

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М.ПОТЕБНИ

Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та обґрунтування оптимальної технології десульфурзації
чавуну в умовах сталеплавильного цеху

Виконав: студент II курсу, групи 8.1361-мчм
спеціальності 136 Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Металургія чорних металів

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

Ю.О.Подвойський

(ініціали та прізвище)

Керівник доц., к.т.н., доц. Кириченко О.Г.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доц., к.т.н., доц. Нестеренко Т.М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра Металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 136 Металургія
(код та назва)
 Освітня програма Металургія чорних металів
(код та назва)
 Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« 02 » 06 20 22 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Подвойському Юрію Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Дослідження та обґрунтування оптимальної технології десульфурації чавуну в умовах сталеплавильного цеху

керівник роботи Кириченко Олексій Геннадійович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 02 » червня 2022 року № 597-с

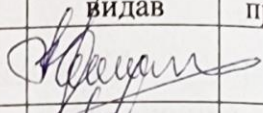
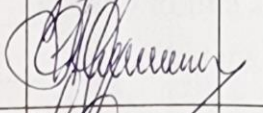
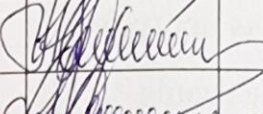
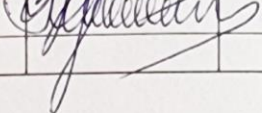
1 Строк подання студентом роботи 12.12.2022

2 Вихідні дані до роботи Дослідження технології видалення сірки методами позадоменної обробки чавуну

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат; вступ; Розділ 1 Аналіз сучасних способів позадоменної десульфурації чавуну; Розділ 2 Теоретичні основи технології позадоменної десульфурації чавуну та методика промислових досліджень; Розділ 3 Вибір і обґрунтування оптимальної технології десульфурації чавуну; Розділ 4 Охорона праці та техногенна безпека; Висновки; Перелік джерел посилання; Додаток А

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
креслень

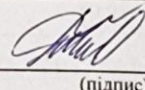
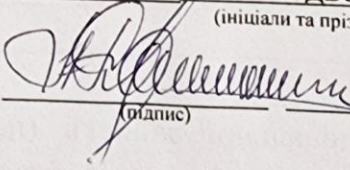
5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1 Аналіз сучасних способів позадоменної десульфурації чавуну	Кириченко О.Г., доцент		
Розділ 2 Теоретичні основи технології позадоменної десульфурації чавуну та методика промислових досліджень	Кириченко О.Г., доцент		
Розділ 3 Вибір і обґрунтування оптимальної технології десульфурації чавуну	Кириченко О.Г., доцент		
Розділ 4 Охорона праці та техногенна безпека	Кириченко О.Г., доцент		

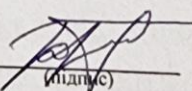
3 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ, реферат	21.11-25.11.2022	
2	Розділ 1 Аналіз сучасних способів позадоменної десульфурації чавуну	26.11-30.11.2022	
3	Розділ 2 Теоретичні основи технології позадоменної десульфурації чавуну та методика промислових досліджень	01.12-04.12.2022	
4	Розділ 3 Вибір і обґрунтування оптимальної технології десульфурації чавуну	05.12-08.12.2022	
5	Розділ 4 Охорона праці та техногенна безпека	09.12-11.12.2022	
6	Висновки, перелік джерел посилання	12.12.2022	

Студент  (підпис) Ю.О.Подвойський (ініціали та прізвище)Керівник роботи (проекту)  (підпис) О.Г.Кириченко (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  (підпис) Ю.О.Бєлоконь (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 91 с., 11 табл., 6 рис., 1 дод., 35 джерел

ЧАВУН, ПОЗАПІЧНА ДЕСУЛЬФУРАЦІЯ, КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНИЙ ЦЕХ, ГРАНУЛЬОВАНИЙ МАГНІЙ, КІВШ

Об'єкт дослідження – технологічні показники процесу позадоменної обробки чавуну.

Предмет дослідження – закономірності і механізми фізико-хімічних процесів технології поза доменної десульфурації чавуну.

Мета роботи – розробка технології найбільш перспективної і економічно вигідної технології позадоменної десульфурації чавуну.

Методи досліджень: хімічний аналіз, мікроскопічний аналіз, фізичне моделювання процесів.

Наукова новизна:

1. Встановлено, що процеси позапічної десульфурації чавуну магніємісткими реагентами дозволяють варіювати глибиною десульфурації і зменшити вміст сірки аж до 0,001%.

2. Доведено, що результатом обробки чавуну є гомогенна взаємодія магнію, розчиненого в чавуні, з сіркою, а також гомогенна взаємодія сірки та магнію, розчиненого в чавуні, та гетерогенна взаємодія випаровуваного магнію і сірки, розчиненої в чавуні, на поверхні плаваючих бульбашок.

Практичне значення:

1. Визначено, що найбільшого поширення набув метод інжекції гранульованого (зернистого) магнію за допомогою занурювальної фурми з випарною камерою.

2. Встановлено, що використання фурми з "укороченою" випарною камерою та без випарної камери призводять до значного зниження вмісту сірки та значного зростання ступеня десульфурації.

У розділі 1 висвітлені основні способи десульфурації чавуну в умовах сталеплавильного виробництва та виконаний їх порівняльний аналіз.

У розділі 2 показаний механізм та методика дослідження процесу десульфурації чавуну та проаналізовано вплив технологічних параметрів процесу на ефективність десульфурації.

У розділі 3 досліджена та обґрунтована оптимальна технологія десульфурації чавуну шляхом порівняння ефективності технологій десульфурації чавуну інжектуванням гранульованого магнію і введенням магнійвмісного дроту

У розділі 4 представлені питання охорони праці та техногенної безпеки при проведенні наукових досліджень.

Запропонована технологія рекомендується для дослідно-промислових випробувань в умовах сталеплавильних підприємств України.

ЗМІСТ

С.

Вступ.....	8
1 Аналіз сучасних способів позадоменної десульфурації чавуну.....	12
1.1 Порівняльний аналіз деяких способів позадоменної десульфурації чавуну .	12
1.2 Десульфурація чавуну кальцинованою содою.....	13
1.3 Десульфурація чавуну сполуками кальцію	14
1.3.1 Застосування вапна	15
1.3.2 Застосування карбїду кальцію	16
1.4 Десульфурація чавуну магнієм	18
1.4.1 Застосування кускового магнію.....	19
1.4.1.1 Злитковий магній.....	20
1.4.1.2 Пасивований магній	20
1.4.2 Вдування диспергованого магнію	20
1.4.2.1 Порошковий магній.....	22
1.4.2.2 Гранульований магній	23
1.4.3 Використання магнієвого дроту	25
2 Теоретичні основи технології позадоменної десульфурації чавуну та методика промислових досліджень.....	28
2.1 Фізико-хімічні та термодинамічні властивості магнію.....	28
2.2 Механізм процесу десульфурації чавуну з використанням магнію	30
2.3 Вплив параметрів процесу на ефективність десульфурації.....	34
3 Вибір і обґрунтування оптимальної технології десульфурації чавуну	39
3.1 Обґрунтування здійснення технології десульфурації чавуну в заливальних ковшах ККЦ.....	39
3.2 Порівняння ефективності технологій десульфурації чавуну інжектуванням гранульованого магнію і введенням магнійвмісного дроту.....	40
3.3 Удосконалення конструкції занурювальних фурм для введення магнію в заливальні ковші.....	46
3.3.1 Модернізація конструкції фурми з випарною камерою.....	46

3.3.2 Відпрацювання конструкції циліндричної (прямоточної) фурми.....	48
3.4 Дослідження по отриманню низькосірчистого і глибокознесірченого чавуну в 350-т заливальних ковшах для виплавки високоякісних сталей	57
4. Охорона праці та техногенна безпека	64
4.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища при проведенні наукових досліджень.....	64
4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища сталеплавильного цеху	65
4.3 Заходи з електробезпеки.....	65
4.4 Заходи з пожежної безпеки	66
4.5 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на працівника лабораторії при обробці результатів наукових досліджень.....	67
4.6 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища лабораторії	68
4.7 Заходи з електробезпеки в лабораторії	70
4.8 Заходи з пожежної та техногенної безпеки в лабораторії.....	72
Висновки	74
Перелік джерел посилання	80
Додаток А Публікації за темою кваліфікаційної роботи	84

Вступ

Актуальність проблеми. Рівень матеріало-енерговитратності сталеплавильного виробництва і можливості економічною виплавки широкого сортаменту високоякісних сталей, в першу чергу з низьким і особливо низьким вмістом сірки, в значній мірі визначають конкурентоспроможність продукції.

При виробництві таких сталей важливу роль відіграє виробництво у сталеплавильному переділі чавуну з мінімальним вмістом сірки і фосфору. У деяких випадках небажано також підвищений вміст кремнію в чавуні.

Раніше основною вимогою було забезпечення вмісту сірки в чавуні до 0,01-0,02%. У сучасних умовах вимоги посилилися в сторону максимальної економічності і істотного поліпшення якості виплавленої сталі. Так, в конвертерній сталі воно не повинно перевищувати 0,008-0,010%. Крім того, збільшуються обсяги виплавки малосірчистої сталі (не більше 0,005% сірки), для чого необхідно застосовувати чавун, що містить не більше 0,001-0,003% сірки.

Реакція знесірчення енергетично легше забезпечується в чавуні, ніж у сталі, внаслідок більш високої активності сірки при високому вмісті вуглецю і низької окисленості. Коефіцієнт розподілу сірки для чавуну в 10-15 разів вище ніж для сталі, тому його десульфурація відбувається більш легко і повно.

Проте в процесі самої доменної плавки десульфурація чавуну утруднена, оскільки цілий комплекс складних окисно-відновних реакцій глибокої десульфурації обумовлює неминучість підвищення вмісту кремнію і пов'язаних з цим підвищених витрат вапна, коксу, а отже, і зниження продуктивності роботи доменних печей, що викликає погіршення техніко-економічних показників доменного процесу, у тому числі і собівартості чавуну.

Так, за даними фірми «Dofasco», зниження вмісту сірки в чавуні безпосередньо в доменній печі призводить до зменшення продуктивності печі на 13% і збільшення витрат коксу на 9%.

Згідно з розрахунками в умовах доменного цеху ПАТ "Запоріжсталь" зниження вмісту сірки в чавуні на 0,010% призводить до збільшення витрат коксу на 1,0% і знижує продуктивність доменної печі на 1,0%.

Таким чином, отримання низькосірчистого чавуну безпосередньо в доменній печі практично неможливо. Можливості десульфурації сталі до необхідних низьких і наднизьких змістів сірки як в конвертерних, так і подових процесах виплавки сталі обмежені і малоефективні, оскільки система метал-шлак не досягає рівноваги внаслідок високої окисленості ванни при низькому вмісті вуглецю в металі. Коефіцієнти розподілу сірки між шлаком і металом знаходяться в межах 2-7 од. Такі низькі значення коефіцієнтів розподілу сірки обмежують реалізацію процесу глибокої десульфурації сталі та призводять до значних техніко-економічних витрат в сталеплавильному виробництві.

Таким чином, в доменному і сталеплавильному процесах займатися глибокою десульфурацією технологічно та економічно не виправдано і доцільним стає винесення цього процесу з розглянутих агрегатів. Винесення десульфурації з доменного і сталеплавильного процесів робить поза доменну десульфурацію важливою технологічною ланкою, дозволяє спростити і здешевити наскрізну технологію аглодоменного і сталеплавильного виробництв, в тому числі за рахунок виплавки низькокремнієвих чавунів, виключаючи при цьому необхідність дорогої позадоменної десіліконізації металу.

У сучасних умовах попередня обробка чавуну відіграє все більшу роль у поліпшенні показників роботи сталеплавильних агрегатів і якості сталі та її широко застосовують на металургійних підприємствах у багатьох країнах світу. У США, країнах Західної Європи, Росії та Україні це поки тільки десульфурація чавуну. У Японії - це десульфурація, знекремнювання і дефосфорація чавуну. При цьому частка чавуну, підданого попередній обробці (у тому числі дефосфорації), склала в 2018р.: В Кейхин - 55%, в Кіміцу - 74%, в Кобі - 85%, в Тібі -90%.

На сьогоднішній день існує багато способів позапічної обробки чавуну, в яких використовуються найрізноманітніші реагенти та їх суміші, а також шлаки. Позапічну обробку чавуну (десульфурацію, дефосфорацію і знекремнювання) проводять в різних реакторах (чавуновозних, розливних, заливальних ковшах та ін.), у струмені металу із застосуванням транспортних газів і механічних мішалок. Може здійснюватися як вибіркова обробка з видаленням одного

компонента (сірки, фосфору або кремнію), так і комплексна з одночасним або послідовним видаленням вищевказаних компонентів.

В даній роботі розглянуто передові способи десульфурації чавуну в умовах сталеплавильного виробництва. Вона відповідає потребі у розвитку металургійної промисловості, тобто вдосконаленню виробництва, впровадження сучасних технологій, підвищенні якості продукції і т.д.

Мета роботи – розробка технології найбільш перспективної і економічно вигідної технології позадоменної десульфурації чавуну. За допомогою виконаних досліджень довести технічні показники і необхідність зміни технології поза доменної обробки чавуну, що гарантує стабільність якості та хімічного складу.

Завдання роботи – на основі фізико-хімічних досліджень, використання останніх досягнень металургійної науки, розробити технологічні передумови технології поза доменної десульфурації чавуну. Це дозволить в значній мірі покращити хід процесу та, в значній мірі, прогнозувати кінцевий хімічний склад чавуну.

Дана задача буде вирішуватися за рахунок сучасних засобів та методів аналізу та експериментальних підходів.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно було вирішити такі **завдання:**

1. Провести аналіз механізму процесу десульфурації чавуну з використанням магнію;
2. Порівняти ефективності використання гранульованого магнію і магнієвмісного дроту;
3. Удосконалити конструкції занурю вальних фурм для введення магнію.

Апробація результатів роботи. Результати досліджень, включених в кваліфікаційну магістерську роботу, доповіли на: I Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» (Запоріжжя, 2021); II Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного

розвитку регіонів України» (Запоріжжя, 2022); наукових семінарах ІННІ Запорізького національного університету.

Публікації

Основні результати роботи викладені в 2-х тезах конференцій.

Структура и об'єм роботи

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 35 найменувань, викладена на 91 сторінці машинописного тексту включаючи 6 рисунків, 11 таблиць.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СПОСОБІВ ПОЗАДОМЕННОЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ЧАВУНУ

В даний час масове виробництво сталі з низьким вмістом сірки неможливе без десульфурації чавуну поза доменною піччю. Це пояснюється тим, що десульфурація чавуну в доменній печі або сталеплавильному агрегаті набагато дорожча, ніж десульфурація чавуну поза доменною піччю. Тому при виплавці малосірчистого чавуну оцінка коксу при зниженні вмісту сірки 0,01 підвищує його собівартість на 0,90-0,96 грн./т. У разі виплавки чавуну з підвищеним вмістом сірки його собівартість зросла лише на 0,56-0,79 грн/т. Зменшується масова частка сірки на 0,01%, а основності необхідно підвищити на 0,14, що призведе до збільшення витрати коксу на 8,5 кг/т чавуну та зниження продуктивності печі на 57,3 т/добу. збільшення собівартості коксу призведе до збільшення втрат при його подрібненні та збільшення кількості дуття 49 м³/т чавуну, видобуток доменного газу збільшиться на 52 м³/т.

Питомі капітальні витрати на виробництво 1 т чавуну значно зростають при зниженні вмісту сірки на 0,01 %. В основному це пов'язано зі збільшенням витрат у вугільній промисловості, видобутку вапняку та опаленні, доменних печах і загальному управлінні заводом. Установки, що виплавляють чавун з низьким вмістом сірки, характеризуються більшими капітальними витратами через відносно значне погіршення продуктивності доменної печі [1]. Важливо відзначити, що виробництво чавуну з вмістом сірки менше 0,020% призведе до надмірного споживання флюсу і коксу, що в свою чергу призводить до великих витрат.

1.1 Порівняльний аналіз деяких способів позадомЕННОЇ десульфурації чавуну

Найбільшою перевагою чавуну порівняно зі сталлю є значно вищий коефіцієнт реакційної здатності сірки в розплаві (чавун: 4-5; сталь: ~1) через високий вміст вуглецю та кремнію в чавуні, що підвищує активну сірку. Висока

активність сірки в чавуні означає, що видалення сірки з чавуну набагато ефективніше, ніж зі сталі. Тому глибока десульфурація чавуну має менші витрати і більші можливості, ніж аналогічна десульфурація сталі. До теперішнього часу накопичено певний досвід десульфурації чавуну. В якості десульфуратора в основному використовують соду, карбід кальцію, вапно і металевий магній. Для ознайомлення наведено декілька прикладів десульфурації чавуну різними матеріалами. Температура чавуну дорівнює 1400°C. В якості вихідних даних склад чавуну наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Склад чавуну, масові частки, %

C	Si	Mn	S	P
4,40	0,75	0,6	0,011	0,016

Розрахуємо коефіцієнт активності сірки за формулою:

$$[C]_{\text{екв}} = [C] + 0,63[Si] - 0,23[Mn] - 0,4[P] \quad (1.1)$$

де $[C]_{\text{екв}}$ – еквівалентний вміст вуглецю, %;

$$[C]_{\text{екв}} = 4,4 + 0,63 \cdot 0,75 - 0,23 \cdot 0,6 - 0,4 \cdot 0,016 = 4,8\%.$$

Величина коефіцієнту активності сірки знаходиться за формулою:

$$\lg f_s = 0,11[C] + 0,006[C]^2 \quad (1.2)$$

де f_s – коефіцієнт активності сірки;

$$\lg f_s = 0,11 \cdot 4,8 + 0,006 \cdot 4,8^2 = 0,66;$$

$$f_s = 4,6;$$

1.2 Десульфурація чавуну кальцинованою содою

Використання соди для позадоменної десульфурації чавуну ґрунтується на тому, що при високих температурах карбонат натрію Na_2CO_3 дисоціює з утворенням Na_2O , яке має високу хімічну спорідненість до сірки. При контакті з рідким чавуном сода розплавляється, CO_2 , що виділяється при цьому, сприяє перемішуванню металу зі шлаком [2].

Утворений Na_2O взаємодіє з сіркою чавуну за реакцією:



При виплавці сталі з вмістом сірки 0,020 - 0,025% витрата кальцинованої соди становить 2,5 - 7,5 кг/т чавуну при подачі сипким матеріалом на дно ковша, а для сталі з вмістом сірки <0,015% використовується чавун і сода. Сода подвійного очищення з витратою 9-12 кг/т. Введення соди в розплав металу знижує масову частку сірки в чавуні до 0,005 %, а вміст кремнію в чавуні знижує з 1,3 % до 0,78 %.

