результаті взаємодії з пароподібним магнієм на поверхні бульбашок десульфуратора, що спливають у розплаві. Зміни умов розчинення магнію в оброблюваному металі не чинить істотного впливу на ефективність обробки;

- причиною підвищення ефективності використання магнію на десульфурацію металу при зниженні температури чавуну є зменшення окиснення розплаву. При високій температурі чавуну для підвищення ефективності використання десульфуратора може бути використано розкислення металу перед початком обробки, наприклад, алюмінієм. Під час промислових експериментів показано, що під час заміни чистого магнію вторинним сплавом, що містить 12,2% алюмінію, ступінь використання магнію на десульфурацію чавуну збільшився з 35,8 до 46,6 %;

- при інжектуванні гранульованого магнію в чавун у потоці аргону або азоту використання режимів, коли концентрація магнію в газі-носії становить 12-15 кг/м<sup>3</sup> і більше, виправдане, якщо обладнання відділення десульфурації чавуну має забезпечувати максимально можливу його продуктивність. За низького завантаження обладнання для підвищення ефективності використання десульфуратора доцільний перехід до режимів, які

передбачають обмеження швидкості подачі магнію і збільшення витрати газу-носія.

### 2.3 Дослідження технології позапічної десульфуратії чавуну шляхом інжекції «чистого» магнію

Під час розроблення інжекційного процесу позапічної десульфуратії чавуну магнієм в Інституті чорної металургії та Інституті титану [17-20] розв'язали низку технологічних і технічних завдань, що принципово відрізняються від відомих аналогів, що застосовуються (рис. 2.3).

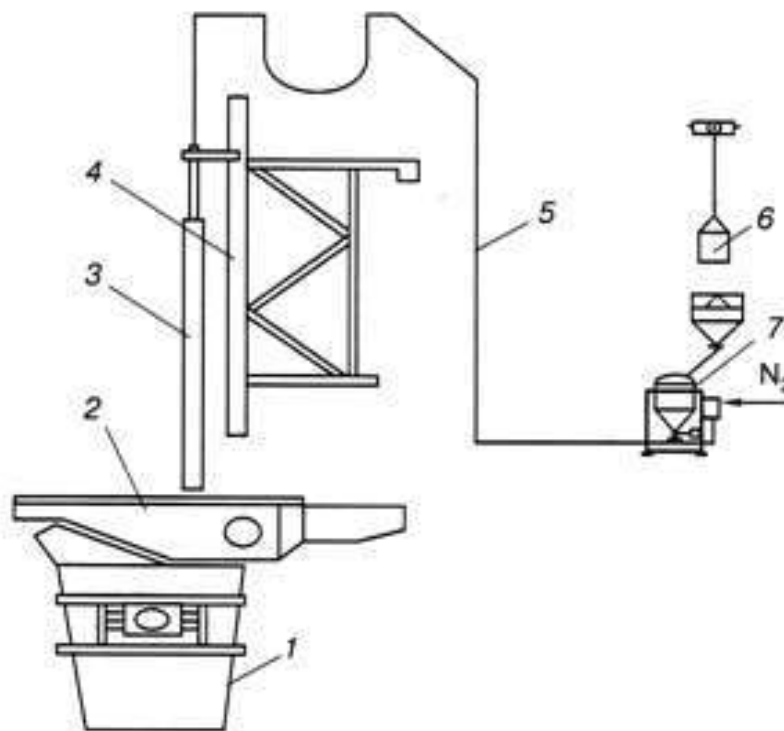


Рис.2.3 Принципова схема установки десульфуратії чавуну  
вдуванням магнію:

1 – ківш; 2 – зонт аспірації; 3 – фурма; 4 – пристрій переміщення фурми;  
5 – матеріалопровід магнію; 6 – контейнер із магнієм; 7 – дозатор магнію

Основа цих рішень включає такі положення.

1. Вдування магнію в чавун здійснюється без пасивуючих добавок.
  2. Реагент, що вдувається, являє собою зернистий або гранульований магній (або магнієвий сплав). Він складається з частинок діаметром 0,5-1,6 мм і не містить вибухонебезпечних фракцій магнію (<0,1 мм), матеріал має хорошу плинність і сипучість, не потребує псевдозрідження.
  3. Інжектування проводять у струмені безокислювального нейтрального газу з великою концентрацією магнію в газі (понад 15 кг/м<sup>3</sup>) і з забезпеченням високого парціального тиску магнію в масообмінній зоні.
  4. Вдування магнію здійснюється за керованої, плавної, регульованої і гарантовано дозованої подачі матеріалу з допустимим відхиленням фактичної маси реагенту від заданої не більше ніж на 0,5 %, а фактична інтенсивність вдування магнію (маса магнію за одиницю часу, зокрема і миттєва) відрізняється від заданої не більш ніж на 2 %.
  5. Забезпечуються умови розосередженого випаровування всього магнію, що вдувається, біля дна ковша з подальшим активним (понад 80 % від введеного) насиченням магнієм чавуну, що рафінується.
  6. Забезпечуються гарантовані умови, що виключають повернення сірки зі шлаку до чавуну, зокрема при вмісті сірки в знесірченому чавуні <0,001-0,002 %. За необхідності (в окремих випадках) проводиться коригування фізико-хімічних властивостей ковшового шлаку.
  7. Виконання операцій і підтримання заданих параметрів здійснюються в автоматичному режимі.
  8. Питомі витрати матеріалів, реагентів, енергоносіїв і витрати на десульфуріацію найменші (порівняно з усіма іншими аналогами).
- Залежно від умов рафінування (глибини ванни розплаву в ковші, маси чавуну, температури розплаву, початкового і кінцевого вмісту сірки та ін.) вдування магнію може здійснюватися за двома варіантами (рис.2.4)

а) через занурювану фурму з випарною камерою на виході (за малих швидкостей потоку в каналі фурми – менше ніж 30 м/с). Варіанти виконання випарної камери показані на рис. 2.5.

б) через занурювану фурму без випарної камери на виході, але за спеціальної конструкції голівки фурми і спеціальних режимів вдування.

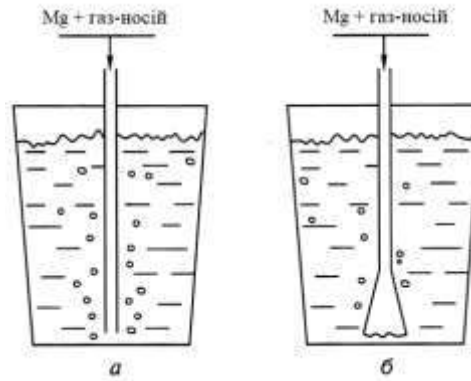


Рис.2.4 Принципові схеми вдування зернистого (гранульованого) магнію в ківш із рідким чавуном:

а – вдування магнію через фурму без випарної камери;

б – вдування магнію через фурму з випарною камерою на виході

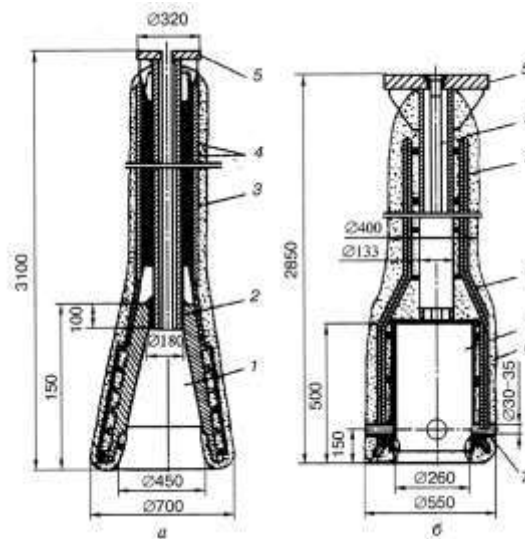


Рис.2.5 Фурми з випарною камерою конічної (а) і циліндричної (б) форм:

1 – випарник; 2 – несуча труба; 3 – канал; 4 – сталева арматура;  
5 – фланець; 6 – вогнетривка футерування; 7 – отвори у випарнику для виходу парів магнію

Із частковим виконанням викладених вимог і із застосуванням фурм із випарною камерою на виході вже в 1972-1973 рр. три промислові установки десульфурації чавуну металургійних комбінатів «Азовсталь», «Запоріжсталь» та Маріупольському металургійному комбінаті були переобладнані на роботу на гранульованому магнії без різних домішок [17-20]. Ця модернізація зменшила витрату реагентів, підвищила засвоєння магнію, збільшила глибину десульфурації, знизила втрати під час обробки, підвищила пропускну здатність установок і зменшила витрати на десульфурацію. Отриманий істотний позитивний ефект послужив підставою для будівництва і введення в експлуатацію нових потужностей з десульфурації чавуну гранульованим магнієм на металургійних комбінатах України та інших держав («Азовсталь», «Криворіжсталь», НЛМК, «Вільний Сокіл», Раахеський металургійний завод), де було споруджено промислові комплекси десульфурації чавуну, які забезпечували вдування магнію в доменні транспортні ковші. Один із них на меткомбінаті «Азовсталь» експлуатувався з 1977 року без реконструкції та капітального ремонту в напруженому режимі експлуатації, забезпечуючи повну потребу конвертерного цеху з 350-тонними конвертерами в знесірченому чавуні, значна частина якого містить 0,005 % сірки.

### 2.3.1 Застосування фурми з випарником для вдування магнію у великовантажні ковші

У 2002 - 2008 рр. на низці металургійних комбінатів Китаю вдування порошкових магнієвмісних сумішей було замінено процесом вдування зернистого або гранульованого магнію [21]. У 2008 р. на 20 металургійних комбінатах КНР створено й експлуатувалося 37 комплексів десульфурації чавуну в різних ковшах за технологією вдування зернистого або гранульованого магнію через фурми з випарною камерою на виході. Середні показники промислових продувок чавуну поточного виробництва наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Показники і параметри (середні) промислової десульфурації чавуну гранульованим або зернистим магнієм на металургійних комбінатах Китаю при вдуванні магнію через фурму з випарною камерою на виході

Комбінат	Потужність установки десульфурації, млн т на рік	Маса чавуну в ковші, т	Температура чавуну перед десульфурацією, °С	Кількість шлаку в ковші перед десульфурацією, % від маси чавуну	Питома витрата магнію, кг/т чавуну	Вміст сірки в чавуні, %		Ступінь десульфурації чавуну, %		Витрата магнію на сірку видалену, кг/кг	Ступінь засвоєння магнію на сірку, %
						до десульфурації	після десульфурації	підсумкова	питома		
Уханський	2,4	100 - 110	1180 - 1400	1,50	0,53	0,038	0,003	91	17,3	1,51	50
Тайюанський	1,2	80	1270 - 1390	1,62	0,63	0,039	0,003	90	14,3	2,07	38
	1,0	96	1305 - 1390	1,87	0,52	0,040	0,006	85	16,3	1,53	50
Ханчжоуський	2,6	80	1250 - 1360	5,0	0,33	0,029	0,007	76	23,1	1,50	51
Саньганський	2,1	126	1280 - 1360	1,32	0,40	0,027	0,005	82	20,5	1,81	42
Лючжоуський	2,3	102	1290 - 1360	1,0	0,35	0,027	0,0058	81	23,2	1,75	44
Хуайганський	2,6	87	1260 - 1420	1,76	0,44	0,039	0,008	81	19,8	1,64	54
Гуофэнський	2,8	119	1320 - 1390	1,20	0,41	0,029	0,006	79	19,3	1,80	43
Среднее по массиву											
	$\frac{80-126}{100}$	$\frac{1180-1420}{1315}$	$\frac{1,00-5,00}{1,87}$	$\frac{0,35-0,63}{0,45}$	$\frac{0,027-0,040}{0,033}$	$\frac{0,002-0,008}{0,005}$	$\frac{76-93}{84}$	$\frac{14,3-23,2}{19,1}$	$\frac{1,50-2,07}{1,72}$	$\frac{38-54}{46}$	

З таблиці 2.1., що за питомої витрати магнію 0,33 - 0,63 кг/т чавуну вміст сірки в чавуні знижувався у середньому з 0,027 - 0,040 % до 0,002 - 0,008 %. Кількість вихідного шлаку в ковші становила 1,0 - 5,0 % (від маси чавуну), шлак перед обробкою не скачували. Ступінь десульфурації становила 76 - 93 %. Найглибша десульфурація за цією технологією в ковшах з масою чавуну менш як 120 т забезпечується на металургійних комбінатах Уханю, Тайюаня і Сянтаня, де значну частину чавуну обробляють гранульованим магнієм для зменшення вмісту сірки до 0,001 - 0,002.

Інтенсивність введення магнію на цих заводах змінюють у межах 6-10 кг/хв. Виняткова керованість і рівномірність подачі магнію дають змогу обробляти ковші з досить великим наповненням – висота вільного простору в ковші до 0,3 м.

Номограма залежності питомих витрат магнію від вихідного й кінцевого вмісту сірки в чавуні в процесі десульфурації у ковшах середнього об'єму (75-120 т) вдуванням магнію через фурму з випарником на виході наведена на рис. 2.6.

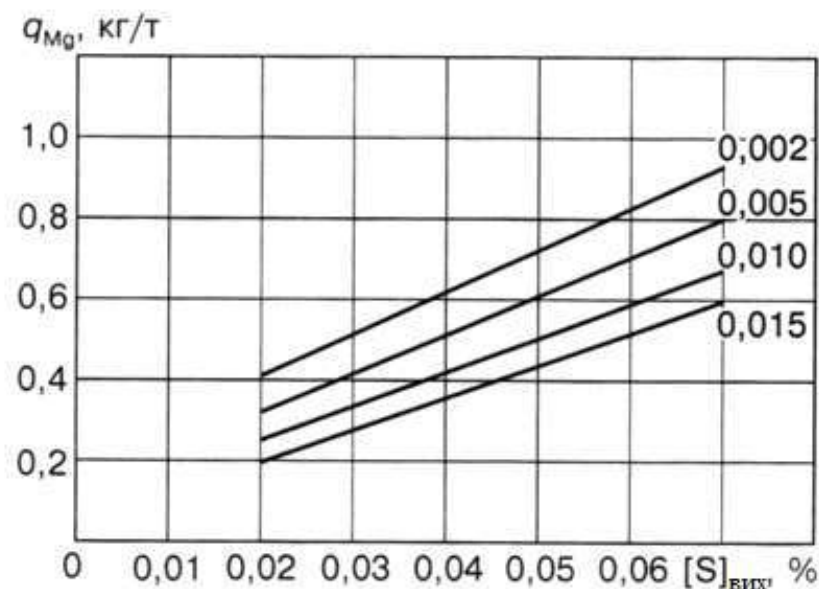


Рис.2.6 Залежність питомої витрати магнію ( $q_{Mg}$ ) від вихідного вмісту сірки в чавуні ( $[S]_{\text{вих}}$ ) при вдуванні через фурму з випарником

Маса чавуну в ковшах 75-130т.

Цифри біля кривих – кінцевий вміст сірки в чавуні %.

Видно, що для видалення сірки з чавуну витрачається дуже мала кількість магнію. Обумовлено це високим ступенем засвоєння магнію і його малою витратою на сірку, що видалається (див. табл. 2.1). Ця ж технологія вдування застосовується для десульфурації чавуну в ковшах невеликого об'єму (маса чавуну менше 65 т) з тією відмінністю, що процес здійснюється за інших параметрів обробки, а інтенсивність введення магнію, як правило, не перевищує 7 кг/хв.

Фурма (глибина занурення 3,0 - 3,6 м) з випарною камерою на виході була перевірена під час десульфурації чавуну в 350-т заливальних ковшах ВАТ «Азовсталь» [22].

При витраті інжекторного газу (азот, аргон) 90-100 м<sup>3</sup>/год, тиску в системі енергозабезпечення 0,6 МПа і високій інтенсивності подачі магнію (до 13-14 кг/хв) забезпечується досить стійке введення магнію в розплав чавуну. Незважаючи на відносно невисокий вихідний вміст сірки в чавуні (у середньому 0,015 %) і відносно невелику питому витрату магнію (0,14 кг/т чавуну) вміст сірки було зменшено до 0,001-0,006 %, у середньому до 0,005 %. Витрата магнію на видалену сірку становила 1,75 кг/кг, досягнуто дуже високого питомого ступеня десульфурації (34 % на кожному 0,1 кг/т магнію, що вдувається), а загальний ступінь десульфурації - 90 %.

За досить високої ефективності застосування фурми з випарником для вдування магнію в великовантажні ковші (з глибиною ванни понад 2,8 м) встановлено, що в деяких випадках спостерігалось неповне випаровування магнію в камері, тому доводилося знижувати інтенсивність його подачі. Зважаючи на збільшену загальну витрату магнію (на ківш), вищий тиск у випарній камері та, відповідно, нижчу інтенсивність випаровування магнію при глибині його введення в розплав > 2,8 м відбувалося сильне активне заростання внутрішньої порожнини випарника.

Останнє призводило до зменшення працездатності та пропускної здатності поста десульфурації чавуну. Виявлені недоліки послужили

підставою розроблення принципово нової технології та системи вдування магнію на велику глибину розплаву.

#### 2.4 Вибір конструкції фурми для позадоменної десульфурації чавуну магнієм

Отже, як було встановлено у попередніх розділах даної роботи, нині для вдування в рідкий чавун диспергованого магнію в потоці газоносія (азот, аргон, природний газ) широко використовуються фурми з випарною камерою (рис. 2.5, а), розроблені співробітниками Інституту чорної металургії (ІЧМ) ім. З.І.Некрасова Національної академії наук України [1, 18-20]. Дана конструкція забезпечує попередню взаємодію диспергованого магнію, що вдувається, з поверхнею рідкого чавуну в межах нижньої частини випарника з подальшим виходом за його межі пароподібної суміші магнію з нейтральним або відновлювальним газом у вигляді бульбашок.

Завдяки видаленню торця металевої трубки від поверхні розплаву, за умови оптимальної швидкості введення магнію, попереджається заварювання вихідного сопла бризками металу і знижується інтенсивність настилеутворення на внутрішній поверхні випарника.