Десульфуратія чавуну на місці за допомогою кальцинованої соди шляхом подачі кальцинованої соди в потік чавуну, що переливається із змішувача в ківш, показала, що збільшення глибини десульфуратії до значення $[\text{S}] < 0,015\%$ потребує збільшення споживання соди не більше 7 кг/т чавуну. Сірководочищення чавуну кальцинованою содою має наступні переваги:

- прийнятна вартість реагентів;
- низький вміст газоподібних і неметалевих включень в металі.

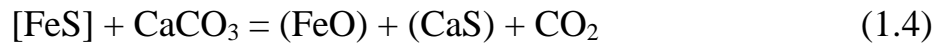
При негативних одночасних факторах:

- обмежена глибина десульфуратії (до 0,02% сірки);
- виділення шкідливих парів (SO_2), що погіршують екологічні умови;
- зниження терміну служби вогнетривів ковша через взаємодію з содою;
- низький коефіцієнт використання соди;
- необхідність попередньої підготовки соди перед її використанням (брикетування чи гранулювання);
- значне падіння температури чавуну (на 40-50 °C).

1.3 Десульфуратія чавуну сполуками кальцію

Сполуки кальцію стали найбільш широко використовуваними сполуками для десульфуратії чавуну. Серед них вапно, вапняк, фтористий кальцій, карбід кальцію, ціанамід кальцію. Вапняк додають як газоутворювач до вапна та інших

реагентів, а фтористий кальцій використовують як компонент для розрідження шлаку, що посилює процес сіркоочистки. Вапняк можна використовувати як самостійний десульфуратор, а також використовувати добавки, що підвищують швидкість процесу [3]. Десульфурацію чавуну вапняком можна описати такою реакцією:



Під час дисоціації CaCO_3 виділяється CO_2 і відбувається енергійне перемішування розплаву, внаслідок чого реагент CaO шлаку взаємодіє з чавуном на великій поверхні.

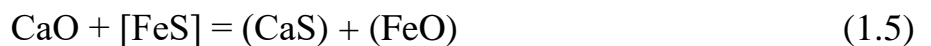
Обробка флюсами (70мас.% CaCO_3 , 20мас.% CaO , 5мас.% C , 3мас.% CaF_2) у ковші знижує вміст сірки в чавуні до 0,002 %.

Слід зазначити, що десульфураційна здатність флюсів на основі CaCO_3 вища, ніж флюсів на основі CaO , оскільки CaCO_3 реагує з металом на більшій поверхні.

1.3.1 Застосування вапна

Вапно є одним із найпоширеніших десульфураторів для чавуну.

Реакція десульфурації рідкого заліза з вапном набуває такої форми, яка показана у рівнянні



Основна складність цього методу полягає в тому, що вапно є неплавким реагентом і тому погано змішується з чавуном. Тому під час використання CaO необхідні спеціальні заходи (обертові печі, ковші, що вібрують, використання мішалок, подача CaO в газовий потік) для забезпечення хорошого контакту між десульфурувальним агентом і металом [4].

Під час десульфурації чавуну (0,15 масової частки %S) з вапном (12 кг/т) (концентрація вапна 9 кг/м³) продуванням азотом (3 м³/хв) у 12-тонному ковші

протягом приблизно 5 хвилин було отримано ступінь десульфурації 50-75%.

У міру збільшення концентрації вапна в газі з 10 кг/м³ до 40 кг/м³ швидкість видалення сірки, швидкість засвоєння вапна і ступінь десульфурації збільшувалися.

Динаміка десульфурації чавуну в цих умовах може бути розрахована за допомогою такого рівняння:

$$S_k = 0,005 + 4,05 \cdot (S_{II} / 2,2 \cdot q) + 0,23 \cdot S_{\text{вапн}} \quad (1.6)$$

де S_k – кінцева масова частка сірки в чавуні, %;

S_{II} – початкова масова частка сірки в чавуні, %;

q – витрата вапна, кг/т;

$S_{\text{вапн}}$ – вміст сірки в вапні, масова частка, %.

Для підвищення ефективності десульфурації чавуну (74,5 т) у відкритому ковші з витратою вапна (7,6 кг/т) ефективно введення в плавильний розчин злиточного алюмінію (0,4 кг/т). Введення 0,5-0,75 кг/т алюмінію в чавун збільшило ступінь десульфурації в 2,75 раза і знизило витрату вапна на одиницю видаленої сірки в 1,7 раза порівняно з введенням вапна в повітряний потік. У результаті можна отримати чавун із вмістом сірки менше 0,01%.

Переваги використання вапна як десульфуруючого агента:

- Він ефективний з погляду досягнення низьких залишкових концентрацій сірки (менше 0,01%) у чавуні.

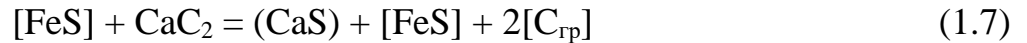
З іншого боку, існують різні проблеми, пов'язані з використанням вапна:

- Необхідність постійного контролю використовуваного вапна (тонкість і чистота помелу).

- Висока витрата вапна (20-28 кг/т чавуну).

1.3.2 Застосування карбїду кальцію

Реакція десульфурації карбїдом кальцію проходить зі значним екзотермічним ефектом:



Карбід кальцію вводиться в чавун різними методами, включно з інжекцією потоком стисненого газу, насипанням порошку на поверхню металу і подальшим механічним або пневматичним перемішуванням.

Карбід кальцію використовується для десульфурації чавуну в міксерних ковшах, ковшах відкритих печей, жолобах доменних печей і розливних ковшах на сталеливарних заводах [5].

Найбільш широко використовуваним методом є введення карбіду кальцію в чавун шляхом інжекції в потоці стисненого газу. У цьому разі тонкоподрібнений карбід кальцію вводять у суміш із газоутворювальною добавкою, що складається з CaCO_3 , вуглецю і речовини, яка розкладається з виділенням газу в рідкому чавуні, і далі домішується до металу.

Також можливі композитні реагенти на основі карбіду кальцію.

Процес десульфурації чавуну в 60-тонному ковші з використанням десульфуруючого агента, що містить 75% CaC_2 і 5% CaF_2 , з продуванням азотом або фурменним змішувачем, забезпечив 96% десульфурації (вміст сірки від 0,05 до 0,002%) за витрати суміші 5 кг/т.

Було встановлено, що обробка чавуну карбідом кальцію має такі переваги:

- висока десульфуруюча здатність реагенту;
- гарантована стабільність внутрішньої футеровки чавунного ковша.

Однак є й суттєві недоліки, зокрема:

- необхідність будівництва вибухобезпечних установок, оскільки ацетилен може вибухнути під час взаємодії CaC_2 з вологим середовищем;
- забруднення довкілля внаслідок виділення ацетилену під час взаємодії ковшового шлаку з вологою;
- необхідність додаткових витрат на підготовку реагентів;
- низька стійкість;
- брак реагентів;
- вплив наявності або відсутності шлаку в ковші на ефективність десульфурації.

1.4 Десульфурація чавуну магнієм

Реагенти, що містять магній, в основному використовуються під час позапічної десульфурації чавуну. Це пов'язано з тим, що магній є чудовим десульфуруючим агентом і утворює сильніші сульфіди, ніж залізо. За мінімальною витратою, необхідною для зв'язування однієї одиниці сірки, магній посідає перше місце порівняно з іншими десульфураторами. Для зв'язування 1 кг сірки, 1,75 кг вапна, 1,94 кг оксиду натрію і 2 кг карбиду кальцію потрібно 0,75 кг магнію. Є багато інших переваг використання магнію як десульфуратора. До них належить невелика кількість шлаку, який утворюється на поверхні металу через низьку витрату магнію. Сульфід магнію, що утворюється, є дуже міцним з'єднанням і легко видаляється в шлак завдяки своїй низькій щільності. Реакція десульфурації між чавуном і магнієм протікає з виділенням тепла, тому падіння температури металу незначне. Однак результати промислового виробництва і досліджень показують, що ефективність застосування магнію багато в чому залежить від повноти розв'язання складної проблеми отримання магнієвих реагентів з потрібними властивостями і забезпечення сприятливих умов для їх введення в рідкий чавун. Переважно це пов'язано з дуже високою активністю магнію, який бурхливо випаровується за відносно низьких температур ($T_{пл} = 654$ °C, $T_{кип} = 1170$ °C) [6].

З термодинамічного аналізу процес взаємодії сірки і магнію в чавуні може бути виражений рівнянням:



Водночас протікає пряма реакція:



Як відомо, реакції повинен передувати процес нагріву, плавлення,

випаровування і розчинення магнію в чавуні на максимальній глибині ванни, що накладає певні обмеження на розмір магнієвого реагенту та умови його введення в рідкий метал [7].

Ефективне використання магнію для десульфурації чавуну може бути досягнуто за рахунок того, що бульбашки магнію стають меншими та більш диспергованими у ванні, збільшується загальна площа поверхні зважених бульбашок пари на одиницю витрати магнію, а також за рахунок введення магнію якомога глибше у ванну для збільшення тривалості реакції. Це вважається ефективним.

Переваги магнію полягають у такому:

- кількість шлаку, що утворюється, мізерно мала;
- температурні втрати чавуну невеликі;
- магній має низьку температуру плавлення 650°C і низьку температуру кипіння 1170°C , що забезпечує гарний контакт між десульфурувальним агентом і металом;
- утворений сульфід магнію являє собою армувальний сплав з температурою плавлення 2000°C і низькою густиною 2820 кг/м^3 , що означає, що він не відновлюється і швидко зважується в шлаку;
- під час обробки чавуну магнієм не утворюються шкідливі пари, тому немає необхідності будувати обладнання для очищення повітря;
- вплив на футеровку ковша незначний.

Застосовувані нині технологічні процеси обробки чавуну магнієм і реагентами з його використанням можна розділити на дві групи: контрольоване введення дисперсного магнію в рідкий чавун і введення в розплав окремих шматків магнію у вигляді шматків або брикетів.

1.4.1 Застосування кускового магнію

Кускової магній (злитки, брикети) вводять в рідкий чавун шляхом примусового занурення за допомогою спеціальних пристосувань [8].

1.4.1.1 Злитковий магній

Результатом використання злиткового магнію, обмазаного захисним складом на основі шамотного мертелю, стало зниження вмісту сірки чавуну з 0,066 % до 0,024 %, при витраті злиткового магнію 0,45 кг/т.

Обробка передільного чавуну (62 т) злитковим магнієм (0,32 кг/т), що вводиться через порожнисту фурму з піддувом газу (аргон 20-60 м³/т або повітря 40 - 80 м³/т), дозволила отримати ступінь десульфурації 57,5% ($S_H = 0,047$ %, $S_K = 0,020$ %).

Використання для десульфурації чавуну (маса обробленого чавуну 6270 т) злитків з вторинного магнієвого сплаву (86% масової частки Mg і 9% масової частки Al), що вводяться через порожнисту штангу в чавуновозний ківш, дозволило знизити масову частку сірки з 0,052% до 0,025%, при витраті реагенту 0,34 кг/т чавуну.

1.4.1.2 Пасивований магній

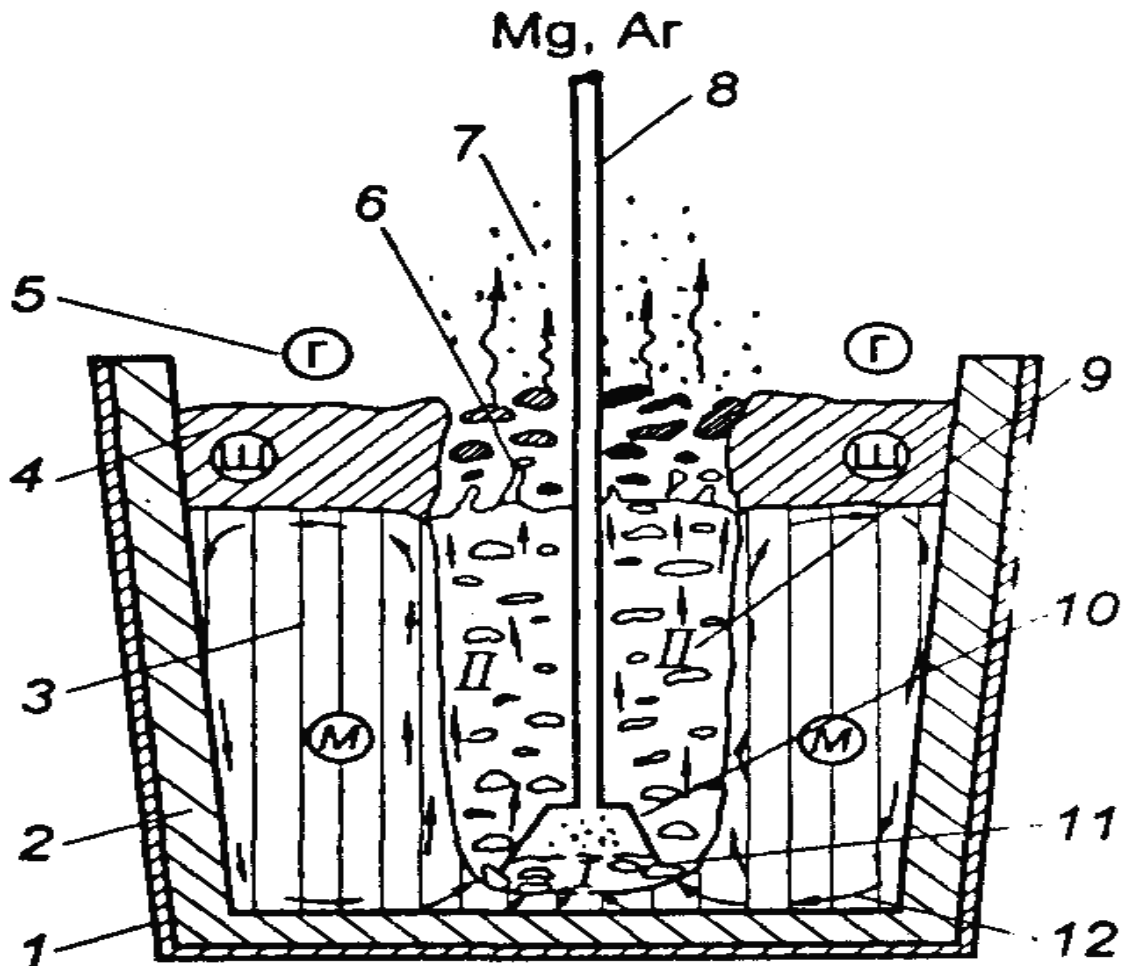
Найважливішим результатом заміни кускового магнію на пасивований магній стало скорочення часу процесу десульфурації. У результаті пасивації було досягнуто підвищення термічної стійкості злитка та сповільнення процесу його випаровування в рідкому чавуні до менш ніж 0,2 кг Mg/с, що дало змогу повністю розкрити потенціал чавуновозного ковша, усунути піроелектричний ефект, втрати заліза в металобрухті та підвищити утилізацію магнію [9].

Ступінь пасивації впливає на ступінь використання магнію в розплаві (при пасивації <50% швидкість випаровування магнію швидко зростає).

1.4.2 Вдування диспергованого магнію

Пошук більш дешевих і технологічних способів десульфурації чавуну в потоці привели до створення технологій з поступовим, регульованим введенням диспергованого магнію шляхом його інжектування в рідкий чавун в струмені стисненого газу, показано на рисунку 1.1.

У робочому просторі випарника при взаємодії газопорошкового струменя з поверхнею рідкого чавуну в межах первинної (I), реакційної зони через низькі температури плавлення ($650\text{ }^{\circ}\text{C}$) і кипіння ($1107\text{ }^{\circ}\text{C}$) магнію, останній, при оптимальній швидкості введення швидко переходить з твердого в рідкий, а потім в пароподібний стан.



1 – металевий кожух; 2– футеровка (ф) ковша; 3 – зона циркуляції металеві (м) ванни; 4 – зона шлаку (ш); 5 газова (г) фаза; 6 – сплески металу і шлаку в зоні барботажу; 7 – вихід білого диму; 8 – занурювальна фурма; 9 – вторинна (II), реакційна барботажна зона; 10 – випарник; 11 – первинна (I), реакційна зона; 12– напрям (стрілки) руху потоків у ванні.

Рисунок 1.1 – Схема процесів при продувці чавуну диспергованим магнієм

На межі розділу бульбашок магнію з металом розвиваються первинні реакції видалення кисню і сірки пароподібним магнієм.



Розчинення магнію в металі



з подальшою взаємодією розчиненого магнію з киснем і сіркою в обсязі розплаву по вторинним реакціям:



У більшій зоні бульбашок вторинної (II) реакції реакції, реакції (1) - (5) також, імовірно, будуть протікати добре через добре розвинену поверхню контакту зважених бульбашок магнію з чавуном. Співвідношення інтенсивності процесу десульфурації в зоні барботування для реакцій (2) і (5), імовірно, залежить від протидифузійного потоку сірки та магнію через рідкий прикордонний шар навколо магнієвих бульбашок і подачі сірки із зони циркуляції металеві ванни. Іншими словами, основна сірка видаляється з розплаву в зоні барботування завдяки реакціям на міжфазній поверхні між парами магнію і металу. Водночас необроблений чавун розбавляється обробленим чавуном у зоні циркуляції [10].

1.4.2.1 Порошковий магній

Використання суміші порошку $MgCaO$, що вводиться через фурму (глибина занурення 1,6 м), для десульфурації чавуну дало змогу витратити магнієвий порошок зі швидкістю 18 кг/хв (54 кг/хв для суміші) і знизити масову частку сірки до $S_k = 0,002 - 0,003 \%$ (незалежно від S_n). Спільне використання вапна і магнію знижує навантаження на очищення фурм.

Доцільність заміни повітря природним газом (азотом) як транспортного газу

для десульфурзації чавуну була підтверджена математичним моделюванням. Заміна повітря природним газом (азотом) також знижує споживання сіркоочисника [11].

Підвищення ефективності очищення в разі використання природного газу може бути зумовлене реакцією термічної дисоціації метану



1.4.2.2 Гранульований магній

Гранульований магній виробляється у вигляді сферичних частинок розміром 0,5-2,0 мм, має високу плинність, зерна покриті сольовою плівкою (NaCl, CaCl, KCl, MgCl), що забезпечує кращі умови для впровадження в чавун. Як газ-носії використовуються повітря, азот, аргон і природний газ.