Визначаючи високу ефективність процесу десульфурації чавуну вдуванням диспергованого магнію через фурми з випаровувачем конічної форми (рис. 2.5 а), автори [33, 34] вказують на проблеми, які виникають під час реалізації процесу:

- труднощі в обслуговуванні великої за розмірами фурми;
- невеликий темп подачі магнію, щоб уникнути прориву парів магнію на поверхню розплаву;
- зниження наповнюваності чавуном звичайних ковшів;
- більш висока вартість фурми.

Із зарубіжних розробок, що забезпечують вдування диспергованого магнію, необхідно відзначити розроблений інститутом ІРСІД (Франція) [35] спосіб інжектування магнію через прямоточну фурму з двома концентричними каналами і змінним наконечником (рис. 2.7).

Реагент + газ-носі́й

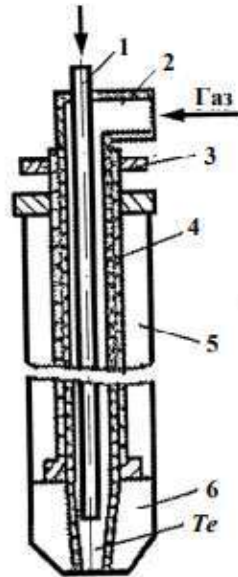


Рис. 2.7 Прямоточна ІРСІД-фурма:

- 1 – трубка для вдування реагенту; 2 – зовнішня труба; 3 – підтримуюче кільце; 4 – жорстка арматура; 5 – вогнетривке футерування; 6 – знімний наконечник; 7 – зона перемішування двох потоків

Конструкція фурми забезпечувала збільшення швидкості газу в периферійному каналі до надзвукової, що скорочувало або унеможлиблювало контакт частинок магнію зі стінками каналу і оберігало зріз сопла від заварювання.

Недоліком розробленої ІРСІД фурми (рис. 2.7), порівняно з фурмою з випарною камерою (рис. 2.5 а), була висока витрата газу-носія (до 180  $\text{нм}^3/\text{год}$ ), низька концентрація реагенту в газопорошковому струмені і мала стійкість наконечника фурми (12-25 обробок).

Оскільки зазначені конструкції фурм (рис. 2.5 а, 2.7) не дають змоги забезпечити розосереджене введення десульфуратора в розплав і спокійний характер обробки чавуну в повністю заповнених заливальних ковшах за витратою магнію понад 9 кг/хв, то відповідно до поставлених задач дослідження, в даній роботі обрано конструкцію багатосоплової занурювальної фурми, яка позбавлена зазначених недоліків.

В обраній конструкції (рис. 2.8) двопотокової занурювальної фурми [36] диспергований магній у потоці несучого азоту подається центральною трубою до змінного багатосоплового (2-4 сопла типу «труба в трубі») наконечника, який забезпечує розосереджене вдування газопорошкових струменів в об'єм рідкого чавуну.

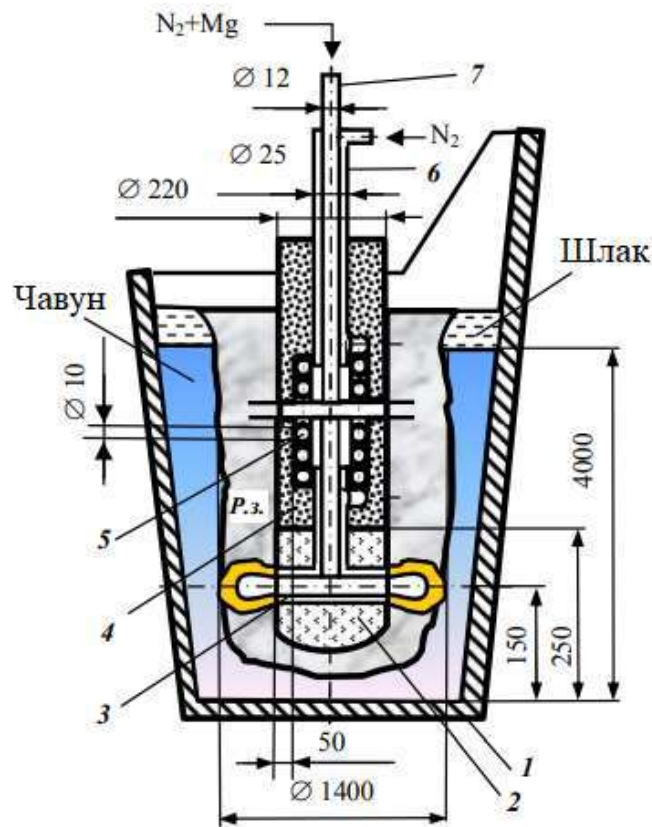


Рис. 2.8 Схема обраної конструкції двопотокової занурювальної фурми:  
 1 – заливальний ківш; 2 – знімний наконечник фурми; 3 – сопла типу «труба в трубі»; 4 – вогнетривке футерування; 5 – змійовик; 6 – зовнішня труба;  
 7 – труба для вдування реагенту

При цьому забезпечується витікання газопорошкових струменів у кільцевій оболонці захисного газу (азоту), що підігрівається до температури 300-500 °С за рахунок тепла чавуну до певної температури в трубопроводі, покладеному витками (змійовик) по зовнішньому боці сталеві арматури фурми, укладеної у вогнетривку футерівку.

Такий спосіб продування чавуну з використанням фурми (рис. 2.8) має сприяти:

- скороченню часу обробки розплаву і забезпеченню спокійного характеру продування при більш інтенсивному інжектуванні диспергованого магнію;
- запобіганню заварюванню сопел фурми при зменшеній витраті технологічних газів;
- ліквідації вигину фурми та підвищенню стійкості вогнетривкого футерування, особливо на кордоні метал-шлак, завдяки значному зніманню теплового навантаження з зовнішньої поверхні занурюваного продувника, що занурюється.

## 2.5 Оцінка ефективності застосування фурми без випарника для інжектування гранульованого магнію у великовантажні ковші

На відміну від умов рафінування чавуну за глибини розплаву менше 2,5 м (вдування здійснюється за швидкості потоку, як правило, менше 30-40 м/с, а процеси нагрівання, плавлення та випаровування часток магнію завершуються до безпосереднього його вдування в розплав чавуну) новий технологічний процес для великовантажних ковшів із великою глибиною ванни орієнтований на виключення випарної камери в конструкції фурми, збільшення швидкості потоку, перенесення всіх тепло- і масообмінних процесів у розплав чавуну і на створення більш розвиненої реакційної зони для поліпшення теплообміну, масообміну між двофазним магнійвмісним потоком, що вдувається, і рідким чавуном.

Газодинамічні параметри інжекційно-дозувальної системи забезпечують стійке вдування магнію на глибину розплаву до 4 м при витратах газу, що інжектує, менше 130 м<sup>3</sup>/год. При забезпеченні питомого ступеня десульфурації близько 30 % (на кожному 0,1 кг/т магнію, що вдувається) витрата магнію на видалену сірку становить у середньому 1,5 кг/кг. Процес гарантовано забезпечує задане зменшення вмісту сірки в чавуні.

Номограма питомих витрат магнію під час десульфурації чавуну у великовантажних ковшах із застосуванням фурм нової конструкції без випарної камери наведена на рис. 2.9, 2.10.

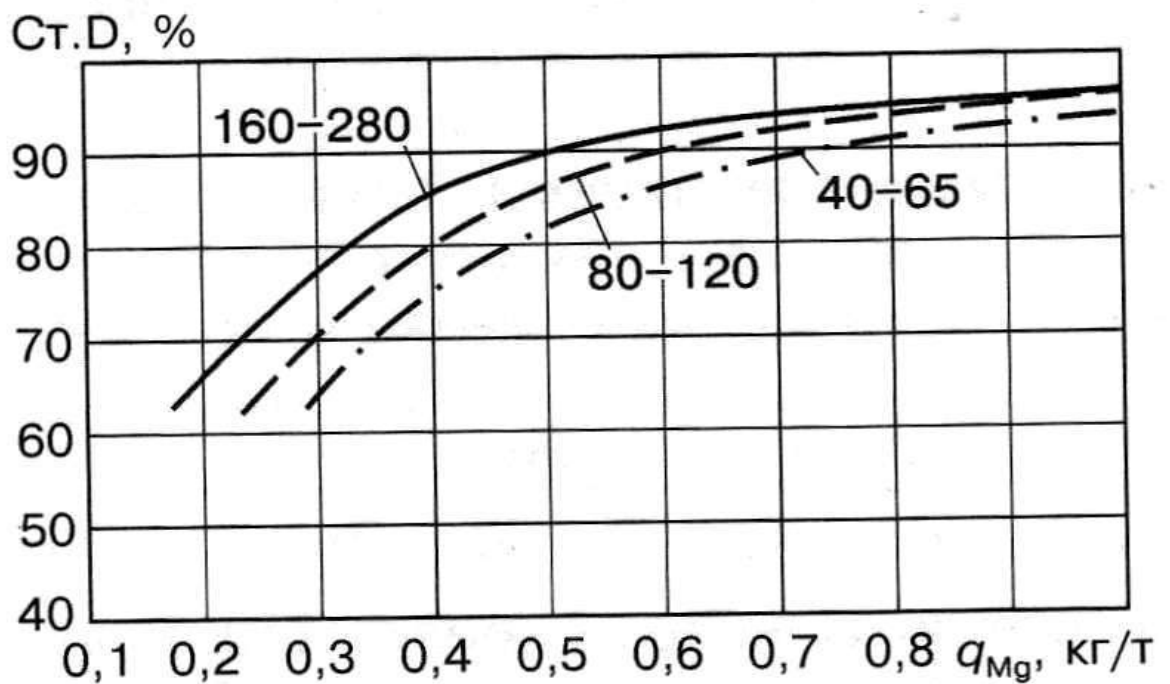


Рис. 2.9. Залежність ступеня десульфурації чавуну (Ст.D) від питомої витрати  $q_{Mg}$  при вдуванні гранульованого магнію в середовищі азоту