Так, для зниження масової частки сірки з 0,045 до 0,01% витрата магнію склала 0,7 кг на тонну чавуну. При витраті 1,0-1,1 кг/т гранульованого магнію і початковій масовій частці сірки 0,030-0,042% її кінцевий вміст становив 0,004-0,005%.

Про переваги гранульованого магнію порівняно з магній-доломітовою сумішшю під час знесірчування чавуну свідчить той факт, що за однакової витрати реагентів (0,7 кг/т) $S_k = 0,01\%$ за умови використання гранульованого магнію і $S_k = 0,02\%$ для магній-доломітової суміші. $S_k = 0,01\%$ для гранульованого магнію і $S_k = 0,02\%$ для магнієво-доломітових сумішей.

Для обробки чавуну (температура чавуну = 1380-1420°C) у відкритому ковші використовували гранульований магній (масова частка активного магнію в частинках 90%, розмір зерна 2 мм), який вводили в чавун за витрати газу 120 м³ і швидкості подачі магнію 12-15 кг/хв. Результати обробки показали, що для зниження вмісту сірки в чавуні з 0,05 до 0,01% потрібно 0,7 кг/т гранульованого магнію і 0,6 кг/т з 0,01 до 0,003%. За низького S_k підвищена розчинність магнію знижує його утилізацію (η) і ймовірність агрегації магнію з сіркою в чавуні. У результаті необхідно збільшити споживання магнію, щоб видалити останню тисячну частку сірки. При підвищенні температури чавуну магній також витрачається в надлишку на десульфуррацію, що підвищує тиск пари магнію і його розчинність у металі.

Втрату магнію можна усунути або зменшити шляхом використання неокислювальних або нейтральних до магнію газів, таких як N_2 , Ar або вуглеводневі гази. Азот спричиняє втрати магнію через утворення Mg_3N_2 , і його присутність ще більше погіршує кінетику процесу десульфурації в чавуні, тим самим погіршуючи термодинамічні умови для взаємодії нітриду магнію з сіркою. Аргон нейтральний, але дорогий [12].

Найцікавішим газом-носієм є природний газ, який містить 88-98% метану CH_4 і є нейтральним щодо магнію, який вводиться в рідкий чавун за наявних температур обробки.

Порівняння знесірчення чавуну гранульованим магнієм у стисненому повітрі, природному газі та аргоні за однакових умов показало, що для знесірчення магнію в природному газі до рівня $S_k = 0,01-0,02\%$ потрібно значно менше реагентів, ніж у разі використання стисненого повітря.

Низька температура кипіння магнію ($1107^\circ C$) ускладнює введення гранульованого магнію в чавун під час поза доменної десульфурації. Технічні методи можуть бути використані для регулювання процесу випаровування магнію, наприклад, шляхом заміни деяких використовуваних реагентів на алюміній, який не випаровується.

Порівняльний аналіз десульфурації чавуну гранульованим магнієм і гранульованим магнієвим сплавом ($Mg+Al$) показав, що гранульований магнієвий сплав є більш ефективним реагентом, ніж гранульований магній.

У магнієвих реагентах для десульфурації чавуну часткова заміна магнію, що випарувався, на алюміній, що не випарувався, є ефективним засобом регулювання випаровуваності магнію, поліпшення десульфурації чавуну та вдосконалення технології й економіки процесу [13].

Використання гранульованого магнію для десульфурації чавуну показало такі переваги перед порошкоподібним магнієм:

- низька вартість;
- більш висока ефективність десульфитації;
- високий ступінь механізації та автоматизації технічних операцій.

1.4.3 Використання магнієвого дроту

Відомо, що при введенні гранульованого магнію в чавун через занурювальну фурму в потоці газу-носія відбувається не тільки миттєве випаровування, а й викид частини зерен магнію, що прореагували, на розплавлену поверхню, що призводить до втрат і погіршення екологічних умов.

Використання порошкоподібного Mg-дроту для десульфурації чавуну може значно зменшити ці недоліки. Для повного видалення сірки в процесі десульфурації чавуну з використанням порошкового дроту бульбашки магнію повинні утворюватися при температурі 1250-1450°C і тиску насиченої пари магнію 3000-11000 кПа. Навіть у найглибшому ковші гідростатичний тиск набагато менший за це значення, тому магній повністю випаровується в чавуні, а взаємодія з сіркою відбувається на межі розділу газ-рідина. Бульбашки магнію, що піднімаються в об'ємі металу, адсорбують розчинену сірку, і утворюється твердий сульфід магнію. Магній також має відносно високу розчинність у чавуні. Тому магній розчиняється і взаємодіє з сіркою в об'ємі металу, утворюючи MgS. Водночас із чавуну може бути видалено до 90% сірки.

Тому для повного видалення сірки необхідно, щоб бульбашки магнію пройшли якомога більшу відстань в об'ємі металу, тобто від дна ковша до поверхні. Це досягається шляхом введення магнію в чавун у вигляді порошкового дроту [14].

Залежно від вибору товщини металевої оболонки, діаметра дроту і швидкості, з якою ківш вводиться в рідкий чавун, взаємодія між магнієм і розплавом починається з моменту, коли дріт торкається дна ковша і розплавляє його оболонку. Це покращує кінетику процесу взаємодії між магнієм і елементами, що входять до складу чавуну.

Порівняння реакційної здатності магнію з іншими реагентами підтверджує, що використання змішаних гранул магнію і кальцію в порошковому дроті має активність розкислювача і десульфуратора. Обробка дротом, що містить кальцій, значно покращує екологічні умови на місці обробки, оскільки не відбувається випаровування кальцію.

Інертна добавка надає дроту жорсткості, необхідної для впровадження на більшу глибину, а також діє як глибоко пасивувальний агент для магнію, розсіюючи бульбашки магнію в об'ємі металу.

Магнієво-кальцієвий порошок дріт з оптимізованим складом для десульфурації чавуну може бути використаний для забезпечення досить низького вмісту сірки (менше 0,005%) і хороших умов навколишнього середовища [15].

Порошковий дріт вводили в розливний ківш, що містить рідкий чавун, за допомогою трайбапарату (діаметр дроту 11 мм) і двоструминного пристрою (діаметр дроту 11 мм і 16 мм). У разі використання порошкового дроту для позадоменної десульфурації чавуну необхідно передбачити засоби для скочування шлаку після металообробки для запобігання процесу повторного відновлення сірки.

Десульфурація чавуну з використанням порошкового дроту залежить від низки технічних чинників, включно з питомою витратою магнію, швидкістю введення порошкового дроту та температурою плавлення.

Метод введення порошкоподібного дротяного гранульованого магнію в чавуновозний ківш може створити найбільш сприятливі умови для взаємодії магнію з сіркою.

Десульфурація чавуну (105 т) у ковшах з використанням магнієвмісних порошкових дротів призвела до інтенсивності використання магнію 0,62 кг/т (або 1900 м порошкових проволоку) і зниження масової частки сірки в чавуні з 0,020 до 0,005%.

Випуск порошкового дроту Trimtec (що містить 78% гранульованого магнію і 22% карбиду кальцію) діаметром 9 мм і товщиною оболонки 0,4 мм підвищив поінформованість про бренд Trimtec; у 350-тонному ковші, одноструменевому трибообладнанні (швидкість подачі дроту 130 м/хв), масову частку сірки знизили до 0,01-0,03% за витрат магнію 0,3-0,6 кг/чавун і часу подачі дроту 15-23 хв.

Використання магнієвмісного порошкового дроту для десульфурації чавуну має такі переваги:

- можливість контролювати процес десульфурації чавуну шляхом зміни дозування реагенту і швидкості дозування, а також шляхом зміни складу наповнювача;

- глибоке знесірчення чавуну ($<0,005\%$), низька витрата реагентів і низьке утворення шлаку;
- зниження викидів в атмосферу порівняно з гранульованим магнієм при обробці чавуну;
- низькі капітальні витрати на будівництво заводу.

Незважаючи на очевидні переваги магнію як десульфурувального агента порівняно з іншими реагентами, його використання під час обробки чавуну обмежене через дефіцит магнію.

У разі використання як наповнювача порошкоподібних кремній-магнієвих лігатур замість гранульованого магнію з інертними добавками питома витрата дроту в $\sim 1,5$ рази вища, що знижує вартість матеріалу [16].

Таким чином, порівняння методів десульфурації чавуну показує технічні, економічні та організаційні переваги впровадження магнієвмісних дротів перед введенням гранульованого магнію через капітальні витрати, вартість матеріалів і нижчу температуру чавуну.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ПОЗАДОМЕННОЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ЧАВУНУ ТА МЕТОДИКА ПРОМИСЛОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Фізико-хімічні та термодинамічні властивості магнію

Магній (атомний номер 12, атомна маса 24,32) є елементом другої групи періодичної системи елементів [2]. У вільному стані атом магнію складається з іонного остову з двома 1s-, двома 2s- і шістьма 2p-електронами; на зовнішньому електронному рівні 3s знаходяться 2 електрона, які є валентними і легко можуть бути віддані.

Атомний об'єм магнію 13,99 см³/моль, щільність при 20 °С і чистоті 99,9% дорівнює 1,738 г/см³. До 923 К магній знаходиться в твердому стані, від 923 до 1390 К - в рідкому і вище 1390 К магній ідеальний одноатомний газ. Прихована теплота плавлення магнію дорівнює 4,7 кДж/моль, молярна теплота випаровування рідкого магнію 136,6 кДж /моль.

Тиск пари чистого магнію, по Бауеру і Бруннеру, виражено рівнянням

$$\lg p = 8,037 - (7115/T). \quad (2.1)$$

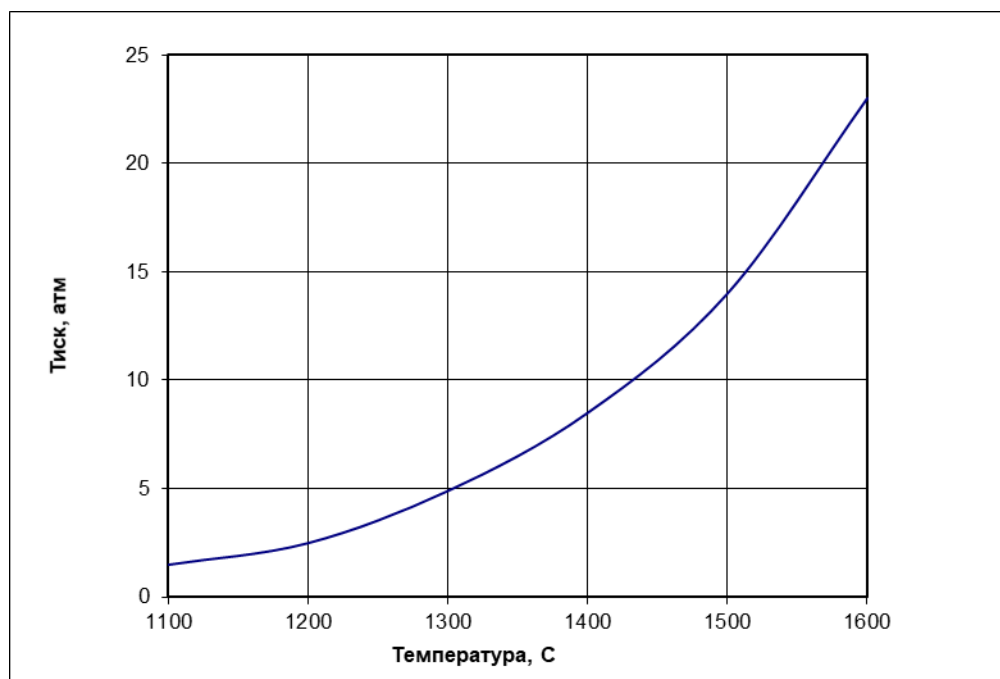


Рисунок 2.1 - Тиск насиченого пару чистого магнію

Зміну тиску парів чистого магнію, розраховану за цим рівнянням, показано на рисунку 2.1. Видно, що тиск насиченої пари чистого магнію швидко збільшується зі зростанням температури, і якщо при 1250°C він становить $0,3$ МПа, то при 1500°C перевищує $1,2$ МПа.

Об'єм магнію швидко збільшується в процесі переходу з рідини в газ: при температурі 1400°C вміст пари в 1 г Mg становить близько $5,5$ л, тому при цій температурі питомий об'єм магнію майже в $40\,000$ разів більший, ніж питомий об'єм чавуну.

Магній належить до сегнетоелектричних елементів і тому утворює стійкі сполуки з елементами, які не люблять електрику. Нормальний електродний потенціал магнію становить $-2,38$ В, що вказує на його хімічну активність. Електропозитивний магній добре взаємодіє з сильно електронегативними сіркою та киснем.

Сульфід магнію легко утворюється при температурі вище 600°C . Температура плавлення вище 2000°C . MgS являє собою структуру типу NaCl з періодом решітки $a = 0,519$ нм, має густину $2,66$ г/см³ і є типовою іонною сполукою. Магній разом із киснем утворює дуже міцний оксид MgO з кубічною гранецентрованою решіткою з періодом $0,419$ нм, що характеризується сильним іонним зв'язком; температура плавлення MgO становить 2800°C , а його густина - $3,57$ г/см³.

Окислення твердого магнію утворює на поверхні оксидну плівку, яка розтріскується під час розтягування, оскільки її питомий об'єм менший за питомий об'єм металу. Відношення молекулярного об'єму оксиду до атомного об'єму магнію становить $0,8$; при температурі понад 450°C , внаслідок окислення у вологому повітрі, плівка стає значно товщою та розривається під час розтягування, даючи змогу окиснюватися новим частинам металу. Відсутність зв'язної оксидної плівки на поверхні магнію слід враховувати під час ухвалення рішення про зберігання і використання дисперсного магнію.

Магній запалюється при температурі 623°C за атмосферного тиску. При окисленні на повітрі утворюються майже ідеально кубічні кристали MgO у вигляді білого диму.

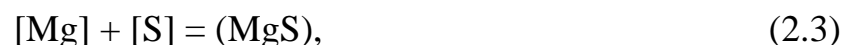
Термодинамічні властивості магнію визначають його здатність вступати в хімічні реакції з компонентами залізовуглецевих розплавів, особливо з токсичними домішками - сіркою і киснем. Саме тому магній становить інтерес як реагент у чорній металургії.

2.2 Механізм процесу десульфурації чавуну з використанням магнію

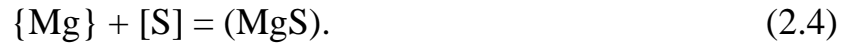
Спільним для різних варіантів методів десульфурації чавуну з використанням магнієвих реагентів є те, що магній, який має низьку температуру кипіння за температури чавуну, перебуває здебільшого в пароподібному стані [17]. Коли твердий магній подається в чавун, у резервуарі з рідиною плаває пароподібна магнієва піна, що утворюється в результаті процесу взаємодії магнію і сірки.

Процес десульфурації чавуну магнієм протікає за механізмом гомогенної взаємодії магнію, розчиненого в чавуні, а також сірки і магнію, розчиненого в чавуні, та за механізмом гетерогенної взаємодії випаруваного магнію і сірки, розчиненої в чавуні, на поверхні зважених бульбашок. Кожна з цих реакцій зазнає певного розвитку в процесі десульфурації, але важливо визначити, яка реакція має переважний вплив на результат обробки чавуну за певних умов.

На думку деяких дослідників [8, 18], процес десульфурації чавуну магнієм протікає за механізмом розчинення магнію в чавуні та подальшої взаємодії магнію з сіркою, розчиненою в чавуні, і для максимального ефекту поглинання магнію чавуном необхідно оптимізувати технічні параметри для створення сприятливих умов для розчинення магнію в чавуні, згідно з



Навпаки, деякі [15, 21 - 23] вважають, що процес десульфурації чавуну магнієм протікає в основному за механізмом взаємодії між магнієм, який випаровується на поверхні зважених у чавуні бульбашок, і сіркою, розчиненою в чавуні.



Однією з причин різних інтерпретацій механізму процесу десульфурації чавуну магнієм є відсутність прямих експериментальних даних для обґрунтування цієї та цієї позиції.

У нещодавньому дослідженні, присвяченому цьому питанню [20], дисперсний магній вводили в чавун з ємності для відмочування за допомогою спеціального устаткування для вивчення кінетики процесу видалення сірки з чавуну і насичення чавуну магнієм. Водночас використовувався двокамерний тигель з вертикальною перегородкою з вентиляційним отвором на дні тигля. Вертикальна перегородка розділяла тигель на дві камери - реакційну і камеру порівняння, запобігаючи перетіканню бульбашок газу з реакційної камери в камеру порівняння під час введення магнію в реакційну камеру, а отвір у дні перегородки забезпечував обмін магнію та сірки, розчинених у чавуні, між двома камерами.

Введення магнію в чавун здійснювалося в потоці аргону за допомогою занурювальної фурми з випарником на виході. Проби чавуну відбирали одночасно з обох камер кожні 2-3 хвилини з початку обробки. Маса перероблюваного чавуну становила від 100 до 125 кг, а питома масова витрата магнію сягала 1 кг на тонну чавуну. Постійний візуальний контроль металевих поверхонь в обох камерах засвідчив відсутність проникнення бульбашок магнію, що випарувався, з реакційної камери в камеру порівняння.

На рисунку 2.2 представлено дані за однією з обробок, що характеризують динаміку десульфурації чавуну в реакційній камері та камері порівняння.

Вміст сірки в чавуні в реакційній камері почав інтенсивно знижуватися з самого початку обробки, зменшившись з 0,052% до 0,010% після 11,5 хвилин обробки. Вміст магнію в чавуні в реакційній камері до 11,5 хв обробки також досяг 0,01%. При подальшому введенні магнію в чавун до 22 хв вміст сірки в чавуні знизився до 0,003%, а вміст магнію збільшився до 0,035%.

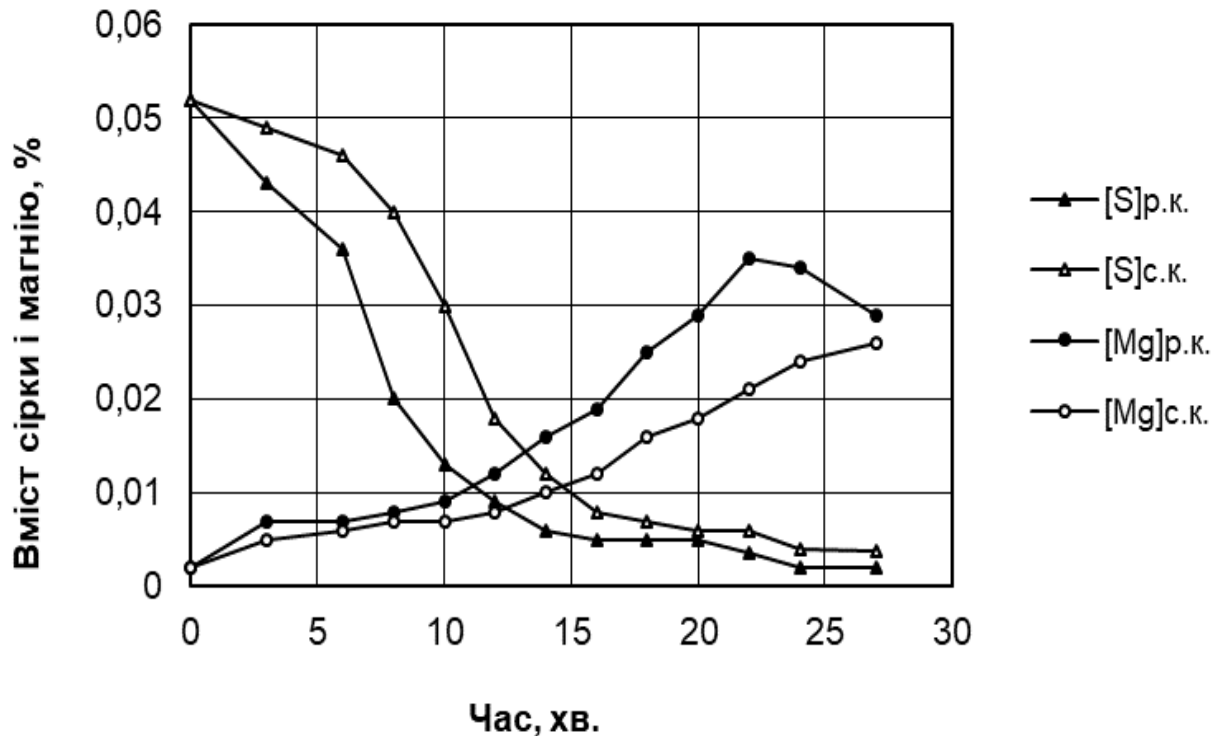


Рисунок 2.2 – Зміна вмісту сірки і магнію в чавуні в реакційній (р.к.) та порівняльній (с.к.) камерах двокамерного тигля

У камері порівняння вміст магнію в чавуні збільшився, а сірки зменшився з початку обробки. У цій камері рівновагу за вмісту сірчаноокислого магнію в чавуні 0,010% було досягнуто після часу обробки 14-15 хвилин.

Крім того, після закінчення введення магнію в процесі витримання чавуну в двокамерному тиглі протягом п'яти хвилин значення вмісту магнію в чавуні в обох камерах зблизилися внаслідок процесів масопереносу, тоді як вміст сірки в чавуні в камері порівняння продовжував знижуватися через дію розчиненого магнію.

Результати показують, що інтенсивне знесірчення чавуну відбувається внаслідок процесу масопереносу між камерами, незважаючи на відсутність перемішування чавуну в розплаві камери порівняння через зважені бульбашки магнію, що випарувався. Тому автори цього дослідження роблять висновок, що розчинення магнію в чавуні відіграє важливу роль і що процес десульфурації чавуну магнієм відбувається здебільшого за рахунок гомогенної взаємодії магнію

з сіркою, розчиненою в чавуні.

Водночас автори роботи [22] проаналізували термодинамічні умови реакції десульфурації чавуну магнієм і, керуючись даними інших досліджень, дійшли висновку, що в роботі [20] немає інформації, яка б підтверджувала висновки авторів щодо реакції, яка протікає між магнієм та сіркою в чавуні в об'ємі обробленого металу. Інформація в [22] припускає, що, принаймні, за концентрації сірки в чавуні вище 0,01%, ефективність десульфурації металу залежить від умов гетерогенної реакції між випаровуваним магнієм і чавунною сіркою.

Як показано в лабораторному дослідженні [23], у всіх без винятку експериментах кількість сірки, що залишилася в шлаку, була набагато меншою, ніж видалена з чавуну, і варіювалася від 25 до 55% від загальної кількості видаленої сірки. Іншими словами, частка сірки, видаленої з газоподібними продуктами реакції, становила 45-75% від загальної кількості, видаленої з чавуну.

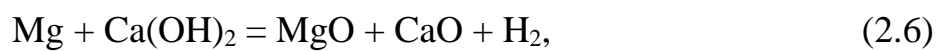
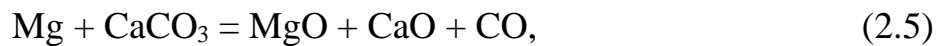
Аналіз димових газів як у лабораторії, так і на заводі показав, що сполуки сірки у вигляді H_2S і SO_2 практично відсутні в газах. Було встановлено, що крупнодисперсний пил, що складається в основному з графіту (до 90%), осадженого з диму, який осів на металевих конструкціях заводу, містить до 0,4-1,6% сірки. У дрібнозернистому пилу (менше 1 мікрона), де дим прилипав до фільтра надтонкого очищення, вміст сірки був більш вираженим і варіювався в діапазоні 3-26%.

Тому в реальних умовах кількість сірки, що видаляється у вигляді пилу з ковша, може бути вищою, що автори в [23] пояснюють тим, що реакція між чавуном і магнієм відбувається на межі розділу газ-рідкий метал. Під час міграції парів магнію в чавуні сульфідів, що утворюються, перебувають у газовій фазі та є настільки малими (розміри частинок MgO і MgS в принципі не перевищують 1 мкм), що вони розподіляються по всьому об'єму бульбашки парів магнію й утворюють аерозолі. Якщо пари магнію поглинаються не повністю і бульбашки досягають поверхні металу, то під час їх лопання з металу може бути видалена значна частина сульфідів. Кількість видаленої сірки тим більша, чим нижчий ступінь використання магнію і чим менша кількість шлаку в ковші. Таким чином, ці результати також підтверджують гетерогенну реакцію магнію і сірки.

На закінчення слід зазначити, що, незважаючи на результати наведених вище досліджень, питання про переважний перебіг цієї реакції ще остаточно не вирішене. На переважання того чи іншого механізму взаємодії магнію з сіркою впливає концентрація сірки в металі. Чим вона вища, тим більш гетерогенно протікає реакція на поверхні магнієвих бульбашок.

2.3 Вплив параметрів процесу на ефективність десульфурації

На ступінь поглинання магнію під час десульфурації може впливати склад реагентів. При введенні "чистого" магнію в чавун відбуваються вищевказані реакції і процеси взаємодії магнію з чавуном і його компонентами. При введенні магнію в суміш з наповнювачем можуть відбуватися такі реакції, в результаті яких магній може бути втрачений:



З огляду на вищесказане, магнієві реагенти не повинні містити компонентів, які можуть взаємодіяти з магнієм.

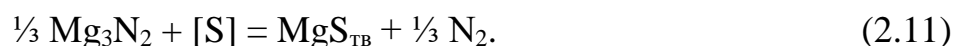
Навпаки, додавання алюмінію до магнію позитивно впливає на поглинання магнію чавуном. Дослідження показали, що додавання алюмінію до магнію (до 30%) стабілізує процес випаровування магнію і підвищує його засвоєння [24].

Природно, виникають питання щодо можливих побічних ефектів, які може викликати закачуваний газ. Для закачування магнієвих реагентів використовують повітря, азот, аргон і природний газ. Коли магній впорскується в перші два газові струмені, виникають умови, за яких може відбутися реакція



що призводить до утворення оксидів і нітридів магнію, усуваючи частину магнію з процесу взаємодії з сіркою в чавуні. Розрахунки показують, що для параметрів, що застосовуються на практиці ($V = 60 - 120 \text{ м}^3/\text{год}$, швидкість подачі магнію $5 - 15 \text{ кг/хв}$), є передумови для об'єднання $3 - 16\%$ магнію в оксиди та $18 - 95\%$ у нітриди. З цих причин повітря й азот не можуть бути рекомендовані як гази для впорскування магнію. Термодинамічний аналіз показує, що магній і азот утворюють нітриди, коли фактична температура зони впорскування магнію нижча за 1300°C , а тиск вищий за $0,2 \text{ МПа}$. Інтенсивне розкладання нітридів, що утворюються, відбувається при температурі вище 1350°C , яка, до речі, може бути і не досягнута. Визнано, що розкладання відбувається, коли нітриди перебувають у підвішеному стані в чавуні (при нагріванні частинок і зниженні тиску). Однак негативний вплив азоту, який пов'язує магній у зоні реакції та виключає його з ділянок активної взаємодії з розплавленою сіркою, є очевидним фактором, який був офіційно підтверджений. Аналіз відкладень на внутрішній поверхні випарної камери при введенні магнію з повітрям показав, що основу (понад 56%) складають оксиди та нітриди магнію. Заміна повітря на азот збільшує інтенсивність осадження і заростання нітридами.

Утворений нітрид магнію може вступати в реакцію і взаємодіяти з сіркою в чавуні.



Однак кінетичний потенціал цієї схеми значно менший, ніж потенціал взаємодії $[\text{Mg}]$ із сіркою чавуну.

Слід визнати, що якщо утворюються нітриди магнію, то у верхньому шарі чавунної ванни може відбуватися дисоціація з виділенням магнію, але асиміляція розплавом менш ефективна.

З вищевикладеного видно, що присутність кисню й азоту в газі, в який вводиться магній, супроводжується утворенням оксидів і нітридів магнію, їхньою втратою і зниженням ступеня використання.

Автори роботи [25] вважають оптимальним введення магнію в потоки природного газу. Їхні розрахунки показали, що заміна повітря природним газом при закачуванні магнію призводить до зниження температури стінки випарної

камери біля фурми та відповідного зменшення нагріву середовища в об'ємі дзвонового простору на 160%, що також було підтверджено прямими експериментами. Це знижує температуру взаємодії між парами магнію і чавуном, створюючи тим самим сприятливі умови для плавлення магнію. Крім того, введення магнію в розплав у потоках природного газу має низку інших особливостей, пов'язаних із продуктами розкладання метану - сажею і воднем.

Значне розкладання метану починається при 450-500 °С [2] і майже повністю завершується при 1000 °С. Природний газ має дуже низьку швидкість розкладання за низьких температур; тільки за температур вище 900 °С розкладання CH_4 стає значним. Піроліз природного газу відбувається шляхом поглинання тепла.



Метан, введений в рідкий чавун при температурі 1300 – 1400 °С, потрапляє в умови, сприятливі для розкладання.

Свіжоутворений сажистий вуглець при розчиненні у чавуні підвищує активність сірки в ньому, що позитивно впливає на зростання ефективності засвоєння магнію на десульфурацію, а водень сприяє створенню над розплавом безокисної атмосфери, що веде до блокування процесів ресульфурації чавуну.

Взаємодії магнію з продуктами розкладання природного газу теоретично можливі по реакціях:



Однак константи рівноваги для цих реакцій при температурі рідкого чавуну дуже малі, що свідчить про те, що взаємодія між магнієм і продуктами розкладання метану практично не відбувається в цих умовах. Тому метан можна розглядати як нейтральний газ по відношенню до магнію, що вводиться в розплавлене залізо. Це є найбільшою перевагою природного газу і сприяє

ширшому використанню магнію під час десульфурації чавуну під тиском.

Дослідження показали [25], що заміна повітря на природний газ у лабораторних умовах може збільшити засвоєння магнію в середньому на 14% (абсолютне значення) і знизити витрати магнію на переробку на 30-31%.

Водночас існує думка [26], що введення магнію в потік азоту (або повітря) не чинить істотного негативного впливу на процес десульфурації, тобто не відбувається значних втрат магнію через утворення нітридів. Тому в умовах позамайданчикової десульфурації чавуну азот можна вважати нейтральним газом щодо магнію з достатнім ступенем практичної точності.

Метод впорскування магнію в чавун чутливий до низки умов, які можуть негативно вплинути на проведений процес. Тому, навіть за гарантованої нейтральності до магнієвого газу, зниження парціального тиску парів магнію в ін'єкційному реагенті (через розгерметизацію ін'єкційним газом) повинне призвести до зниження значення $[Mg]_p$ і збільшення $[S]_p$ у чавуні. Що вища концентрація магнію в струмені аргону, то вища розчинність магнію в чавуні (рис. 2.3), і було встановлено, що збільшення концентрації з 4 кг/м^3 до 20 кг/м^3 може збільшити розчинність магнію в чавуні на 16-18% (відносне значення). Також видно, що коли фактична концентрація магнію в аргоні становить 12 кг/м^3 , значення $[Mg]_p$ дуже близьке до умов впорскування магнію без інжекційного газу.

Таким чином, введення магнію в потік газу-носія дещо знижує межу розчинення магнію в чавуні, але не набагато. Тому, коли рекомендується інжекція магнію з нейтральним газом, можна спостерігати умови, коли вміст магнію в газі-носії становить понад 12 кг/м^3 , практично не побоюючись значних наслідків від газу-носія, що інжекується.

Обробка експериментальних даних [25] показала, що ступінь поглинання магнію збільшується в міру зниження температури оброблюваного чавуну. При нагнітанні магнію стисненим повітрям він збільшується на 25% (абсолютне значення) на кожні 100°C зниження, а при нагнітанні природним газом - до 18%. Бажане зниження температури може бути досягнуто як шляхом обробки чавуну за нижчих температур, так і шляхом локального охолодження зони введення магнію в розплав, наприклад.

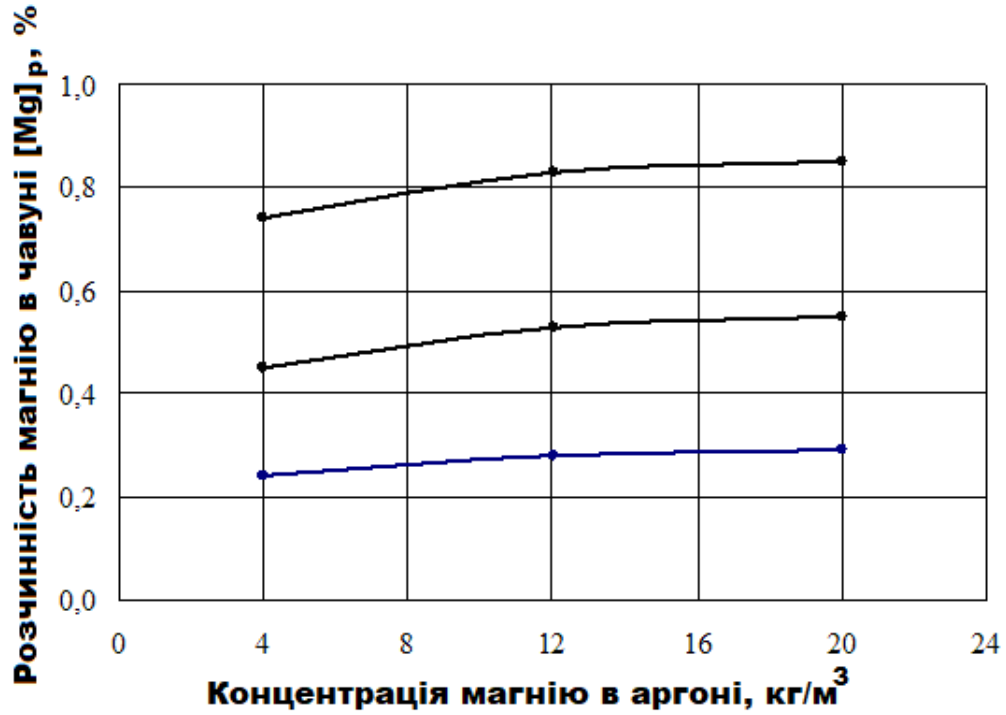


Рисунок 2.3 - Залежність розчинення магнію в чавуні від його концентрації в аргоні при температурі чавуну 1300 °С

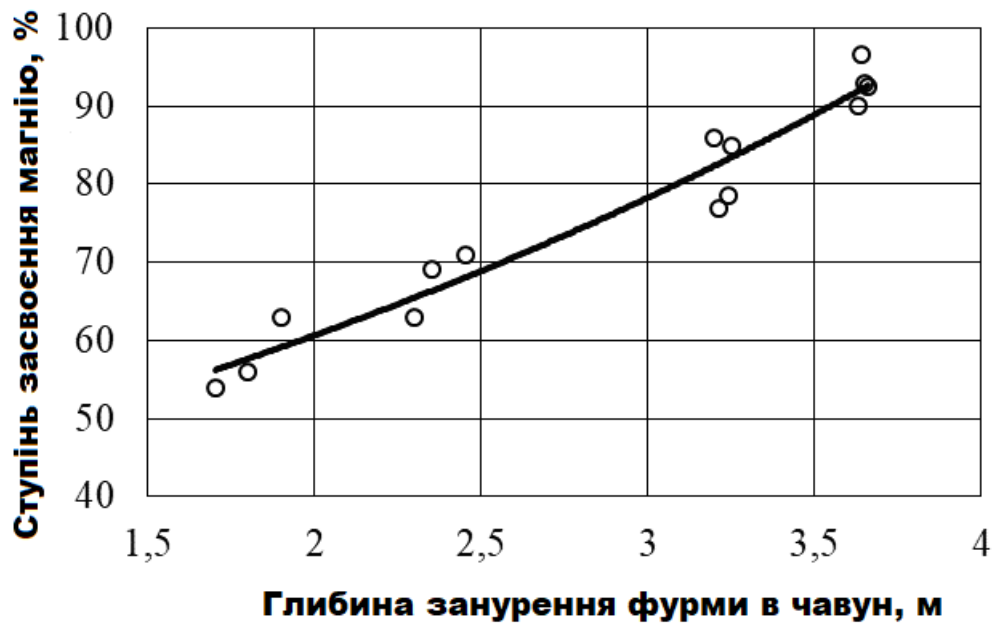


Рисунок 2.4 - Вплив глибини вдування магнію в чавун на ступінь засвоєння магнію

Значний позитивний ефект на $[Mg]_p$ також спостерігався при збільшенні глибини занурення фурми (рис. 2.3 і 2.4).

3 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ЧАВУНУ

3.1 Обґрунтування здійснення технології десульфурації чавуну в заливальних ковшах ККЦ

Застосовувана технологія десульфурації чавуну з використанням гранульованого магнію переробляє весь чавун, що надходить на ККЦ. Водночас чавун з широким діапазоном початкового вмісту сірки обробляється для забезпечення низького вмісту сірки, необхідного для завантаження в міксер ККЦ. Це погіршує ритмічність роботи відділення десульфурації чавуну (ВДЧ), а високий початковий вміст сірки в ньому створює пікові навантаження на основне обладнання секції, значно скорочуючи термін його служби.