Цифри біля кривих – маса чавуну в ковші, т

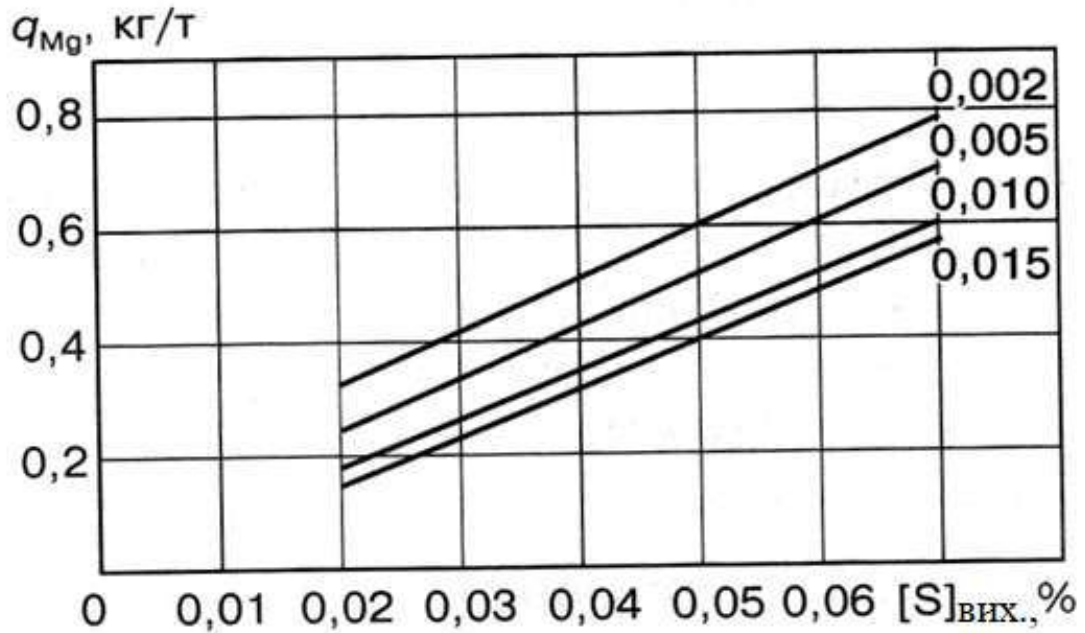


Рис. 2.10. Діаграма залежності питомої витрати магнію ( $q_{Mg}$ ) від вихідного вмісту сірки в чавуні ( $[S]_{вих}$ ) під час вдування магнію через фурму без випарної камери в ковші з масою чавуну понад 140т  
Цифри біля кривих – кінцевий вміст сірки в чавуні, %

Співставляючи дані рис. 2.9 і 2.10, бачимо, що в останньому випадку (вдування магнію в великовантажні ковші) потрібна більш низька питома витрата магнію, тобто в новій технології реалізовано позитивні та пріоритетні властивості магнієвого реагенту (без пасивних добавок  $CaO$  і  $CaC_2$ ) при рафінуванні великої ванни чавуну.

Основні промислові параметри модернізованого процесу десульфурації чавуну зернистим або гранульованим магнієм такі:

Маса рідкого чавуну в ковші, т	не обмежується
Висота вільного простору в ковші, м	до 0,2 - 0,3
Температура чавуну, °С	не обмежується
Кількість вихідного шлаку в ковші	за умовами замовника

Початковий вміст сірки в чавуні, %	не обмежується
Необхідний гарантований вміст сірки в чавуні після десульфурації, %	за умовами замовника ( до 0,001)
Витрата інжекторного газу, м <sup>3</sup> /год	< 110
Тиск інжекторного газу в подавальному трубопроводі, МПа	0,7-0,8
Інтенсивність подавання Mg, кг/хв	10-26
Тривалість продувки, хв	3-6
Витрата Mg, кг/т чавуну	0,3-0,5

Отже, нова технологія десульфурації гранульованим магнієм зберігає переваги застосованих українських процесів десульфурації чавуну вдуванням магнію в частині найвищого ступеня засвоєння реагенту і, відповідно, найменших його витрат, найменших додаткового шлакоутворення та втрат чавуну зі шлаком, втрат температури чавуну, високої стабільності та надійності в експлуатації та водночас забезпечує краще диспергування вдуваного магнію та збільшення практично вдвічі інтенсивності його введення. Дуже важливою перевагою нового способу вдування магнію є те, що процес вдування в ковші протікає спокійніше і стійкіше, одночасно збільшується надійність роботи фурменого пристрою.

Стосовно доменних печей доменних цехів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» додатковий економічний ефект може бути отримано завдяки скороченню питомої витрати коксу при виведенні (або скороченні до мінімуму) з шихти сирого вапняку і допущенні збільшення вмісту сірки в чавуні. При малій витраті флюсу зменшується кількість шлаку і знижується кількість тепла на його розплавлення, внаслідок чого знижується кількість тепла, що виноситься зі шлаком з печі. Крім того, зменшується і витрата тепла на розкладання карбонатів основного флюсу. Кислий шлак стійкіший за основний за в'язкістю і за температурою плавлення і тому забезпечує рівний і стійкий режим доменної плавки.

Великою перевагою кислого шлаку є можливість форсованого ведення печей, тому що цей шлак не створює великого гідравлічного опору, як основний, кількість його менша і він стійкий («довгі» шлаки).

Перехід на кислі шлаки і боротьба з сіркою поза доменною піччю виключає вимогу низького вмісту сірки в коксі. Крім того, кислі шлаки дадуть можливість перейти на агломерат меншої основності, а це забезпечить його більшу міцність і, отже, кращу газопроникність стовпа матеріалів.

Для аналізу обрали найкращий за останній час період роботи доменної печі об'ємом 5000 м<sup>3</sup> та, використовуючи методику врахування впливу технологічних чинників на питомі витрати коксу і продуктивність доменної печі, отримали наведені їхні значення для нових умов плавки (табл. 2.2, періоди: Б - базовий, Р - перспективний - розрахунковий).

Таблиця 2.2

Техніко-економічні показники доменної печі корисним об'ємом 5000 м<sup>3</sup>

Показники	Періоди		±К, кг/т	±П, т/сут
	Б	Р		
Тривалість періоду, діб.	31			
Продуктивність, т/добу	9826			
Приведена продуктивність, т/добу	9826	10479		
Витрата коксу (К), кг/т	426,8			
Приведення витрата коксу, кг/т	426,8	408,9		
Вміст S в чавуні %:	0,019	0,030	-0,146	+2,7
Вихід шлаку, кг/т	402	374	-4,18	+165,1
Витратні коефіцієнти, кг/т:				
агломерат ГЗК №1	134,4	0		
агломерат ГЗК №2	1192	1672		
окатиші ПГЗК	300,3	0		

шлак збагачений	56,4	0		
скрап металевий	51,3	0		
брикети (БЖС)	3,9	0		
вапняк	28,0	0	-6,0	+137,6
Основність шлака, ед.	1,22	1,04		
Середньозважена фракція -5 мм, %	8,34	4,8	-7,6	+347,8
Усього			-17,9	+653,2

Застосування пропонованої технології доменної плавки згідно призведе до:

- збільшення продуктивності печі на 6,65 %;
- зменшення витрат коксу на 17,9 кг/т чавуну.

#### Висновки по Основній частині

1. Виконаний порівняльний аналіз сучасних методів введення магнію в рідкий чавун показав найбільшу ефективність процесу позапічної обробки чавуну вдуванням магнію без пасивуючих добавок, тобто реалізації найпростішої принципової схеми інжекційної технології.

2. Дослідження кінетики розчинення магнію в чавуні та реакцій, що протікають під час цього, послужили підставою для висновку про те, що десульфурацію чавуну магнієм слід розглядати як процес, ефективність якого визначається співвідношенням швидкостей утворення сульфідів за реакцією і часткового їхнього окислення розчиненим у металі киснем, оксидами шлаку та киснем газової фази. Під час обробки чавуну магнієм основна кількість сірки видаляється з металу в результаті взаємодії з пароподібним магнієм на поверхні бульбашок десульфуратора, що спливають у розплаві. Зміни умов розчинення магнію в оброблюваному металі не чинить істотного впливу на ефективність обробки.

3. Причиною підвищення ефективності використання магнію на десульфурацію металу при зниженні температури чавуну є зменшення окиснення розплаву. При високій температурі чавуну для підвищення ефективності використання десульфуратора може бути використано розкислення металу перед початком обробки, наприклад, алюмінієм. Під час промислових експериментів показано, що під час заміни чистого магнію вторинним сплавом, що містить 12,2% алюмінію, ступінь використання магнію на десульфурацію чавуну збільшився з 35,8 до 46,6 %;

4. При інжектуванні гранульованого магнію в чавун у потоці аргону або азоту використання режимів, коли концентрація магнію в газі-носії становить 12-15 кг/м<sup>3</sup> і більше, виправдане, якщо обладнання відділення десульфурації чавуну має забезпечувати максимально можливу його продуктивність. За низького завантаження обладнання для підвищення ефективності використання десульфуратора доцільний перехід до режимів, які передбачають обмеження швидкості подачі магнію і збільшення витрати газу-носія.

5. Було виконане порівняння ефективності використання різних конструкцій фурм для введення магнію в чавун. Встановлено, що за досить високої ефективності застосування фурми з випарником для вдування магнію в великовантажні ковші (з глибиною ванни понад 2,8 м), в деяких випадках спостерігалось неповне випаровування магнію в камері, тому доводилося знижувати інтенсивність його подачі. Зважаючи на збільшену загальну витрату магнію (на ківш), вищий тиск у випарній камері та, відповідно, нижчу інтенсивність випаровування магнію при глибині його введення в розплав > 2,8 м відбувалося сильне активне заростання внутрішньої порожнини випарника. Останнє призводило до зменшення працездатності та пропускної здатності поста десульфурації чавуну. Виявлені недоліки послужили підставою розроблення принципово нової технології та системи вдування магнію на велику глибину розплаву.

7. Також розглянута прямоточна ІРСІД-фурма без випарника для вдування диспергованого магнію. Конструкція фурми забезпечувала збільшення швидкості газу в периферійному каналі до надзвукової, що скорочувало або унеможлиблювало контакт частинок магнію зі стінками каналу і оберігало зріз сопла від заварювання. Недоліком ІРСІД фурми, порівняно з фурмою з випарною камерою, була висока витрата газу-носія (до  $180 \text{ м}^3/\text{год}$ ), низька концентрація реагенту в газопорошковому струмені і мала стійкість наконечника фурми (12-25 обробок).

8. Оскільки зазначені конструкції фурм не дають змоги забезпечити розосереджене введення десульфуратора в розплав і спокійний характер обробки чавуну в повністю заповнених заливальних ковшах за витратою магнію понад  $9 \text{ кг/хв}$ , то відповідно до поставлених задач дослідження, в даній роботі обрано конструкцію багатосоплової занурювальної фурми, яка позбавлена зазначених недоліків.

9. В обраній конструкції двопотокової занурювальної фурми диспергований магній у потоці несучого азоту подається центральною трубою до змінного багатосоплового (2-4 сопла типу «труба в трубі») наконечника, який забезпечує розосереджене вдування газопорошкових струменів в об'єм рідкого чавуну. При цьому забезпечується витікання газопорошкових струменів у кільцевій оболонці захисного газу (азоту), що підігрівається до температури  $300\text{-}500 \text{ }^\circ\text{C}$  за рахунок тепла чавуну до певної температури в трубопроводі, покладеному витками (змійовик) по зовнішньому боці сталевій арматури фурми, укладеної у вогнетривку футерівку.

10. Для діючих доменних печей додатковий економічний ефект може бути отримано завдяки скороченню питомої витрати коксу при виведенні (або скороченні до мінімуму) з шихти сирого вапняку і допущенні збільшення вмісту сірки в чавуні. При малій витраті флюсу зменшується кількість шлаку і знижується кількість тепла на його розплавлення, внаслідок чого знижується кількість тепла, що виноситься зі шлаком з печі. Крім того,

зменшується і витрата тепла на розкладання карбонатів основного флюсу. Кислий шлак стійкіший за основний за в'язкістю і за температурою плавлення і тому забезпечує рівний і стійкий режим доменної плавки.

### 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Забезпечення безпеки праці, захист працівників підприємства від шкідливих факторів сприяє ефективному використанню енергії, що витрачається, а отже, збільшує продуктивність праці.

Основне в проблемі безпеки праці – турбота про людину. Але велике значення має і запобігання економічним втратам, що спричиняються виробничим травматизмом і професійними захворюваннями. Проблемі охорони праці приділяється велика увага в багатьох країнах і для її розв'язання вживаються заходи в національних і міжнародних масштабах. Основне значення у зв'язку з цим має усунення шкідливого впливу технологічних процесів на людину і навколишнє середовище, для чого насамперед необхідно оздоровлення умов праці на підприємстві.

Загальними законами України, що визначають основні положення з охорони праці, є Конституція України, Кодекс законів про працю України та Закон України «Про охорону праці». Спеціальними законодавчими актами є міжгалузеві та галузеві акти про охорону праці та багато інших нормативних документів.

Під час виконання дипломної роботи було проведено аналіз основних шкідливих і небезпечних чинників доменного виробництва і розроблено заходи щодо зниження їхнього рівня

#### 3.1 Основні шкідливі та небезпечні фактори в умовах доменного виробництва

Основні шкідливі фактори у доменному виробництві становлять серйозну загрозу для здоров'я працівників і потребують постійного контролю та дотримання норм безпеки. До них належать:

- підвищена запиленість повітря;
- надмірний шум і вібрації;

- електронезбезпека;
- теплове випромінювання;
- ризики займання й вибуху.

Джерела пилу зосереджені у найактивніших ділянках виробництва: рудному дворі, бункерній естакаді, підбункерному приміщенні, скіповій ямі та колошнику під час завантаження шихти. Пил також утворюється при очищенні пиловловлювачів. Його склад і дисперсність залежать від характеристик шихтових матеріалів, і зазвичай він повторює їхній хімічний склад.

Колошникові майданчики вважаються особливо небезпечними через загрозу отруєння чадним газом (СО). Роботи тут виконуються лише за нарядом-допуском і виключно під наглядом газорятувальної служби. У цьому середовищі також спостерігається висока запиленість, що пов'язано з коливанням виносу пилу колошниковими газами — від 5 до 150 кг на тонну чавуну.

Під час роботи двоконусного засипного апарата виникає перепад тиску, що спричиняє викид пилу в повітря при опусканні великого конуса. Зменшити цей вплив можливо лише шляхом герметизації засипних пристроїв, особливо за умов підвищеного тиску.

Пил, що містить оксиди кремнію, заліза та інші мінерали, може проникати в легені, спричиняючи тяжкі захворювання дихальної системи й кисневе голодування організму.

Шумові навантаження надходять від коксівних грохотів, вібропоглиначів, мотор-генераторів, вентиляцій та витоків повітря. Вібрації виникають при русі поїздів, роботі віброгрохотів, скіпів та устаткування машинного залу. Їхній вплив призводить до уражень слуху, серцево-судинних порушень, варикозу та вегетативних розладів.

Електробезпека – окрема категорія ризиків. Усі приміщення доменного цеху віднесені до особливо небезпечних через наявність вологи, струмопровідного пилу та високих температур металоконструкцій.

Електричний струм діє раптово й майже завжди — із серйозними наслідками. Тому необхідний строгий контроль за справністю обладнання, використання лише справних та ізольованих кабелів, а також правильне прокладання ліній живлення.

Газова небезпека включає ризик займання та вибухів. Вибухонебезпечні суміші утворюються внаслідок неправильного змішування газу з повітрям і можуть виникати в різних частинах системи – у печах, трубопроводах, скруберах, повітродувках, теплушках тощо. Часто це є наслідком технічних несправностей або людського фактора.

Раптове займання газу можливе на колошнику за несправності засипного апарата, при завантаженні холодного коксу, або в разі розривів кожуха шахти. Небезпека також зростає при порушеннях у роботі вентилів та неузгодженості дій персоналу.

Окрема загроза – вибухи рідких продуктів плавки в разі контакту розплавленого металу з вологою. Такі інциденти можуть бути раптовими та руйнівними.

Унікальність роботи в доменному цеху — візуальний контакт із відкритими джерелами тепла та світла: розплавлений чавун, шлак, палаючі факели газу. Вони мають яскравість, різко контрастну до загального фону, що створює додаткове навантаження на зір працівників.

### 3.2 Заходи щодо зниження впливу шкідливостей і небезпек на робочій ділянці

З урахуванням основних небезпек, що існують на дільницях виробництва, заборонено роботу в газонебезпечних місцях без ізолювальної апаратури і газорятувальних.

Боротьба з шумом і вібрацією в доменному цеху забезпечується належною щільністю повітропроводів, запірної арматури, кожуха печі та

кожуха повітрянагрівачів, а також різними захворюваннями для робітників, пов'язаними з підвищеною запиленістю та сильною вібрацією.