Аналіз роботи комплексу сіркоочищення чавуну показує, що вже зараз необхідна реструктуризація ВДЧ, з одного боку, і зміна схеми подачі чавуну з низьким і глибоким вмістом сірки в конвертерний цех, з іншого боку [27]. Поточне глибоке знесірчення чавуну в доменних ковшах (до 0,005% сірки) і подальший перехід міксерів на глибоко знесірчений чавун тягне за собою величезні та непродуктивні перевитрати магнієвих реагентів, а плавуче постачання чавуну із суворо регламентованим вмістом сірки в конвертер пов'язане зі значними організаційними труднощами.

Тому однією з цілей знесірчення чавуну в доменних цехах є забезпечення конвертера глибоко безсірчистим (до 0,001-0,005% сірки) чавуном для виплавки особливо чистої високоякісної сталі за мінімальних експлуатаційних витрат, за рахунок зниження температурних втрат у чавуні, зменшення витрат магнію тощо. Попередня обробка чавуну в 350-тонному розливному ковші підтвердила ці припущення. Найбільш економічним способом постачання чавуну з необхідним вмістом сірки для кожної плавки є переробка і постачання чавуну безпосередньо перед його зливом у конвертер.

Тому проблема, яку має вирішити установка десульфурації чавуну (УДЧ) в конвертерному цеху, може бути сформульована так:

- Постачати чавун з необхідним вмістом сірки для кожної плавки.

- Зниження температурних втрат чавуну (20-25%) завдяки скороченню часу циклу обробки в доменній печі під час глибокого знесіркування, збільшення маси обробленого чавуну в ковші в 3-4 рази, зниження вдвічі витрат магнію (0,8-0,4 кг на тону чавуну) порівняно з обробкою в 140-тонному ковші доменної печі, тим самим скорочуючи час додавання в чавун.

- Збільшення доходів від реалізації товарної сталі за рахунок (і розширення) асортименту вироблених високоякісних безсірчистих сталей.

- Скорочення втрат МБЛЗ, пов'язаних з перерозподілом розплавленого металу і неефективною витратою феросплавів.

Дуже важливим вторинним ефектом є відмова від добавок чавуну для глибинної десульфурації, що дає змогу знизити навантаження ВДЧ і поліпшити ритмічність подачі чавуну в ККЦ.

3.2 Порівняння ефективності технологій десульфурації чавуну інжектуванням гранульованого магнію і введенням магнійвмісного дроту

Порівняльні експериментальні обробки чавуну в заливальних ковшах гранульованим магнієм, вдуванням аргоном через фурму з дзвоном і введенням порошкового дроту за допомогою трайбапарату проводили відповідно до програми, яка враховувала дотримання однакових умов проведення експериментів [28].

При десульфурації чавуну методом вдування використовували гранульований магній (ТУ 48-10-51-91). Обробку чавуну виробляли відповідно до РТП 232-65-98.

Для проведення порівняльних експериментів був використаний дріт з реагентом ФСМг-17, що містить 17% магнію, 51% кремнію, інше - кальцій, алюміній і залізо (ПП-13А-22-220, ТУ У 05400783-006-97). Матеріал дроту - сталь 08Ю, діаметр дроту 13 мм, товщина стінки 0,4 мм. При проведенні експериментів використовували бухту 2-4715 (нетто 835 кг, наповнення 220 г/м, довжина 2000 м, вартість 1400 дол./т). Десульфурацію чавуну шляхом введення дроту проводили

відповідно до технологічної інструкції.

Оскільки експерименти проводилися в зимовий час і при скороченні кількості плавок сталі, для проведення порівняльних обробок чавуну зазначеними способами використовували сталерозливних ківш, так як заливальні ковші були дуже «заколені», що не дозволяло налити в них необхідну кількість чавуну на плавку сталі.

Перед початком експериментів в міксері № 2 було накопичено 1500 т чавуну, що забезпечило подачу під обробку чавуну однакового хімічного складу. За даними проб, відібраних ложкою при наливанні чавуну в ковші, в ньому містилося: 1,29 - 1,39% кремнію, 0,88% марганцю, 0,005 - 0,006% сірки, 0,05% фосфору.

Організаційна особливість полягала в тому, що трайбапарат було розташовано поруч із міксером № 2, з якого розливали чавун і ківш одразу ж переміщали на оброблення, тоді як під час оброблення чавуну на УДЧ ківш відправляли до конвертерного відділення, а потім його переміщали краном на лінію 1 для подачі на установку десульфурації.

Під час порівняльної обробки зразки чавуну відбирали занурювальним пробовідбірником до початку введення реагентів, після закінчення обробки і після прокатки шлаку. Температуру чавуну вимірювали до і після десульфурації. Сірка вимірювалася шляхом спалювання чавунної стружки в потоці кисню, а магній вимірювався спектральним методом у Інституті чорної металургії.

Перша обробка проводилася шляхом введення дроту і мала такі характеристики. Сталерозливний ківш, поданий для розливу, був чистим, але холодним. Після того як ківш виливався з міксера, поверхня металу повністю вкривалася рухомим шлаком. Розплавлена поверхня ковша перебувала на 700-800 мм вище зрізу ковша. Температура чавуну в ковші перед початком обробки становила 1283°C. Знадобилося п'ять хвилин, щоб закінчити заливку чавуну в ківш і почати вставляти дріт. Швидкість введення дроту варіювалася від 2,5 до 4,0 м/с. Через вісім хвилин після початку введення реагенту пристрій трайбапарату зупинився через несправність. Обробку було зупинено, і в барабані залишилося близько 350 м дроту. Загалом у ківш трайбапарату було подано 1590 м дроту,

який було перетворено на 349,8 кг реагенту, з них 59,5 кг магнію на ківш.

Спостереження за процесом обробки чавуну цим методом показали, що на початку введення дроту він починає горіти на поверхні розплаву в ковші, а напрямна, в яку вводиться дріт, коливається. Почав утворюватися сильний дим, і протягом 4 хвилин після початку процесу майже вся камера змішувача була заповнена димом, незважаючи на роботу азотного пригнічувача. Емісія на поверхні розплаву спостерігалася доти, доки введення дроту не було зупинено. Наприкінці обробки на розплавленій поверхні ковша залишалися уламки дроту (кілька витків). Шлак являє собою затверділу шкіру товщиною близько 100 мм, частина якої (менше половини) видаляється в процесі прокатки шлаку. Коли чавун був вивантажений у конвертер, інша частина кірки залишилася в ковші і була доступна для заливки для експериментальної обробки чавуну шляхом введення магнію.

Температура чавуну налитого в сталерозливних ківш для обробки шляхом інжектування магнію склала 1282 °С. Ківш подали в конвертерний цех для перестановки його на першу лінію. Всього на операцію перестановки ковша і подачі його до УДЧ було витрачено 20 хв. Зробити вимір температури безпосередньо перед обробкою чавуну не виявилось можливим через застиглої кірки шлаку завтовшки більше 100 мм.

Вдування гранульованого магнію виробляли в струмені аргону при витраті його 75 $\text{nm}^3/\text{год}$. Тиск газу в бункері перебувало на рівні 5,7 - 5,8 атм, глибина занурення фурми була на рівні 3,5 - 4,0 м. Всього було вдуто в чавун 39 кг магнію. Через побоювання виходу фурми з ладу вдування реагенту виробляли в два прийоми. При цьому магній вдувати протягом 3,5 хв, потім фурму підняли на 2 - 3 хв, перевірили її стан і знову вдували магній протягом 4,0 хв. Після припинення подачі магнію додували тільки газом протягом 0,5 хв.

Спостереження за процесом обробки чавуну гранульованим магнієм показують, що продування проходить гладко, без металізації. Хоча кількість диму, що виділяється, була значно меншою, ніж під час обробки магнієвмісною катанкою, під час обробки за допомогою розливного ковша виділялося трохи більше диму, ніж зазвичай, тому що кришка не підходила до сталевого

розливного ковша і перебувала на відстані 400 мм від верху ковша. Дим, що виділявся, піднімався від верху ковша до стелі і майже повністю зникав через хвилину або дві.

Шлак після вдування магнію в чавун являв собою суху масу, яку було важко видалити скребком, та ще й з великою кількістю шлаку, який мав овальну, а не пластинчасту форму. Усього за п'ять хвилин було видалено близько 30% шлаку, а шлак, що залишився, був засипаний у конвертер разом із чавуном.

Зазначимо, що загальний час відповідальності ковша від заливки чавуну в ківш до закінчення прокатки шлаку становив 32 хвилини, коли в чавун для обробки чавуну вводили дріт. Обробка чавуну методом вдування магнію зайняла стільки ж часу, за вирахуванням 20 хвилин, необхідних для перестановки ковша. Складність своєчасного постачання ковшів для обробки в доменній печі призводила до значних втрат тепла в чавуні.

Таким чином, під час обробки впорскуванням дроту вимірювання температури після обробки чавуну проводили через 15 хвилин після першого вимірювання, і падіння температури становило 8°C ($0,53^{\circ}\text{C}/\text{хв}$), тоді як під час обробки впорскуванням магнію друге вимірювання проводили через 39 хвилин, і падіння температури становило 15°C ($0,38^{\circ}\text{C}/\text{хв}$).

Характеристики та показники процесу десульфурації чавуну різними методами, що проводився за однакових умов експлуатації в міксерному відділенні ККЦ "МК "АЗОВСТАЛЬ", наведені в таблицях 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1 - Характеристика порівняльних обробок чавуну в сталерозливному ковші способами введення магнійвмісного дроту і вдування гранульованого магнію за допомогою фурми з дзвоном

№ експерименту	Спосіб введення реагенту	Маса чавуну, т	Тривалість введення реагенту, хв	Кількість введеного в ківш реагенту, кг
1	дріт	305	8,0	59,5
2	інжекція	295	7,5	39

Таблиця 3.2 - Показники процесів десульфурації чавуну в сталерозливному ковші способами введення магнійвмісного дроту і вдування гранульованого магнію за допомогою занурювальної фурми з дзвоном

№ експерименту	Спосіб введення реагенту	Витрата магнію, кг/т чавуну	Масова частка сірки, %		Масова частка магнію, %		Ступінь десульфурації, %	Витрата магнію на сірку, кг/кг
			до обробки	після обробки	до обробки	після обробки		
1	дріт	0,195	0,007	0,005 0,005*	0,0017	0,0195 0,0148*	28,6	9,8
2	інжекція	0,132	0,007	0,003 0,003*	0,0021	0,0100 0,0083*	57,1	3,3

* - після скачування шлаку

Оброблений зазначеними способами чавун був використаний при виплавці сталі 3сп. При підготовці до плавки № 5539 (експеримент № 1) в якості твердого завалювання була використана обріз листів, при плавці № 5540 (експеримент № 2) - звичайний привозний лом. Вміст сірки в металі на першій повалці склав 0,008 і 0,012% відповідно.

Аналізуючи дані таблиць 3.1 і 3.2, а також дані спостережень за досліджуваними процесами обробки чавуну, виконаними в однакових умовах роботи ККЦ, можна зробити наступні висновки.

Технологія десульфурації чавуну шляхом вдування магнію в заливальних ковшах киснево-конвертерного цеху досить добре відпрацьована в процесі виконання науково-дослідних робіт протягом 2016 - 2020 рр. і показники обробки чавуну знаходяться на рівні досягаються раніше результатів при таких низьких вихідних вмістом сірки. Вилучено 0,004% сірки, ступінь десульфурації склала 57%, витрата магнію - 0,132 кг/т чавуну, що відповідає розробленої раніше номограмі залежності витрати магнію від вихідного вмісту сірки (рис. 3.1).

Показники процесу обробки чавуну методом вдування магнійвмісного дроту практично не відрізняються від показників, отриманих раніше, коли проводилася порівняльна обробка чавуну на ливарному ковші. Також утворювалася велика кількість диму, а дріт горів на розплавленій поверхні.

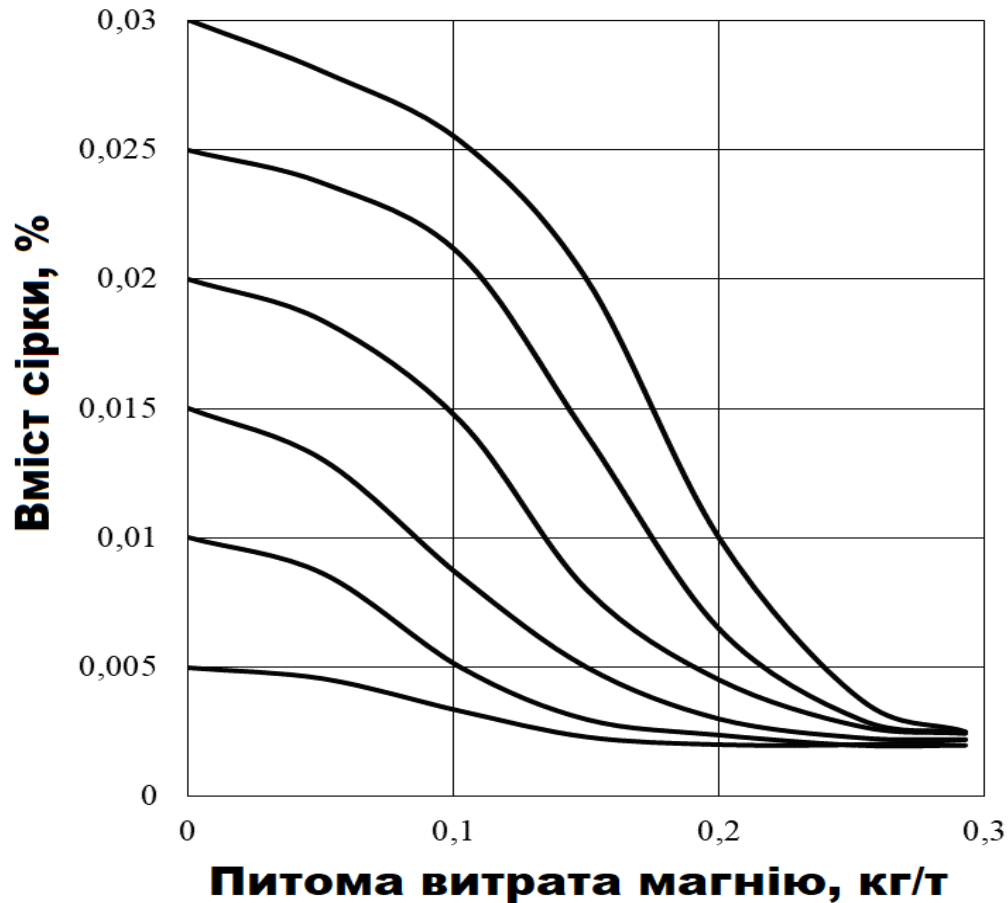


Рисунок 3.1 - Номограма витрати гранульованого магнію в залежності від вихідного вмісту сірки в чавуні, що налита з міксеру в 350-т заливний ківш

У цьому експерименті було видалено 0,002% сірки, а ступінь десульфурзації становив 28,6% (удвічі вищий, ніж під час введення магнію). Витрата магнію для видалення сірки становила 9,8 кг/т, що більш ніж утричі вища, ніж під час порівняльної обробки із введенням магнію.

Більша частина реагенту, введеного методом ППМ, опинилася у верхньому шарі металу в ковші, що видно з того, що вміст залишкового магнію в зразку чавуну становив 0,0195%, що практично відповідає кількості введеного магнію, а обробка чавуну з використанням методу введення магнію шляхом занурення на глибину. Магній у верхньому шарі металу без додаткового перемішування, що зазвичай спостерігається за такого високого вмісту залишкового магнію в чавуні, не забезпечує додаткової десульфатації під час транспортування чавуну в конвертер. Оскільки обробка чавуну методом вдування дроту характеризується нерівномірним розподілом реагентів у чавуні, а розробники технології рекомендували додати операцію вдування газу в чавун для підвищення

ефективності утилізації магнію, на додачу до триперу вдування дроту необхідно створити пристрій для подальшого закачування газу.

3.3 Удосконалення конструкції занурювальних фурм для введення магнію в заливальні ковші

3.3.1 Модернізація конструкції фурми з випарною камерою

Тривала експлуатація в ВДЧ комбінату фурм з випарною камерою показала їх високу механічну стійкість і технологічну ефективність. Більш ніж 20-річний досвід їх використання підтвердив доцільність розробленої конструкції фурми для умов обробки чавуну в 100 - 140-тонних чавуновозних ковшах. За весь цей час в конструкції фурми не було зроблено якихось значних змін. Незважаючи на відносно високу їх вартість і певні труднощі обслуговування, альтернативи даної конструкції фурми для вдування гранульованого (зернистого) магнію в чавун у чавуновозних ковшах не існує досі.

Тому для обробки чавуну в 350-тонних заливальних ковшах ККЦ була запропонована ця ж конструкція фурми. Параметри випарної камери - діаметр в нижній частині і її висота - були розраховані на інтенсивність подачі магнію до 15 кг/хв. Основними параметрами випарної камери є діаметр в світлі в основі камери (на зрізі дзвону в нижній його частині) і висота підзвонового простору - відстань від зрізу дзвону до кінця каналу фурми, що входить до випарну камеру.

Діаметр на зрізі випарної камери (дзвона) визначає розмір розплавленої поверхні під дзвоном, яка є основним джерелом тепла у випарній камері. Розмір цієї поверхні (або діаметр дзвона) повинен відповідати інтенсивності подачі магнію, оскільки він є основним споживачем цього тепла (нагрівання, плавлення і випаровування). Зменшення діаметра дзвона у випарній камері зменшує кількість тепла в ньому, що призводить до зниження інтенсивності випаровування та виділення випаровуваного магнію з-під дзвона, що призводить до погіршення використання рідкого чавуну. Якщо діаметр занадто великий, простір дзвона стає більшим, що ускладнює занурення дзвона в розплав і збільшує навантаження на

раму дзвона через збільшення виштовхувальної сили.

Глибина (висота) дзвонового простору визначає умови для рівномірного розсіювання магнію на поверхні розплаву і цілісність його плавлення та випаровування. Якщо ця висота зменшується, то нерозплавлений магній може накопичуватися в центральній ділянці над поверхнею розплаву і сприяти його вивільненню з-під дзвону. Якщо висота збільшується занадто сильно, камера або фурма стає більшою, що призводить до погіршення умов нагріву верхніх стінок камери і налипання та конденсації парів магнію. Зменшення діаметра камери і збільшення висоти також призводить до більшого відкладення магнію, шлаку і чавуну на стінках камери, що дуже ускладнює очищення дзвонового простору між ударами.