Зниження шуму і вібрації на вібраційних грохотах досягається використанням амортизуючої підвіски. У місцях, де неможливо домогтися санітарних норм щодо забрудненості повітря, застосовуються спецзасоби і засоби індивідуального захисту.

У зв'язку із запиленістю і загазованістю зовнішнього повітря можливе занесення пилу в побутові приміщення. Тому в будівлях підтримується надлишковий тиск  $1 \text{ кгс/м}^2$  створюваний механічним припливом.

### 3.2.1 Засоби індивідуального захисту

Індивідуальні засоби захисту слугують для захисту органів зору, дихання, слуху, а також голови, рук, ніг і тіла. Для захисту органів дихання від пилу застосовується безоплатний респіратор «пелюстка», а в разі підвищеної загазованості, яку визначають працівники газо-рятувальної станції, промислові протигази типу «Урал 1», «Урал 1М», РТК-1, РТК-2. Так само як засоби індивідуального захисту органів слуху застосовують зовнішні та внутрішні протишуми (антифони). Зовнішні протишуми (шумозахисні навушники) прикривають вушну раковину.

Як захист працівника від дрібних предметів, що падають з висоти, передбачені фіброві каски.

Спеціальні захисні окуляри оберігають органи зору при спостереженні за рухом розплавлених мас.

Для захисту від шуму застосовують протишумні навушники, антифони.

Для захисту органів дихання застосовуються різні респіратори типів: ШБ-1, Астра-2, У-2К, РП-К тощо. Для захисту очей працівників від інфрачервоного випромінювання використовують і окуляри-світлофільтри із синього скла.

### 3.3.2 Створення санітарних умов

Виробничий процес у доменному цеху, згідно з санітарно-гігієнічною класифікацією СНиП 2.09.04-87, належить до першої групи складності. Для такої категорії обов'язковим є облаштування повного комплексу санітарно-побутових приміщень: гардеробних, душових, умивальних, туалетів, пунктів харчування, медичних постів і джерел питного водопостачання.

Ці приміщення зазвичай розміщуються в окремій будівлі поблизу доменного цеху – три- або чотириповерховій споруді, що сполучається з виробничою зоною закритим теплим коридором. У гардеробних використовуються подвійні шафи для роздільного зберігання чистого та робочого одягу. Працівникам видаються два комплекти спецодягу: один використовується, інший – проходить обробку (чистку, сушіння тощо).

Через значне тепловиділення в зоні робочих місць, особливо в літній період, передбачено активну систему аерації. На даху встановлюються спеціальні припливно-витяжні отвори: нижні — для припливу повітря в теплу пору року, верхні — для відведення гарячого повітря як взимку, так і влітку. Така система вентиляції дозволяє ефективно регулювати мікроклімат: влітку відкриваються обидва ряди отворів, взимку — лише верхні, що дозволяє попередньо підігрівати повітря в приміщенні.

Гардеробні та душові приміщення розраховуються за загальною кількістю працівників із урахуванням 5 % резерву. Кількість душових сіток визначається з розрахунку 1 на кожні 3 особи, кранів умивальників – 1 на 20 осіб. Ці зони розташовані безпосередньо поруч одна з одною для зручності.

Для організації харчування персоналу передбачено їдальню або буфет. Посадочні місця в них визначаються з розрахунку одне місце на кожні чотири працівники.

У цеху розміщуються питні фонтанчики й автомати з підсоленою газованою водою – по 4-5 літрів на кожного працівника. У теплу пору року видається білково-вітамінний напій для відновлення водно-сольового

балансу. Відстань від робочого місця до джерела питної води не перевищує 75 метрів, причому кількість питних пристроїв розраховується з норми: один пристрій на 15 осіб. Санвузли розташовані в аналогічній доступності (не далі 75 метрів), а кількість санітарних приладів — унітазів, пісуарів тощо — визначається так само: один прилад на кожні 15 працівників.

### 3.4 Пожежна профілактика

Доменний цех класифікується як об'єкт категорії «Г» за ступенем пожежної небезпеки. Це пов'язано з характером виробничого процесу – обробкою вогнетривких матеріалів у розплавленому стані, що супроводжується інтенсивним тепловим випромінюванням, появою іскор і відкритого полум'я. Забезпечення пожежної безпеки є не просто вимогою, а невіддільною частиною щоденної роботи всіх працівників комбінату — від робітників до керівників і фахівців.

Потенційними осередками загоряння можуть стати зони зберігання мастильних матеріалів або вузли обладнання, де можливі витіки масла. Основна будівля цеху споруджена з незгоряючих матеріалів і належить до вогнетривких конструкцій.

Серед найбільш ймовірних причин виникнення пожежі:

- несправна або перевантажена електропроводка;
- проведення зварювальних робіт (зокрема, газове різання);
- витіки газу з пошкоджених трубопроводів.

З метою мінімізації ризику загоряння вжито ряд превентивних заходів:

- миттєве відключення електрообладнання при виникненні пожежі;
- регулярне прибирання горючого пилу та технологічних залишків;
- періодичний огляд усіх електроустановок та нагрівального обладнання;
- чітке зонування зберігання мастильних матеріалів у визначених місцях;
- посилений контроль за технічним станом сальникових ущільнювачів, редукторів, запобігання витіку масла;

- укладання електропроводки в герметичні тунелі.

Протипожежне оснащення цеху відповідає всім вимогам:

- на кожні 400 м<sup>2</sup> встановлено по одному вогнегаснику типу ВП-10;
- кожен мостовий кран обладнано вогнегасником ВВ-5 у кабіні машиніста;
- біля входів розміщено ящики з піском та совковими лопатами;
- на площі 40000 м<sup>2</sup> змонтовано 100 вогнегасників, 8 пожежних щитів і 8 піщаних ящиків (по одному на кожні 5000 м<sup>2</sup>).

Для пожежної техніки забезпечено під'їзди з усіх боків цеху. Водопостачання до доменних печей організовано централізовано. План евакуації гарантує швидке та безпечне виведення людей у разі надзвичайної ситуації.

Технологічний процес доменної плавки розроблено з урахуванням безпеки. При появі ознак витoku газу негайно знижується тиск подачі, а влітку додатково відкриваються вікна, вентиляційні шахти в даху та отвори в стінах для природного охолодження й вентиляції.

В підсобних приміщеннях, де працівники перебувають не постійно, встановлена автоматична пожежна сигналізація, що забезпечує своєчасне сповіщення пожежної служби про місце займання.

Крім того, всі будівлі цеху обладнані блискавковідводами для захисту від атмосферних електричних розрядів.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В Аналітичній частині даної дипломної роботи виконаний порівняльний аналіз сучасних методів позапічної десульфурзації чавуну, а саме шляхом вдування вапна, суміші вапна з содою, соди, карбїду кальцію і магнію, кожен з яких має свої певні недоліки.

2. Найпоширенішим методом десульфурзації є десульфурация магнієм. Десульфурацию проводять здебільшого в чавуновозних ковшах і ковшах міксерного типу, при цьому використовують гранульований магній і пасивований магній, а за кордоном – магнієвий кокс.

3. У промисловій практиці обробки чавуну магнієм застосовують також у вигляді гранульованого без домішок, гранульованого з домішками і наповнювачами, а також у вигляді порошкового в суміші з наповнювачами та іншими матеріалами. Застосування магнію в суміші з наповнювачами не є найкращим варіантом для його засвоєння, оскільки призводить до невірних втрат магнію на взаємодію зі складовими наповнювача.

4. В Основній частині роботи виконана оцінка ефективності різних методів введення магнію в рідкий чавун. Встановлено, що незважаючи на зовнішню простоту і привабливість, процес десульфурзації чавуну магнієвмісним дротом не можна віднести до раціонального технологічного рішення для умов великопромислового металургійного виробництва. Визначені основні недоліки цього процесу, а саме обмежений ступінь управління інтенсивністю випаровування магнію; відсутність можливості організації випаровування магнію біля дна ванни рідкого чавуну; недостатня однорідність розплаву (по сірці) в різних зонах ванни; низький ступінь засвоєння магнію; велика тривалість процесу введення магнію в розплав і невисока пропускна здатність поста десульфурзації; дуже висока ціна реагенту в дроті; великі витрати на десульфурацию чавуну магнієвмісним дротом.

5. В якості найбільш ефективної в дипломній роботі обрана технологія позапічної обробки чавуну вдуванням магнію без пасивуючих добавок, шляхом найпростішої інжекційної технології.

6. Визначення шляхів підвищення ефективності використання магнію для позадоменної десульфурації чавуну дозволило зробити висновок, що під час обробки чавуну магнієм основна кількість сірки видаляється з металу в результаті взаємодії з пароподібним магнієм на поверхні бульбашок десульфуратора, що спливають у розплаві. Зміни умов розчинення магнію в оброблюваному металі не чинить істотного впливу на ефективність обробки.

7. При інжектуванні гранульованого магнію в чавун у потоці аргону або азоту використання режимів, коли концентрація магнію в газі-носії становить 12-15 кг/м<sup>3</sup> і більше, виправдане, якщо обладнання відділення десульфурації чавуну має забезпечувати максимально можливу його продуктивність. За низького завантаження обладнання для підвищення ефективності використання десульфуратора доцільний перехід до режимів, які передбачають обмеження швидкості подачі магнію і збільшення витрати газу-носія.

8. Дослідження технології позапічної десульфурації чавуну шляхом інжекції «чистого» магнію показало, що залежно від умов рафінування вдування магнію може здійснюватися за двома варіантами: через занурювану фурму з випарною камерою на виході та через занурювану фурму без випарної камери на виході, але за спеціальної конструкції голівки фурми і спеціальних режимів вдування

9. За досить високої ефективності застосування фурми з випарником для вдування магнію в великовантажні ковші (з глибиною ванни понад 2,8 м) встановлено, що в деяких випадках спостерігалось неповне випаровування магнію в камері, тому доводилося знижувати інтенсивність його подачі. Зважаючи на збільшену загальну витрату магнію (на ківш), вищий тиск у випарній камері та, відповідно, нижчу інтенсивність випаровування магнію

при глибині його введення в розплав  $> 2,8$  м відбувалося сильне активне заростання внутрішньої порожнини випарника.

10. В дипломній роботі здійснено вибір конструкції фурми для позадоменної десульфурзації чавуну магнієм. В обраній конструкції двопотокової занурювальної фурми диспергований магній у потоці несучого азоту подається центральною трубою до змінного багатосоплового (2-4 сопла типу «труба в трубі») наконечника, який забезпечує розосереджене вдування газопорошкових струменів в об'єм рідкого чавуну. При цьому забезпечується витікання газопорошкових струменів у кільцевій оболонці захисного газу (азоту), що підігрівається до температури 300-500 °C за рахунок тепла чавуну до певної температури в трубопроводі, покладеному витками (змійовик) по зовнішньому боці сталевій арматури фурми, укладеної у вогнетривку футерівку.

11. Для діючих доменних печей додатковий економічний ефект може бути отримано завдяки скороченню питомої витрати коксу при виведенні (або скороченні до мінімуму) з шихти сирого вапняку і допущенні збільшення вмісту сірки в чавуні. При малій витраті флюсу зменшується кількість шлаку і знижується кількість тепла на його розплавлення, внаслідок чого знижується кількість тепла, що виноситься зі шлаком з печі. Крім того, зменшується і витрата тепла на розкладання карбонатів основного флюсу. Кислий шлак стійкіший за основний за в'язкістю і за температурою плавлення і тому забезпечує рівний і стійкий режим доменної плавки.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Десульфурация чугуна магнием/ Н.А. Воронова – М.: «Металлургия». – 1980. – 240 с.
2. Смірнов О. М., Семенко А. Ю., Скоробагатько Ю. П., Горюк М. С. Основы металлургии: производство чугуна: підручник. Одеса: Олді+. – 2023.– 192 с.
3. Влияние фракционного содержания извести на эффективность десульфурации чугуна. / А.Ф. Шевченко, О.Г. Кияшко, О.Н. Мальков – Известия ВУЗов ЧМ. – 1984. – № 4. – с. 16.
4. Розробка і дослідження ефективних комплексних реагентів і засобів десульфуратії чавуну на промислових установках «Криворіжсталі» і Макиївського металургійного заводу / Звіт про НДР 76.11. – 1976. – 154 с.
5. Schulz H. – P., Gerling H. – W. Entschwefeln durch Quirlen. Quirlverfahren vereinfacht Herstellung Von schwefelarmem Gusseisen u. stahl. «VDI-Nachrichten». 1972. – 26. - № 37. – s. 7
6. Haverkamp K.D. Desulphurization of iron with a paddle-type stirrer in the blast furnace runner. – «Iron and Steel Eng.». – 1972. – 49. - № 7. – p.49-51.
7. M. Durdán, J. Terpák, M. Laciak, J. Kačur, P. Flegner, G. Tréfa, "Hot Metal Temperature Prediction During Desulfurization in the Ladle", Metals,. – Vol. 14. – p. 1394. – 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/met14121394>
8. V. Visuri, T. Vuolio, T. Haas, T. Fabritius, "A Review of Modeling Hot Metal Desulfurization", Steel research international. – Vol. 91. – p. 19-44. – 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/srin.201900454>
9. Повышение качества чугуна путем внедоменной десульфурации / Н.А. Воронова // Бюллетень научно-технической информации. Черная металлургия. – 1976. – № 12. – с.3-23.
10. Carmichael I.F. et a. Bette sulphur control Mn steel. «J.W. Scot. Iron and Steel Inst.». – 1973-1974. – 81. – p. 59-79.
11. Pohl H., Maschlanka W. Die Entschwefelung des Reheisens nach dem Tauchlansen-Verfahren. «Stahl und Eisen». – 1967. – 87. - № 4. – s. 190-195.

12. Новые разработки в области внепечной десульфурации чугуна магнием / А.Г. Чернятевич, О.С. Вергун, К.И. Чубин / Труды международного конгресса доменщиков / Днепропетровск: Пороги, 1999 – 486с.
13. Исследование некоторых параметров процесса глубокой десульфурации чугуна вдуванием магния. / Н.О. Воронова, С.Т. Пликановський, О.К. Теслюк и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1969. – № 3. – С. 8-12.
14. Десульфурация чугуна вдуванием магния в чугуновозные ковши / Н.О. Воронова, С.Т. Пликановський, О.Ф. Шевченко и др. // *Сталь.* – 1974. – № 4. – С. 297–302.
15. Зборщик А. М., Куберский С. В., Косолап Н. В. Эффективность использования реагентов в современных процессах внедоменной десульфурации чугуна // *Черная металлургия.* – 2011. – № 12. – С. 35-40.
16. Шевченко А. Ф., Большаков В. И., Башмаков А. М. Технология и оборудование десульфурации чугуна магнием в большегрузных ковшах // *К.: Наук. думка, 2011. – 207 с.*
17. Шевченко А Ф. Выбор оптимального процесса рафинирования жидкого чугуна реагентами на основе магния // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1997. – № 4. – С. 6 - 9.
18. Большаков В. И., Шевченко А. Ф., Александров В. А. и др. Создание и промышленное применение современных аппаратурно-технологических комплексов десульфурации чугуна на металлургических комбинатах Китая // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2004. – № 4. – С. 6 - 11.
19. Шевченко А. Ф., Двоскин Б. В., Вергун А. С. и др. Применение технологии десульфурации чугуна чистым гранулированным магнием на Уханьском металлургическом комбинате // *Сталь.* – 2002. – № 4. – С. 46 - 48.
20. Большаков В. И., Башмаков А. М., Шевченко А Ф. и др. Совершенствование и промышленное применение украинской технологии десульфурации чугуна вдуванием магния // *Труды IV Международного конгресса сталеплавателей.* – Пекин (Китай), 2006. – С. 164 - 172.

21. Wu, L., Pei, F., Chen, Y. et al. Experimental Study on Deep Desulfurizer in LF Process. *J. Iron Steel Res. Int.* **19**, 17–21 (2012). [https://doi.org/10.1016/S1006-706X\(12\)60081-8](https://doi.org/10.1016/S1006-706X(12)60081-8).
22. Шевченко А. Ф., Большаков В. И., Башмаков А. М. Технология и оборудование десульфурации чугуна магнием в большегрузных ковшах // К.: Наук. думка, 2011. – 207 с.
23. Irons G.A., Guthrie R.I.L. The kinetics of magnesium vapour dissolution into pig iron // *Canadian Metallurgical Quarterly*. – 1976. – v.15. – № 4. – P. 325-332.
24. Irons G.A., Guthrie R.I.L. The kinetics of Molten Iron Desulfurization Using Magnesium Vapor // *Metallurgical Transactions B*. – v.12B. – December 1981. – P. 755-767.
25. Irons G.A., Guthrie R.I.L. The role of an interfacial product layer in magnesium desulphurization of molten iron // *Canadian Metallurgical Quarterly*. – 1982. – v.21. – № 4. – P. 429-443.
26. Зборщик А.М. Анализ термодинамики и кинетики десульфурации чугуна магнием. / А.М.Зборщик // *Сталь*. – 2001. – № 7. – С. 17-20.
27. Мачикин В.И. О лимитирующем звене процессов десульфурации чугуна и стали магнием / В.И. Мачикин., А.М. Зборщик, Е.Н. Складановский // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 1981. – № 7. – С. 32-36.
28. Зборщик А.М. Анализ результатов десульфурации чугуна инжектированием магния в потоке различных газов / А.М. Зборщик // *Черная металлургия*. – 2012. – № 7. – С. 65-72.
29. Speer M.C., Parlee N.A.D. Dissolution and Desulfurization Reactions of Magnesium Vapor in Liquid Iron Alloys // *AFS Cast Metals Research Journal*. – 1972. – V.8. – № 3. – P. 122-128.
30. Совершенствование оборудования для внепечной обработки чугуна / В.Ф. Омеляненко и др. // *Металлург*. – 1987. – No7. – С. 18-19.
31. Зборщик А.М. Влияние условий растворения магния в чугуне на эффективность десульфурации металла / А.М. Зборщик // *Известия вузов. Черная металлургия*. – 2010. – № 7. – С. 21-24.