На основі цих розрахунків було розроблено та виготовлено фурму з випарною камерою з такими параметрами:

- діаметр в світлі в основі дзвону - 450 мм;
- висота підзвонового простору - 850 мм;
- діаметр верхнього майданчика дзвону - 250 мм.

Підготовка фурми до експлуатації включала в себе:

- природну сушку вогнетривкого покриття фурми, що складається з меленого коксу, високотемпературного піску і вогнетривкої глини (льоточна маса доменного виробництва);
- сушку факелом природного газу;
- сушку в спорожненому розігрітому ковші (витримка до 30 хв за 4 - 6 опускань в ківш);
- «загартування» при короткочасному зануренні в чавун 3 - 4 рази.

Тривалість обробки чавуну коливалася в інтервалі 3 - 10 хв. В цілому було проведено 40 обробок чавуну. Аналіз результатів роботи фурми показав її високу стійкість і працездатність. Руйнування вогнетривкої покриття були незначними. При обстеженні підзвонового простору була відмічена підвищена швидкість заростання стінок випарної камери. У нижній частині дзвону переважали скрап чавуну, нарости ківшевого шлаку, у верхній частині - оксиди та нітриди магнію, а також шар чистого магнію. Це може бути пояснено збільшеною глибиною

занурення фурми (3 - 3,5 м) і порівняно низькою температурою чавуну (1200 - 1250 °С). Підвищений тиск в підзвоновому просторі і знижена температура чавуну сприяють зниженню інтенсивності нагріву та випаровування магнію, утворенню відкладень на стінках всередині підзвонового простору. Це в значній мірі ускладнило чистку дзвону, тому було вирішено зменшити його глибину на 150 мм. Була виготовлена фурма зі зменшеною глибиною дзвону. Надалі, для збільшення ступеня прогріву всередині випарної камери, було вирішено після закінчення обробки чавуну і припинення подачі магнію на фурму, останню тримати на глибині без подачі магнію протягом 40 - 60 сек. Огляд дзвону після обробки чавуну підтвердив дієвість такого заходу. Збільшення нагрівання дзвону за рахунок зменшення його висоти (глибини) і витримка фурми в металі після його продувки без подачі аргону дозволили значно зменшити заростання випарної камери і трудомісткість її чистки без будь-якого погіршення використання магнію при знесірченні чавуну.

3.3.2 Відпрацювання конструкції циліндричної (прямоточної) фурми

Наявність випарної камери на кінці фурми є необхідним заходом при введенні в рідкий чавун реагентів з низькими температурами плавлення і випаровування [27]. Для того щоб забезпечити введення таких реагентів у чавун, фурма також має недоліки. Нижче перелічено переваги та недоліки фурми з випарною камерою.

Переваги.

1) Реагент (магній) виходить із випарної камери у вигляді пари і взаємодіє з чавуном за найбільш сприятливих умов.

2) Великий діаметр периферії нижнього кінця фурми (зовнішній діаметр дзвона на покритті досягає 1 м) забезпечує взаємодію випаруваних бульбашок магнію з чавуном у великій кількості розплаву за один раз.

3) Винесення ділянки каналу фурми з рідкого чавуну на висоту дзвонового простору значно знижує можливість оплавлення або засмічення каналу.

4) Випарений магній виходить з камери за будь-якої глибини занурення

фурми і потрапляє в чавун.

Недоліки.

1) Складна і дорога конструкція сільфона, з використанням лиття і спеціальних методів складання і зварювання.

2) На внутрішніх стінках дзвона утворюються нарости з брухту, чавуну, шлаку та оксидів і нітридів магнію. Осадження чистого магнію сприяє його втраті.

3) Необхідність регулярного очищення випарної камери шляхом промивання поверхонь стінок дзвона механізованими інструментами та водою через високу ймовірність захоплення відкладень і наростів усередині дзвона і фрагментів шлаку з чавунної поверхні.

Це вимагає спеціалізованого очищення брухту і рідкої пульпи (шламу), а також забезпечення гігієни на робочих місцях з різними кліматичними умовами.

У деяких випадках процес позапічної десульфурзації чавуну не вписується в наявний цикл через час, необхідний для обслуговування випарника фурми.

4) Під час продування чавуну великий розмір і вага фурми збільшує навантаження на привід та інші металеві конструкції. Це посилюється необхідністю вдавнення фурми в чавун для усунення ефекту поплавка.

Якщо під час обробки відносно невеликих розплавлених мас переваги переважають недоліки, коли глибина занурення фурми не перевищує 1,5-2,0 м, а витрати на їхнє подолання оплачуються ефективністю обробки, то під час збільшення глибини ємності обробки понад 3-3,5 м недоліки фурми з випарною камерою важко подолати. Це стає проблемою.

Тому останніми роками під час розроблення нових технологій позапічної обробки чавуну робляться спроби знайти альтернативні конструкції причалів, здатні підвищити ефективність використання дорогих реагентів і одночасно мінімізувати капітальні витрати на реалізацію цього процесу. Видно, що всі недоліки системи фурми з випарною камерою пов'язані з дзвоном на кінці фурми.

У відділенні десульфурзації чавуну комбінату "АЗОВСТАЛЬ" була зроблена спроба ввести гранульований магній у чавун через фурму без випарної камери незабаром після початку промислової експлуатації ВДЧ доменного цеху. Шляхом

підбору витрати газу-носія і тиску у випускній лійці було показано, що в чавуновозному ковші ємністю 140 тонн можливе вдування магнію в чавун без зварювання фурменного каналу. Результати цих спроб показали практичну перспективність такого методу вдування магнію в чавун, але через широкий спектр техніко-економічних показників цього процесу подальше впровадження не може бути рекомендовано. Нижче подано переваги та недоліки цього методу введення магнію в чавун.

Переваги.

1) Простий дизайн обшивки зі звичайними елементами. Відсутність лиття і спеціальних технологій виготовлення (з'єднання величезних елементів вимагає спеціальних технологій виготовлення зварних конструкцій).

2) Відсутність розширення нижньої частини фурми, що дає змогу зменшити розмір фурми, знизити навантаження на привід установки і металоконструкції, а також знизити вартість будівництва.

3) Відсутність випарної камери знижує необхідність в обслуговуванні випарної камери. Може бути відсутня зона обслуговування фурм (потрібна для фурм із випарною камерою).

4) Ремонт поверхонь фурм з вогнетривким покриттям не вимагає спеціального розроблення конструкції.

Недоліки.

1) Чавунна рідина безпосередньо в розрізі водяного каналу може призвести до засмічення.

2) Магній залишає причальний канал у твердому стані, а в розплавленій масі під час спливання відбувається нагрівання, плавлення і випаровування. Що менша глибина, то більша ймовірність того, що магній, який не прореагував, покине розплав.

3) Недорозширення фурми призводить до зменшення діаметра каналу, в цьому випадку висхідний потік бульбашок піднімається вздовж фурми, обмежуючи кількість розплаву, що піддається впливу цього потоку.

4) Якщо фурма занурена в ківш з великою кількістю затверділого шлаку (дно, "дах" тощо), канал може бути заблокований.

На відміну від відводів з випарними камерами, конструкція відводів не має величезного дзвона з литого металу як продовження наконечника. Це значно знижує навантаження, що передаються фурмою під час продування конструкційного чавуну установки. Продування здійснюється спокійно, відсутня вібрація або тряска приводу фурми, а вплив на напрямні значно знижено. Відсутність розтруба знизилася механічне навантаження на рамну конструкцію корпусу водяної турбіни, що дало змогу замінити відсутній центральний підшипник товстостінної труби (180 x 40 мм) на звичайну трубу (200 x 10 мм). Працездатність фланцевого з'єднання також було поліпшено, що усуває необхідність регулярного підтягування болтів.

Зменшивши діаметр каналу фурми з 20 мм до 12 мм, можна збільшити швидкість струменя газового порошку на фурмі приблизно втричі, значно збільшивши енергію струменя і запобігши забиванню фурми вилівками під час продування, за умови збереження витрати газу на колишньому рівні (60-80 м³/год). Однак наявний тиск транспортних газів (повітря, азот) у мережі ВДЧ - 0,4-0,5 МПа - мінімальний для досягнення високих енергетичних характеристик потоку та його частих коливань, як уже зазначалось, якщо енергія потоку не є важливим фактором під час вдування магнію в чавун, випарна камера фурми постійного струму не може бути рекомендоване для повної заміни фурми з приєднаною камерою.

Виключення випарної камери в фурмі визначає найважливішу умову для надійного і стійкого введення дисперсного магнію в чавун. Необхідна кінетична енергія, що витікає з фурми, підводиться безпосередньо до розплаву струменя газового порошку, запобігаючи заварюванню рідким чавуном. Кінетична енергія струменя забезпечується швидкістю в кінці струменя і щільністю або концентрацією твердої фази в потоці. Цієї енергії має бути достатньо не тільки для введення необхідної кількості реагенту в одиницю часу глибоко в розплав (сила подачі), а й для запобігання контакту рідкого чавуну з фурмою та його стікання на стінки фурми. Це досягається, як уже згадувалося, шляхом зменшення діаметра каналу (за технічно визначених витрат газу-носія і сили подачі магнію). Фізичні властивості сипучого матеріалу певних фракцій (1-2 мм) не дозволяють

зробити цей діаметр меншим за 10 мм. З іншого боку, чим менший діаметр каналу, тим більший опір рідини, і для забезпечення високих швидкостей потоку в таких каналах може знадобитися вищий тиск газу, ніж реально існує в цеховій мережі або ніж допускається експлуатацією ємності для продувки чавуну. Діаметр проточного каналу 12 мм було обрано з огляду на фактичну витрату газу-носія 100-140 м³/год і тиск 0,6 МПа під час продування чавуну. За таких параметрів можна досягти максимальної швидкості кінця потоку, що дорівнює критичній швидкості, якщо ця швидкість не збільшується під час подальшого збільшення тиску газу (або його витрати). У цьому разі бажаним є досягнення критичної швидкості в умовах заливання в бак рідини, оскільки турбулентність, що виникає поблизу зрізу каналу під час барботування бака рідиною, не потрапляє до каналу, а отже, не відбувається закупорки каналу чавуном.

Спираючись на досвід продувок чавуну прямоочною фурмою в 140-тонних ковшах в ВДЧ, була виготовлена дослідна фурма для умов 350-тонного заливочного ковша ККЦ. Для умов обробки чавуну в заливальному ковші довжина фурми була збільшена на 2 м, в іншому її конструкція залишилася колишньою. Фурма мала наступні параметри:

- довжина вогнетривкої частини - 5000 мм;
- діаметр вогнетривкої частини - 400 мм;
- діаметр основного каналу - 32 мм;
- діаметр вставного каналу - 12 мм.

З урахуванням збільшення глибини занурення фурми (до 3 - 3,5 м) збільшили тиск у видатковому бункері до 0,5 МПа. Технологію продувки чавуну залишили аналогічною продувці фурмою з випарною камерою. Результати перших продувок чавуну новою виявилися негативними - канал фурми часто заварювався, довести обробку до кінця не вдавалося. Характер закупорки каналу (заварювався безпосередньо зріз каналу) вказував на недостатню енергію газопорошкового потоку. Причинами, крім того, могли бути:

- підвищений вміст в гранульованому магнії голкоподібних частинок (довжиною до 10 мм), що погіршують рівномірність надходження грануляту по магнієпроводу фурми;

– контактування рідкого чавуну і каналу фурми (в районі його краю) привело до звуження перетину каналу і, в підсумку, до повної зупинки грануляту і закупорці каналу;

– малий діаметр каналу (12 мм у проясненні) по всій його довжині обумовлює підвищений гідродинамічний опір всієї системи, подолання якого не забезпечується існуючим запасом тиску в бункері; закінчується з каналу потік не має достатньої «жорсткості», а пульсації в зоні закінчення від барботажу рідкої ванни сприяють закупорці в краю каналу.

З метою усунення причин закупорки каналу для подальших продувок чавуну було вирішено, по-перше, замінити магній СМГ (вторинний, з вмістом до 10% голкоподібних частинок і до 5% дрібною (менше 0,5 мм) фракцією) на первинний МГП-3, в якому відсутні голкоподібні частинки і дрібна фракція; по-друге, встановити на кінцеву частину каналу графітовий наконечник з отвором 12 мм для запобігання контакту каналу з рідким чавуном. Графіт має низькі адгезійні характеристики по відношенню до рідкого чавуну, краплі якого, навіть якщо вони проникають всередину каналу, не можуть утримуватися на графітових стінках цього каналу.

Продування, здійснюване реконструйованою фурми, показало ефективність цього заходу. Було помічено, що магній рівномірно переміщався магнієвим провідником, пульсації були відсутні, канал фурми на заварювався, а характер дуття (турбулентність, об'єм дуття, утворення диму тощо) був таким самим, як і в разі дуття зі звичайною фурмою, прикріпленою до дзвона. Параметри експериментального продування наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Деякі параметри дослідних продувок чавуну прямоочною фурмою з графітовим наконечником

Вага чавуну, т	Витрата газу, м ³ /год	Витрата магнію, кг/хв	Тиск в бункері, МПа	Тривалість продувки, хв	Температура чавуну, °С
232–270	75–110	5,5–6,0	0,50–0,55	3–5	1290–1310

При оцінці стану фурми між продуваннями чавуну було відзначено

зменшення довжини графітового наконечника після кожної продувки в результаті ерозійного зносу і розчинення графіту при контакті з рідким чавуном. Після повного руйнування графітового наконечника при наступних продувках канал фурми знову став контактувати з рідким чавуном і знову стали повторюватися випадки заварювання фурми.

На першому етапі пошуків і усунення причин закупорки каналу була зроблена повна ревізія обладнання установки. Були перевірені всі можливі витoki газу на трасі його підведення до установки, в бункері, в магнієпроводі, ретельно очищені внутрішні стінки витратного бункера від відкладень пилу, осередки роторного живильника і аерокамера, перевірено стан внутрішніх стінок магнієпроводу від аерокамери до зрізу фурми, заірної та регулюючої арматури, контрольно-вимірювальної апаратури і т.д. Метою ревізії, крім усього іншого, було недопущення втрат тиску на підводі газу до установки, попадання сторонніх тіл і пилу в магнієпровід, виключення пульсації в ньому при проведенні продувок чавуну.

Проте подальші потім спроби продувки чавуну позитивних результатів не дали - канал фурми продовжував заварюватися чавуном. Не допомогли і підвищення тиску у видатковому бункері до 0,65 МПа і витрати газу - до 120 - 125 м³ /год.

Для продовження робіт з пошуку оптимальної конструкції прямої фурми була проведена чергова її реконструкція з установкою графітових наконечників різної конфігурації. Метою цього етапу було вивчення характеру та інтенсивності їх зносу в процесі експлуатації фурм, оскільки роль графітового наконечника фурми при здійсненні способу введення магнієвих реагентів через фурму без випарної камери була оцінена як вирішальна. Паралельно з цим оцінювалася і роль енергетики газопорошкового струменя при обробці чавуну за допомогою прямої фурми. Збільшення кінетичної енергії струменя газопорошкової суміші, що минає з каналу фурми, може досягатися двома шляхами - збільшенням тиску газу у видатковому бункері і, отже, його витрати і збільшенням щільності потоку. З іншого боку, цьому перешкоджає зростаючий гідродинамічний опір каналу всього магнієпроводу. Підвищення тиску в бункері

обмежується його величиною в цеховій мережі і можливістю роботи судин і трубопроводів під підвищеним тиском. Збільшення щільності газопорошкового потоку обмежується технологічно допустимою максимальною витратою магнієвого реагенту при продувці чавуну через одноканальну фурму - 10 - 14 кг/хв. Зменшення опору каналу магнієпроводу може бути досягнуто поступовим (ступінчастим) зменшенням його діаметра від аерокамери (20 - 25 мм) до кінцевої частини фурми (12 мм).

При реконструкції фурми був обстежений її замінний канал. На кінцевій частині каналу на віддалі 100 мм від його зрізу було виявлено отвір у стінці, на поверхні труби - скоринка з розплавленого магнію. Нижня частина захисної труби каналу також виявилася напівзруйнованою. Ці руйнування були викликані, ймовірно, проникненням рідкого чавуну через торець (або бічну поверхню) фурми при продувці чавуну. Це стало можливим при повному руйнуванні графітового наконечника, коли герметичність фурми в нижній його частині порушилася. Через свищ, що утворився (отвір у стінці каналу досягало 10 мм в діаметрі) простір каналу поєднувався з простором усередині захисної труби, тобто сталася розгерметизація каналу фурми. У такому випадку частина газу стала йти через нещільність, утворюючи свого роду демпферну подушку у внутрішніх порожнинах каркасу фурми. У такій ситуації енергія струменя безпосередньо перед її закінченням у розплав, її «жорсткість» була значно зменшена, що й призводило до закупорки каналу фурми, до заварки його зрізу.

Після заміни каналу фурми з установкою графітового наконечника були зроблені нові спроби продувки чавуну. Були проведені дві (підряд) продувки чавуну загальною тривалістю по 7 хв кожна (таблиця 3.4). Процес обробки чавуну пройшов спокійно - без заварювання фурми і яких-небудь викидів чавуну, витікання магнію було стабільним і рівномірним, коливань тиску в бункері і витрати газу не спостерігалось.

Таблиця 3.4. - Деякі параметри продувок чавуну через прямоточну фурму з графітовим наконечником

№ експерименту	Налив ковша, т	Вільний простір над металом, м	Витрата газу, м ³ /год	Тиск в бункері, МПа	Витрата магнію, кг/хв	Витрата магнію на ківш, кг	Тривалість продувки, хв	Т чавуну, °С
3	295	0,4	110 – 125	0,61 – 0,94	5,5 – 6,6	4,0	7 (4+3)	1289
4	311	0,3				40	7 (5+2)	1302

Необхідно відзначити, що при проведенні досліджуваних продувок чавуну прямоочною фурмою наповнення ковшів чавуном було більш повним, ніж при звичайних продувках фурмою з дзвоном - кількість чавуну зумовлювалося конкретної плавкою в конвертерному цеху. При цьому глибина занурення фурми відповідно збільшувалася на 300 - 500 мм (повна глибина занурення досягає 3,5 - 4,0 м), що сприятливо позначилося на зменшенні інтенсивності випаровування магнію, що вводиться і, отже, на бурхливості процесу та кількості викидів із ковша. Незважаючи на те, що відстань від поверхні чавуну до краю ковша становила всього 300 - 400 мм (проти 700 - 800 мм на інших продувках), кількість викидів чавуну не тільки не збільшилася, але навіть зменшилася порівняно з продуваннями фурмою з дзвоном.