32. Зборщик А.М. Особенности кинетики растворения магния в чугунах и их влияние на механизм десульфурации металла / А.М. Зборщик, Е.Н. Складановский // Известия вузов. – 2001. – № 9. – С. 16-17.
33. Янг Д.Х. Сравнение технологий инъекции фурмами различных типов // Сталь. – 2001. - № 4. – С. 22-24.
34. Ванг Юбин, Жанг Джинганг. Разработки в области технологии десульфурации чугуна на Angang Iron and Steel Corp., Аншан, Китай // VIII Международный симпозиум по десульфурации чугуна и стали (20-24 сентября, Нижний Тагил, Россия). – 2004. – С. 40-46.
35. Désulfuration et traitement de la fonte par injection de magnésium: le procédé USIRMAG 2 / I.Cordier, L.P.Chaussu, G.Lhussier e.a. // Revue de Métallurgie. – 1981. - № 3. – P. 201-212.
36. Численные исследования теплопередачи в двухпоточной погружной фурме для десульфурации чугуна магнием / Е.Л. Мастеровенко, Е.Н. Сигарев, А.Г. Чернятевич, К.И. Чубин // Математическое моделирование. – № 1 (18). – 2008. – С. 75-80.

## Звіт подібності

### метадані

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Власник

Малюк Роман Миколайович

Автор

Науковий керівник / Експерт

Малюк Роман Миколайович / Турчанков Є.В.

Назва

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

### Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



25

Джерела фраз для коефіцієнта подібності 2



12645

Кількість слів

95632

Кількість символів

### Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть створити про МСЖ/ІВІ заміну/вміст в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам надіслати до аналізу цього модуля відповідально. У разі незаконних запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		22
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		40

### Подібності за списком джерел

Нижче наведеної список джерел. В цьому списку в джерела із рідних баз даних. Копії тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення коефіцієнту подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

#### 10 найдовших фраз

Копія тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ВІДШТОК)
1	Аналіз роботи та удосконалення конструкції роторного вагонперевізача 12/15/2024 Zaporizhzhia National University (Кафедра металургійного обладнання)	48 0.38 %

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
 НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
 Кафедра металургійних технологій

**ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

бакалавра  
 (бакалавра, магістра)

Студента(ки) МАСЛОВ РОМАН МИКОЛАЙОВИЧ  
 (прізвище, ім'я та по-батькові)  
 групи ЗМЧМ-21

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра  
 (бакалавра, магістра)

Дослідження ефективності сучасних методів позапічної десульфурзації чавуну та вибір оптимального з метою підвищення ефективності доменної плавки

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>74</u>
таблиць	<u>2;</u>
схем і рисунків	<u>16;</u>
листів графічної частини (демонстраційного матеріалу)	<u>36</u>

**Якісні відмінності кваліфікаційної роботи** бакалавра  
 (бакалавра, магістра)

Виконаний порівняльний аналіз сучасних методів введення магнію в рідкий чавун показав найбільшу ефективність процесу позапічної обробки чавуну вдуванням магнію без пасивуючих добавок, тобто реалізації найпростішої принципової схеми інжекційної технології. Обрана конструкція двопотокової занурювальної фурми для подачі диспергованого магнію у потоці несучого азоту. При цьому забезпечується витікання газопорошкових струменів у кільцевій оболонці захисного газу (азоту) підігрітого до температури 300-500 °С.

Для діючих доменних печей додатковий економічний ефект може бути отримано завдяки скороченню питомої витрати коксу при виведенні (або скороченні до мінімуму) з шихти сирого вапняку і допущенні збільшення вмісту сірки в чавуні. Пояснювальна записка викладена структуровано, а графічна частина містить ілюстрації, що сприяють наочному представленню отриманих результатів

**Недоліки кваліфікаційної роботи** бакалавра  
 (бакалавра, магістра)

Деякі дослідження могли бути викладені детальніше, щоб забезпечити кращу відтворюваність результатів. Робота могла б містити більше порівняння запропонованих методів із альтернативними технологіями.

Ці недоліки не знижують загальну якість роботи, але вказують на можливі напрями для вдосконалення.

**Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи бакалавра, ступінь самостійності виконання:**

Здобувач Маслов Роман Миколайович продемонстрував високий рівень теоретичної підготовки та здатність до аналітичного мислення. Особливо слід відзначити його самостійність у виконанні досліджень та ініціативність у виборі методів аналізу.

Автор успішно застосував отримані знання з матеріалознавства та металургійних технологій для розв'язання поставленого завдання.

**Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра**

Результати роботи можуть бути використані для вдосконалення процесів позапічної десульфурації чавуну на металургійних підприємствах.

Пропозиції щодо обрання методу позапічної десульфурації магнієм мають практичну цінність і можуть бути впроваджені у виробничу діяльність.

бакалавра

Оцінка кваліфікаційної роботи

*відм.*

Керівник Кассім Дар'я Олександрівна

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Проф., д.т.н.

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

*А. Маслов*  
(підпис)

« 09 » липня 2025 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
 НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
 Кафедра металургійних технологій

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу

бакалавра

(бакалавра, магістра)

Студента(ки)

Маслов Роман Миколайович

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи ЗМЧМ-21

**Тема кваліфікаційної роботи**

бакалавра

(бакалавра, магістра)

Дослідження ефективності сучасних методів позапічної десульфурзації чавуну та вибір оптимального з метою підвищення ефективності доменної плавки

**Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи**

бакалавра

(бакалавра, магістра)

дослідження технології позапічної десульфурзації чавуну шляхом інжекції «чистого» магнію; вибір раціональної конструкції фурми для позадоменної десульфурзації чавуну магнієм

**Переваги кваліфікаційної роботи**

бакалавра

(бакалавра, магістра)

Робота присвячена вирішенню важливої виробничої проблеми — підвищенню ефективності роботи доменних печей за рахунок оптимізації методів позапічної десульфурзації чавуну, які б дали змогу поліпшити якість чавуну для подальшої переробки в сталеливарних і чавуноливарних виробництвах. Автор продемонстрував високий рівень самостійності у виконанні досліджень та творчий підхід до вирішення поставлених завдань.

**Недоліки кваліфікаційної роботи**

бакалавра

(бакалавра, магістра)

У роботі недостатньо порівняно запропоновані рішення із сучасними альтернативними технологіями введення магнію в рідкий чавун. Деякі розділи могли б бути доповнені більш детальними розрахунками для покращення наукової доказовості

**Рекомендації:**

У подальших дослідженнях рекомендується розширити аналіз альтернативних матеріалів і технологій.

Рецензент

Коренко М.Г.

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.т.н.

(посада, науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

**ДОВІДКА**  
про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

- Текст (вибрати необхідне):
- кваліфікаційної роботи;
  - навчальної/наукової праці;
  - наукових матеріалів

«Висвітлення ефективності управління логістикою механічної друкарської машини та її вплив на продуктивність з метою підвищення ефективності роботи ліній»

автором/авторами або виконавцем якої є:

Маслов Роман Михайлович

(ПІБ)

кафедра металургійних технологій

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 79 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «Водій».

Рівень оригінальності становить 96,39 %.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

- власними публікаціями;
- термінологією;
- посиланнями на літературу, праці вчених;
- посиланнями на законодавство;
- загальноживаними фразами.

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до

захисту каф. металургійних технологій на засіданні  
(подальшого розгляду, друку, опублікування тощо)

(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія тощо)

Державного університету економіки і технологій від «12» 06 2015 р. протокол  
№ 12

Керівник підрозділу

Гриш  
(підпис)

Касиш Д.О.  
Ініціал, ПРІЗВИЩЕ

Дата 12.06.25

## ЗГОДА

здобувача(чки) вищої освіти

Державного університету економіки і технологій  
про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату  
та розміщення в Репозитарії Університету

Я, Маєлов Роман Михайлович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота «Дослідження ефективності сучасних методів позалиній ресурсування: впливу та вибір оптимального з метою підвищення ефективності фінансової особи» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» зазначена робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ). З умовами такого розміщення ознайомлений(на).

07.06.2025




(ініціали, прізвище, власноруч)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

**ДОВІДКА**

про підготовку студента-випускника

МАСЛОВА РОМАНА МИКОЛАЙОВИЧА

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Металургійних технологій

Спеціальність 136 – Металургія

(шифр, назва)

Тема кваліфікаційної  
роботи **бакалавра**

Дослідження ефективності сучасних методів позапічної десульфурзації чавуну  
та вибір оптимального з метою підвищення ефективності доменної плавки

Керівник кваліфікаційної роботи:

проф, д.т.н., Кассім Д.О.

(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту ( роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітка
1	Аналітична частина	Кассім Д.О.	<i>Зараховано</i>	09.06	<i>Зарах</i>	
2	Основна частина	Кассім Д.О.	<i>Зараховано</i>	09.06	<i>Зарах</i>	
3	Охорона праці	Кассім Д.О.	<i>Зараховано</i>	09.06	<i>Зарах</i>	

Завідувач кафедри

*Д.О. Кассім*  
(підпис)

Д.О. Кассім

(ініціали, прізвище)

« 09 » червня 2025 р.