Надалі роботи з пошуку оптимальної конструкції прямоочною фурми можуть бути продовжені за наступними напрямками:

- зменшення витрат газу-носія на 30 - 40% за рахунок зменшення діаметра отвору в графітовому наконечнику до 10 - 11 мм. При цьому швидкість витікання струменя може залишатися на колишньому рівні;
- зменшення тривалості обробки чавуну за рахунок збільшення швидкості подачі реагенту до 8 - 10 кг/хв. Максимальна допустима швидкість подачі реагенту буде визначатися допустимою бурхливістю процесу продувки чавуну, кількістю викидів чавуну при його обробці;
- пошук оптимальних варіантів наконечника каналу фурми, матеріалів для його виготовлення;
- вирішення завдань, пов'язаних із заміною зношуються наконечників в процесі експлуатації фурми;

– пошук можливих параметрів вдування магнію в чавун через прямоточну фурму з каналом без графітового (іншого керамічного) наконечника.

Як вже зазначалося, найбільш істотним недоліком фурми з випарною камерою є трудомісткість регулярного очищення підзвонового простору від відкладень і наростів, неминуче утворюються при продувках чавуну. Відмова від дзвону на прямоточній фурмі усуває цю операцію, але виникає нова - заміна наконечника каналу фурми в міру його зносу на новий в процесі експлуатації фурми. Інший шлях - застосувати наконечник таких розмірів і конструкції, які дозволяли б досягти його стійкості, рівної стійкості фурми, коли заміна наконечника здійснювалася б при ремонті фурми в цілому на ділянці підготовки та ремонту фурми.

3.4 Дослідження по отриманню низькосірчистого і глибокознесірченого чавуну в 350-т заливальних ковшах для виплавки високоякісних сталей

Десульфурація чавуну в чавуновозних ковшах ВДЧ дозволяє мати в міксерному чавуні необхідний за стандартом вміст сірки 0,015 - 0,020%, але в окремі періоди виплавки особливонизькосірчистих марок сталі виникає необхідність у глибокознесірченому чавуні з вмістом сірки в межах 0,005 - 0,010%, а останнім часом і в чавуні з вмістом сірки 0,001 - 0,003%.

Дослідження з отримання чавуну з необхідною кількістю сірки для виплавки різних марок сталі проводили відповідно до рекомендацій по технологічному процесу десульфурації чавуну гранульованим магнієм [28].

Раніше проведені експериментальні обробки чавуну в заливальних ковшах шляхом вдування гранульованого магнію на дослідній установці показали можливість отримання чавуну з вмістом сірки 0,005 - 0,010% при вихідному вмісті 0,015 - 0,026% і витраті магнію 30 - 40 кг на ківш (0,12 - 0,15 кг/т чавуну). Тривалість введення магнію знаходилася в межах 6 - 8 хв, зниження температури чавуну в процесі обробки - на рівні 5 - 6 °С при нормальній організації подачі ковша до установки.

У цій роботі експериментальні обробки чавуну в заливальному ковші виробляли шляхом вдування в струмені аргону гранульованого магнію за допомогою фурми з випарювальною камерою (дзвоном) і фурми з прямоточним каналом.

При проведенні цих експериментів чавун наливали з міксерів в кількості 250 - 270 т, вимірювали температуру і подавали до установки, де відбирали пробу чавуну пробницею занурення, вдувати зважене заздалегідь кількість магнію, потім знову відбирали пробу чавуну, вимірювали температуру і подавали ківш під міксер для доливання необхідного на плавку кількості чавуну, потім знову виробляли вимір температури і ківш подавали до машини скачування шлаку, де по закінченні скачування шлаку знову відбирали пробу чавуну.

У таблиці 3.5 наведені параметри обробки чавуну з використанням фурми з дзвоном, а в таблиці 3.6 - отримані при цьому результати.

Таблиця 3.5 - Параметри обробки чавуну гранульованим магнієм, що вдувається через фурму з дзвоном

№ експерименту	Маса чавуну, т		Кількість введеного реагенту, кг	Температура чавуну, °С		Примітки
	до обробки	Після доливу		до обробки	після обробки	
5	245	300	85	1288	1282	Три занурення фурми два занурення фурми
6	246	300	75	1288	1283	

Як видно з таблиці 3.5, намічену кількість магнію вводили за кілька занурень, щоб уникнути прогорілості вогнетривкої шару фурми при тривалому її перебуванні в рідкому чавуні. Через 2 - 3 хв. фурму піднімали, проводили огляд стану футеровки і через 1,0 - 1,5 хв. знову опускали в чавун. Загальна тривалість вдування магнію з додувки аргонном протягом 0,5 - 1,0 хв становила 9,5 - 10,0 хв. Витрата аргону була у межах 80 - 100 нм³/год, тиск газу в бункері 5,0 - 5,1 атм. Продувка чавуну йшла спокійно, без викидів. За весь цикл опрацювання втрати температури склали 5 – 6 °С.

Таблиця 3.6 - Показники процесу обробки чавуну гранульованим магнієм, що вдувається через фурму з дзвоном

№ експ.	Витрати реагенту, кг/т чавуну		Масова частка сірки, %		Масова частка магнію, %		Ступінь десульф урації, %	Витрати магнію на сірку, кг/кг	Ступінь використання магнію, %	
	обробленого	Всього	до обробки	Після обробки	до обробки	Після обробки			на сірку	на сірку+магній
5 Після доливу	0,347		0,015	0,003	0,0029	0,0145	80	2,9	26,3	68,1
		0,283		0,005		0,0089	67	2,8		
6 Після доливу	0,305		0,016	0,005	0,0020	0,0126	69	2,8	27,4	68,7
		0,250		0,005		0,0076	69	2,3		

Як видно з таблиці 3.6, вміст сірки знизився до 0,003 - 0,005%. Після доливання чавуну з міксера вміст сірки в пробах експерименту 6 залишився на рівні, отриманому після доливання (0,005%), а в пробах експерименту 5 виявився вищим, що, мабуть, пов'язано з невдало відібраною пробою безпосередньо під шлаком.

Таке підвищення вмісту сірки (на 0,002%) не могло статися ні за рахунок доливання 55 т чавуну з вмістом сірки 0,015%, ні за рахунок переходу її з шлаку, оскільки чавун був досить насичений магнієм (0,0145%), який продовжував працювати.

Наступний експеримент був проведений з використанням фурми з укороченим дзвоном. Вміст сірки в налитому з міксера чавуні до обробки був 0,007%, після обробки - 0,003%, при витраті гранульованого магнію 0,130 кг/т чавуну. При випробуванні цієї фурми був використаний технологічний прийом, що сприяє заспокоєнню процесу при підйомі фурми: витяг фурми з розплаву при повністю закритій подачі газу-носія. Огляд підзвонного простору підтвердив раціональність зазначеного прийому: рідкого магнію під дзвоном не було виявлено. Заростання підзвонного простору, що є коротше на 150 мм виявилось незначним, що дозволило істотно знизити трудомісткість його обслуговування після продувки.

При обробці чавуну з використанням прямоочних фурм, чавун наливали з міксера № 2, у зв'язку з цим заливальні ковші треба було переставляти з однієї

лінії на іншу. Крім цього, у зв'язку з тим, що цех не працював, заливальні ковші під налив подавалися холодними і забрудненими. Було вироблено дві експериментальні обробки чавуну, параметри яких наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Параметри обробки чавуну гранульованим магнієм, вдути через фурму з прямоточним каналом діаметром 12 мм

№ експ.	Маса чавуну, т	Тривалість введення магнію, хв	Кількість введеного реагенту		Температура чавуну, °С	
			кг/ківш	кг/т чавуну	до обробки	Після обробки
7	232	3,0	17	0,0733	1294	1276
8	270	4,5	25	0,0926	1290	1274

Оскільки ковші були холодними і забрудненими, долив чавуну виробляли тільки після скачування шлаку та відбору проб чавуну.

Стан заливальних ковшів не дозволяв щільно встановити кришку, тому при продувці вона трохи «ходила». Але, незважаючи на це викидів не спостерігалось, продування йшла спокійно. Витрата газу знаходився в межах 75 - 100 $\text{нм}^3/\text{год}$, тиск в бункері було в межах 4,5 - 5,5 атм.

Ці обробки вироблялися в зимовий час, що не дозволило забезпечити необхідну просушку фурми, тому в процесі продувок футеровка фурми починала іскрити за рахунок вигорання газів і вдування реагенту припиняли щоб уникнути виходу з ладу фурми. Огляд стану остигнула після двох обробок фурми показав, що графітова вставка у сопла фурми практично вигоріла. Надалі, цю фурму використовували вже без графітової вставки.

У таблиці 3.8 наведені показники, отримані при обробці чавуну в заливальних ковшах з використанням фурми з прямоточним каналом.

Як видно з таблиці 3.8, процес десульфурзації йшов досить ефективно, і при витраті магнію менше 0,1 кг/т було видалено 0,006 - 0,007% сірки. Більш глибоке знесірчення було обмежено небезпекою виходу з ладу дослідної фурми.

Проведені експерименти показали, що при обробці чавуну в ковшах великої ємності, коли глибина введення реагенту 3,5 м і більше, використання фурми без випарної камери є перспективним. Отримані результати знаходяться на рівні

кращих показників, отриманих при вдування магнію через фурму з дзвоном на виході.

Таблиця 3.8 - Показники процесу обробки чавуну шляхом вдування магнію через фурму з прямоточним каналом

№ експ.	Витрати реагенту, кг/т чавуну	Масова частка сірки, %		Масова частка магнію, %		Ступінь десульфурації, %	Витрати магнію на сірку, кг/кг	Ступінь використання магнію, %	
		до обробки	Після обробки	до обробки	Після обробки			на сірку	на сірку+магній
7	0,0733	0,017	0,011 0,013*	0,0021	0,0055 0,0042*	35,3	1,22	62,2	~ 100
8	0,0926	0,015	0,008 0,008*	0,0024	0,0046 0,0045*	46,7	1,32	57,4	~ 100

* - Після скачування шлаку

Наступною була виконана обробка чавуну шляхом вдування магнію через фурму з прямоточним каналом (діаметр 12 мм) без графітової вставки. Експеримент проводили з метою отримання чавуну з вмістом сірки не вище 0,001% для виплавки дослідної сталі з вмістом сірки не вище 0,002%.

Обробку чавуну виробляли в два етапи. Спочатку виробляли глибоке знесірчення в чавуновозних ковшах у відділенні десульфурації чавуну. Знесірчення проводили в 7 ковшах. Потім з ковшів ретельно скачували шлак у відділенні скачування шлаку і подавали в міксерне відділення, де чавун переливали в заливальні ковші, мінаючи міксер. Всього в заливний ківш було перелито 260 т чавуну, вміст сірки в якому за даними комбінату «Азовсталь» коливалося в межах 0,002 - 0,003%.

Після виміру температури налитого з чавуновозних ковшів чавуну заливний ківш подали на установку, де вдувати в чавун 30 кг гранульованого магнію, потім долили з чавуновозного ковша до 305 т і заміряли температуру. За час виконання зазначених операцій температура чавуну знизилася з 1254 до 1238 °С, тобто на 16 °С.

З урахуванням занурення фурми на 1 хв до вдування магнею і 1 хв після закінчення вдування реагенту, вона перебувала в металі 7 хв. Огляд остигнула фурми показав, що футеровка знаходиться в задовільному стані, але канал трохи вигорів.

Дана обробка відрізнялася виділенням значної кількості білого диму, що, мабуть, пов'язано з введенням надмірної кількості магнею. Зазвичай в обробленому в заливальних ковшах чавуні вміст магнею залишкового знаходилося, в основному, в межах 0,005 - 0,008% при витраті реагенту до 0,15 кг/т і кінцевому вмісті сірки до 0,005%. Як видно з таблиці 3.9, вміст магнею залишкового в отриманому глибокознесірченному чавуні дуже висока. Хімічний аналіз сірки і спектральний аналіз магнею виконані в Інституті чорної металургії.

Таблиця 3.9 - Показники процесу обробки чавуну шляхом вдування магнею через фурму з прямоточним каналом

Маса чавуну, т	Витрати реагенту, кг/т чавуну	Масова частка сірки, %			Масова частка магнею, %		
		до обробки	Після обробки	після доливу та скачування шлаку	до обробки	Після обробки	після доливу та скачування шлаку
260	0,115	0,0016	сліди	–	0,0426	0,0467	–
305*	0,098*	–	–	0,0015*	–	–	0,0363*

* - Після доливання

Аналізуючи наведені в розділі дані можна зробити висновок, що, виробляючи обробку чавуну в заливальному ковші, наливо з міксеру і містить 0,015 - 0,020% сірки, шляхом вдування магнею 0,150 - 0,305 кг/т чавуну, можна гарантовано забезпечувати виплавку низькосірчистих сталей чавуном з вмістом сірки 0,005 - 0,010%.

Для забезпечення виплавки особливонизькосірчистих сталей чавуном з вмістом 0,001 - 0,002% сірки десульфурацію чавуну в даний час доцільно проводити в два етапи: обробка чавуну в чавуновозних ковшах до 0,005 - 0,010% з подальшим переливом в заливальні ковші після ретельного видалення шлаку і додаткова обробка магнеєм на дослідній установці з витратою 0,15 - 0,20 кг/т.

Отримання міксерного чавуну з вмістом сірки 0,001 - 0,002% в одну стадію може бути вирішено тільки після створення промислової установки десульфурації чавуну на два постановочних місця, що дозволить ввести необхідну кількість реагенту, не порушуючи періодичності подачі чавуну на плавку.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища при проведенні наукових досліджень

Несприятливі умови створюються для обслуговуючого персоналу металургійних комбінатів. Основними виробничими шкідливостями є: теплове випромінювання, високі температури, газовиділення, викиди пилу від технічного обладнання (пічно-ковшового обладнання) та розплавлених металів [31].

Провідні джерела виробничої небезпеки: частини механізмів і устаткування, що рухаються, рухомі вантажі, розплавлені метали, електрообладнання на робочому місці.

З санітарно-гігієнічної точки зору умови праці на робочому місці під час проведення наукових досліджень характеризуються високою температурою, тиском та насиченням механічним та електричним обладнанням.

Джерелом пилу та газу є поверхня рідкого металу та шлаку. Високі температури в робочому просторі призводять до випаровування металів та шлаку з подальшою конденсацією та утворенням пилу на невеликих ділянках. Джерелом випромінювання є розплавлений метал під час виробництва сталі.

Пил може потрапляти в організм при вдиханні, ковтанні та через пори шкіри, викликаючи різні професійні захворювання, такі як пневмоконіоз, фіброз, хронічний бронхіт, шкірні захворювання.

Інфрачервоне випромінювання впливає функціональний стан людини, тобто на центральну нервову систему. Підкреслюється різке почастішання пульсу, підвищення систолічного та діастолічного артеріального тиску, підвищення температури тіла та посилення потовиділення. Тривала дія високих температур може порушити водно-сольовий баланс і призвести до теплового удару.

Деякі операції генерують шум механічного, аеродинамічного та теплового походження та вимагають забезпечення захисту персоналу.

Надмірний шум заважає правильній організації та веденню виробничого процесу та негативно позначається на продуктивності праці. Шум негативно

впливає на серцево-судинну та центральну нервову системи.

4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища сталеплавильного цеху

Аерація – ефективний засіб боротьби з надлишковим теплом у вашій майстерні. Вентиляція забезпечує критичний повітрообмін у будівлях із низькими експлуатаційними витратами [32].

Устаткування для всмоктування, всмоктування та фільтрації запиленого повітря перед випуском в атмосферу слід використовувати для боротьби з надлишковим теплом та пилом.

Для зниження шуму агрегату використовується звукоізолюючий кожух із сталевих листів товщиною 2-3 мм, в якому розміщується весь агрегат або його шумні компоненти, внутрішня поверхня якого покрита звуко-поглиначем. Ослаблення повітряного (газового) шуму - проводом досягається плавністю потоку повітря, плавними переходами у місцях зміни напрямку трубопроводу, застосуванням глушників.

Для захисту від теплового випромінювання та створення необхідних умов роботи використовуються: Ізоляція тепловиділяючих поверхонь. Прискорення операцій, пов'язаних із відкриттям та закриттям вікон, заливкою чавуну, вивантаженням шлаку, вивантаженням та заливкою сталі. Екранування робочого місця, природна (вентиляція) та механічна вентиляція.

Як засоби індивідуального захисту слід використовувати спецодяг з негорючих, стійких до променистої енергії, легких та повітропроникних матеріалів (тканина, брезент, хімічно оброблена тканина з металевим покриттям на тканині). Для захисту очей слід використовувати скляні світлофільтри у вигляді окулярів, щитків. Їх виготовляють із спеціального жовто-зеленого чи блакитного скла. Індивідуальним захистом від шуму є беруші [31].

4.3 Заходи з електробезпеки

Як заходи захисту від ураження електричним струмом при проведенні наукових досліджень застосовують [33]:

- електрична ізоляція струмопровідних частин - гума, полівінілхлорид, нерв, папір, просочений мастильною каніфоллю;
- зменшення напругу для ручних електроінструментів та переносних ліхтарів - 42В у приміщеннях з непідвищеною небезпекою, 12В у приміщеннях з підвищеною небезпекою, понизьте з нульовою вторинною обмоткою, особливо у вибухонебезпечних зонах та поза приміщеннями Використовуйте трансформатор.
- подвійна електрична ізоляція для ручних електроінструментів - струмопровідних частин усередині корпусу та самого корпусу.
- нульове налагодження електроустановок;
- захисне відключення – як додатковий захист від обнулення;
- недоступні місця для неізольованих струмопровідних частин.
- засоби індивідуального захисту - діелектричні рукавички, діелектричні чоботи, калоші, килимки, інструменти із ізольованими ручками для ізоляції стрижнів та кліщі, покажчики напруги.

4.4 Заходи з пожежної безпеки

Пожежонебезпечність на виробничих майданчиках характеризується наявністю горючих газів та горючого пилу від нещільностей виробничого обладнання.

У всіх випадках для запобігання вибухам, пов'язаним з продуктами рідкої плавки, слід уникати взаємодії розплавленого металу зі шлаком і вологою, містити ковші у сухому стані, а робочі місця, майданчики, обладнання та інструменти – у сухому стані [34].

Системи порошкового пожежогасіння застосовують у зоні прольоту печі, оскільки ці установки застосовуються для гасіння розплавлених металів, карбиду кальцію, екзотермічних сумішей та інших матеріалів, які неможливо згасити звичайними засобами пожежогасіння. Використовуються порошкові суміші марок ПС та ПСБ. Основним компонентом порошку марки ПС є кальцинована сода, а порошку ПСБ – гідрокарбонат натрію.

Для гасіння пожеж застосовують хімічні пінні вогнегасники ВХП-10 та вуглекислотні вогнегасники ББ-2, ББ-5, ББ-8, пересувні ББ-25 та ББ-80.

4.5 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на працівника лабораторії при обробці результатів наукових досліджень

Об'єктом дослідження є лабораторія у цокольному поверсі лабораторного корпусу ІННІ ЗНУ. Жодних вібруючих або галасливих промислових об'єктів поблизу, ніяких високих дерев, що загороджують небо і заважають природному світлу.

Загальна площа кімнати 48 квадратних метрів, висота 3 метри, у кімнаті два вікна. На об'єкті 3 співробітники. У кімнаті є комп'ютер, електричне обладнання для дослідів, чотири столи та шафа для зберігання документів.

Наступні фактори можуть несприятливо вплинути на персонал лабораторії.

1) Шкідливі: Підвищена чи знижена температура. підвищення або зниження вологості повітря недостатнє освітлення на робочому місці підвищений рівень шуму статична електрика

2) Небезпечні: ризик ураження електричним струмом.

3) Психофізіологічні: статика, фізичні навантаження та зниження рухової активності; нервово-емоційна напруга; психічна напруга.

Оскільки лабораторія є приміщенням легкої категорії (у якому виконується легка фізична робота), необхідно дотримуватися таких вимог:

- оптимальна температура – 20 °С (допустима – 20-24 °С);
- оптимальна відносна вологість – 40-60% (допустима – не більше 75%);
- швидкість руху повітря не перевищує 0,1 м/с.

Аналіз небезпек на робочому місці та факторів ризику для працівників лабораторій представлений у таблиці 4.1.

Тому при аналізі шкідливих і небезпечних факторів можна зробити висновок, що умови праці в лабораторних приміщеннях характеризуються наявністю нешкідливих виробничих факторів, що не призводять до втрати працездатності та підвищеної захворюваності на розвиток ранніх ознак професійної патології.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу працівника лабораторії

№	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці			Час дії фактора, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ : I клас небезпеки – озон	0,1	0,1				40
	II клас небезпеки						
	III-IV клас небезпеки – оксиди азоту	5	2				40
2	Пил, фіброгенної дії, мг/м ³	4	4				50
3	Шум, дБА	50-60	60				75
4	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °C	22-24	24				100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,2	0,2				100
	- відносна вологість повітря, %	40-60	50				100
5	Важкість і напруженість праці	категорія важкості праці – легка, категорія напруженості праці – мало напружена					

4.6 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища лабораторії

Температура повітря у приміщенні повинна опускатися нижче +19°C, а за повного завантаження устаткування температура повітря має перевищувати +25°C.

Гаряче водопостачання використовується для створення та автоматичної підтримки оптимальних значень температури в приміщенні та вологості повітря в холодну пору року, а кондиціонування повітря – у теплу пору року [33].

Усі роботи з небезпечними матеріалами проводяться у витяжній шафі. Роботи виробляються з максимальною подачею повітря до приміщення для розведення отруйних газів до безпечних концентрацій. Витяжна вентиляція приміщення включається за 30 хвилин до початку роботи та вимикається наприкінці робочого дня.

Працівники лабораторії приступають до роботи лише у спецодязі та засобах індивідуального захисту відповідно до вимог Директиви з техніки безпеки, промислової гігієни та пожежної безпеки.

Всередині лабораторії аптечка з ліками, необхідними для надання першої допомоги, розміщена на видному та доступному місці.

Кожна тара з хімічними речовинами маркується із зазначенням найменування продукту, його кваліфікації та інших даних ГОСТ 3885-73.

Для високоточної візуальної роботи загальна освітленість має бути 300 лк, а загальна освітленість має бути 750 лк. Аналогічні вимоги під час виконання робіт середньої точності — 200 і 300 лк відповідно [32].

Природне освітлення приміщення здійснюється через віконні отвори та настільки слабе, що штучне освітлення застосовують навіть на робочих місцях із звичайними системами рівномірного освітлення. Використовується лампа розжарювання потужністю 100 Вт, а кількість ламп у світильнику дорівнює двом. Мінімальна освітленість ламп розжарювання за стандартом $E_{\min}=100$ лк [32].

У приміщенні високий рівень шуму створюють вентилятори в лабораторному устаткуванні, друкарському обладнанні, регенераторах, кондиціонерах та системах охолодження.

Тривале вплив шуму високої інтенсивності призводить до патологій органу слуху і згубно впливає на нервову систему. Шум призводить до швидкої стомлюваності людини та призводить до виробничих помилок.

Для зниження шуму підкладіть під шумні настільні пристрої м'які килимки із синтетичного матеріалу, а під ніжки столу, на які вони кріпляться, підкладіть м'які гумові килимки завтовшки 6-8 мм. Розпірку можна зафіксувати, приклеївши її до опори.

Знизити рівень шуму, що надходить у приміщення ззовні, можна за рахунок підвищення звукоізоляції захисної конструкції та герметизації навколо віконних та дверних тамбурів. Еквівалентний рівень звуку не повинен перевищувати 60 дБа [31].

4.7 Заходи з електробезпеки в лабораторії

Згідно з ПБЕ, лабораторне приміщення може бути віднесене до класу 1 - відсутність підвищеного ризику ураження електричним струмом (сухість, відсутність пилу, нормальна температура, ізольовані підлоги та невелика кількість заземлених пристроїв) [33].

Основними причинами ураження лаборантів електричним струмом на виробництві є:

- торкання нетоковедучих металевих частин електроустаткування, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції.
- використання електроприладів, таких як плити, чайники та обігрівачі, заборонено.

Виконання роботи майстра пов'язане із застосуванням електроустаткування, напруга якого не перевищує 220 В змінного струму. Експериментальну частину роботи проводили за умов можливого впливу електричних струмів, і навіть інших чинників, визначених санітарно-гігієнічними показниками виробничого об'єкта.

Працюючи з електрообладнанням виникає аварійна ситуація при замиканні робочої фази на корпус.

У лабораторіях слід застосовувати електричні мережі із заземленою нейтраллю, оскільки вони створюють умови з підвищеною електробезпекою. Крім того, слід застосовувати захисне заземлення корпусів електроустаткування. Струменевою небезпекою є наявність ураження електричним струмом або ситуація ураження електричним струмом. Електротравма характеризується локальним ушкодженням цілісності тіла. Форми місцевих пошкоджень внаслідок дії електричного струму: - електричне маркування. металізація шкіри; електричні опіки; механічні травми Електричні опіки поділяються на три види: контактні, дугові та комбіновані. В умовах експлуатації електрообладнання напругою 220 В електричні опіки виникають лише внаслідок протікання струму.

Небезпека струму залежить від його величини, а й від тривалості відключення електричної мережі. Тому в аварійній ситуації слід негайно

вимкнути систему живлення.

Небезпека впливу електричного струму залежить від індивідуальних особливостей людини, таких як стан здоров'я, ознаки віку та величина електричного опору шкіри людини.

Через небезпеку електричних струмів було розроблено ефективні системи їх запобігання. Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є [33]:

- правильне розміщення та експлуатація електрообладнання;
- електрична ізоляція, всі струмопровідні частини електроустановок повинні бути добре ізольовані з урахуванням напруги ланцюга.
- Захисний пристрій, що запобігає доступу людини до живих елементів.
- заземлення елементів обладнання, вимкнення;
- Використання засобів індивідуального захисту;
- Наявність попереджувальних плакатів, написів.

У разі виникнення несправностей частина електроустаткування може бути під напругою. Так як людина включена в ланцюг заземлення паралельно, розподіляється струм за законом Кірхгофа. Струм через два паралельні провідники прямо пропорційний опору провідників. Так як опір людини на кілька порядків вищий, ніж у провідника, то й струм через людину буде на кілька порядків менше.

Несправності електричних мереж, обладнання та запобіжних пристроїв можуть призвести до пожеж та вибухів.

Основні запобіжні заходи у таких випадках: Міцне з'єднання проводів у місцях скручування та паяння у місцях з'єднання проводів. Використання систем захисного заземлення та захисного відключення. Захисне вимкнення виконується додатково або замість заземлення. Різання автоматичне.

Будь-яке займання проводів необхідно гасити вуглекислим газом або азбестовою ковдрою, відключивши живлення.

Для запобігання займанню електропроводки слід використовувати провідники з діаметрами, які не нагріваються. Також не перевантажуйте електромережу.

При ураженні людини електричним струмом слід зробити наступні перші кроки [34]:

- Вимкнути напругу;
- Не підпускайте людей до струмоведучих частин обладнання.
- Винести на свіже повітря та розстебнути комір.
- Викличте лікаря.

4.8 Заходи з пожежної та техногенної безпеки в лабораторії

Будівля, в якій розташована лабораторія, може бути віднесена до об'єктів категорії D з вибухопожежонебезпечності. Це з тим, що у лабораторіях є легкозаймисті предмети (книги, документи, меблі) і легкозаймисті предмети (різне лабораторне устаткування), які можуть горіти, не горячи. вибух під час взаємодії з вогнем [35].

За конструктивними характеристиками будівля, що має несучі та огорожувальні конструкції з природного або штучного каменю, бетону або залізобетону, з використанням дерев'яних конструкцій, захищених гіпсовими або негорючими листами та черепицею, може бути віднесена до будівлі. Матеріал можна використовувати для стелі. Отже, вогнестійкість будівлі можна визначити як третинну (III).

До причин пожеж у лабораторіях належать:

- несправність електропроводки, розеток та вимикачів. Це може призвести до короткого замикання та пробією ізоляції.
- Використання пошкоджених (несправних) електроприладів.
- Використання всередині приміщень електронних нагрівальних приладів з відкритими нагрівальними елементами;
- пожежа, спричинена ударом блискавки в будинку;
- будівельні пожежі через зовнішні дії;
- Необережне поводження з вогнем та недотримання заходів пожежної безпеки.

Для гасіння пожеж у лабораторії застосовують вуглекислотні вогнегасники ВВ-5 та ручні засоби пожежогасіння (гаки, ломи, сокири, відра, лопати, ножиці для різання металу). Інструменти розміщують у видному та доступному місці на підставці та щиті [35].

При заpalенні навіть невеликої кількості легкозаймистої рідини слідує:

- негайно вимкніть усі електронні нагрівальні прилади.
- згасити палик;
- Видаліть всі горючі матеріали із зони займання.

Якщо рідина загориться, накиньте на полум'я мокру вовняну або азбестову ковдру.

Якщо одяг спалахнув, полум'я необхідно згасити. При опіках необхідно обов'язково надати медичну допомогу. Перед наданням медичної допомоги потерпілому слід ретельно роздягнутися та накрити місце опіку стерильною пов'язкою. Не торкатися обпаленого місця руками, прикривати пухирі, знімати одяг зі шкіри, очищати пошкоджені поверхні, змащувати розчинами чи мазями. Це може зробити лише лікар за відповідних умов.

Лабораторія має автоматичну систему пожежної сигналізації (автоматичний датчик диму) та автоматичну систему пожежогасіння для швидкого виявлення та повідомлення про спалах.

Особливу увагу слід приділити евакуації людей з об'єкта. Евакуація здійснюється за заздалегідь спланованими маршрутами. Плани евакуації знаходяться там, де їх може побачити людське око.

ВИСНОВКИ

Комплексне дослідження, спрямоване на вивчення і вибір оптимальної технології підготовки чавуну до конвертерної плавки з метою одержання високоякісних марок сталі, дало змогу зробити такі висновки.

1. Аналіз тенденцій розвитку металургії останніми роками показує, що найбільш важливими поточними завданнями є економічне виробництво широкого спектра конкурентоспроможних високоякісних марок сталі, зниження енергетичних і матеріальних витрат на виробництво й споживання металу, поліпшення екології. Збереження якомога нижчого вмісту шкідливих домішок є необхідною умовою для одержання високоякісних марок сталі. Тому від конвертерного процесу дедалі більше вимагається отримувати чавун із вмістом сірки менше 0,005%.

Аналіз процесу десульфурації на всіх стадіях металургійного виробництва довів доцільність упровадження позапічної десульфурації чавуну, що спрощує і здешевлює технологію агломераційного і конвертерного виробництва.

В умовах ПАТ «Запоріжсталь», коли частка експорту сталеплавильної продукції перевищує 80% та поставлені завдання з розширення випуску комбінатом високоякісної конкурентоспроможної металопродукції, актуальність і необхідність вирішення проблеми поза доменної десульфурації чавуну на якісно новому рівні все зростає.

2. Найбільше поширення для десульфурації чавуну отримали реагенти на основі вапна, кальцинованої соди, карбїду кальцію та магнію. Застосування немагнієвих реагентів дозволяє знижувати вміст сірки в чавуні до 0,005 - 0,010% (при вдуванні карбїду кальцію - до 0,003%) при питомих витратах реагентів 4 - 10 кг/т чавуну. Це свідчить про те, що, наприклад, такий поширений і традиційний реагент, як порошкоподібне обпалене вапно, не втратив своєї актуальності і може застосовуватися (при відповідній підготовці і умовах вдування) як реагент для інжекційної десульфурації чавуну. Карбїд кальцію з різними добавками є одним з найпоширеніших і застосовуваних там реагентів. Разом з тим аналіз промислових даних показав, що немагнієвим процесам десульфурації притаманні деякі

недоліки. До основних з них відносяться: значні (більше 4 кг/т чавуну) питомі витрати реагентів, великі втрати металу зі шлаком (особливо при вдування вапна і карбиду кальцію), відчутне (більше 20 °С) зниження температури чавуну (особливо при вдування соди або вапна), задовільні показники десульфурації досягаються тільки при обробці великих (більше 150 т) мас чавуну в ковшах, нижня межа вмісту сірки в чавуні після десульфурації обмежений практично на рівні 0,005 - 0,010% (за винятком карбиду кальцію), незважаючи на порівняно невисокі ціни застосовуваних реагентів (особливо вапна), собівартість процесу знесірчення досить висока.

За перерахованих вище причин більш перспективними представляються процеси позапічної десульфурації чавуну магніємисткими реагентами, що дозволяють варіювати глибиною десульфурації і зменшити вміст сірки аж до 0,001%.

3. Спільним для різних варіантів методів десульфурації чавуну з використанням магнієвих реагентів є те, що магній, який має низьку температуру кипіння, при температурі чавуну перебуває переважно в пароподібному стані. Коли твердий магній подається в чавун, бульбашки парів магнію зважуються в рідкій ванні й утворюються в процесі взаємодії магнію з сіркою.

Процес десульфурації чавуну магнієм протікає за двома механізмами: гомогенна взаємодія магнію, розчиненого в чавуні, з сіркою, а також гомогенна взаємодія сірки та магнію, розчиненого в чавуні, та гетерогенна взаємодія випаровуваного магнію і сірки, розчиненої в чавуні, на поверхні плаваючих бульбашок. Незважаючи на результати різних досліджень, питання про переважний перебіг цієї реакції досі остаточно не вирішене. У процесі десульфурації кожна з цих реакцій зазнає певного розвитку, і на переважання того чи іншого механізму взаємодії магнію з сіркою, ймовірно, впливає концентрація сірки в металі. Чим вона вища, тим більш гетерогенна реакція розвивається на поверхні магнієвих бульбашок.

Наявність різних добавок, що взаємодіють з магнієм у магнієвому реагенті, погіршує продуктивність процесу і призводить до втрат магнію. Позитивний вплив на засвоєння магнію чавуном має додавання алюмінію до магнію (до 30%).

Алюміній стабілізує процес випаровування магнію, зв'язує активний кисень і створює передумови для підвищеного поглинання основного реагенту.

Як газ-носії для впорскування магнію використовуються повітря, азот, аргон і природний газ. Під час використання повітря або азоту частина магнію втрачається завдяки утворенню оксидів і нітридів, але оскільки ці гази дешевші за природний газ і аргон, рішення про їхнє використання має ґрунтуватися на економічних і технічних міркуваннях у кожному конкретному випадку.

Чим вища концентрація магнію в газі-носії, тим вища розчинність магнію в чавуні: з 4 кг/м³ до 20 кг/м³ розчинність магнію в чавуні може бути збільшена на 16-18% (відносне значення). Тому при закачуванні магнію з нейтральним газом рекомендується вміст магнію в газі-носії не менше 12 кг/м³.

Що нижча температура оброблюваного чавуну, то вищий ступінь поглинання магнію. Значний позитивний вплив на ступінь розчинності магнію спостерігався при збільшенні глибини занурення фурми.

4. Серед процесів десульфурації чавуну магнієм в даний час найбільшого поширення набув метод інжекції гранульованого (зернистого) магнію за допомогою занурювальної фурми з випарною камерою. Цей спосіб відрізняється мінімальною витратою реагенту, максимальним ступенем його використання, найбільшим ступенем десульфурації, мінімальними експлуатаційними витратами.

Отримав поширення також спосіб десульфурації шляхом введення магніємісткого дроту, який відрізняється своєю простотою і технологічністю. Найкращі результати при використанні даного способу були отримані на ММК ім. Ілліча. Середній ступінь десульфурації склав 61,6%, коефіцієнт використання магнію на десульфурацію - 35,2%, питома витрата магнію - 0,248 кг/т. При цьому використовувалася дрот діаметром 10 мм, що містить сплав складу: 17,0% Mg; 51,5% Si; 2,3% Ca; 0,86% Al; інше - Fe.

При проведенні порівняльних обробок чавуну гранульованим магнієм, інжекційного в розплав через занурювальну фурму, і порошкової магніємістким дротом, в конвертерному цеху МК «Азовсталь» були отримані дані підтверджують велику перевагу першого способу.

Обробку виробляли в сталерозливних ковшах, вихідне вміст сірки в чавуні було однаковим - 0,007%. При вдмухуванні гранульованого магнію процес йшов спокійно, без викидів металу, заплановану кількість магнію (39 кг) було вдути за 7,5 хв. При обробці чавуну способом введення магніємісткого дроту спостерігалось горіння магнію на поверхні розплаву в ковші і сильне димовиділення. Введення дроту тривав 8 хв, кількість витраченого магнію склало 59 кг. Цикл обробки в обох випадках склав 32 хв (від наливу чавуну і до закінчення скачування шлаку). При вдмухуванні гранульованого магнію його витрата склала 0,132 кг/т чавуну, ступінь десульфурації - 57%, тоді як при способі введення дроту при більшій витраті магнію (0,195 кг/т) ступінь десульфурації був в два рази нижче - 29%, витрата магнію на віддалену сірку - в три рази вище (9,8 кг/кг проти 3,3 кг/кг). Крім того, при вдування реагенту екологія в міксерному відділенні більш сприятлива через значно меншого димовиділення.

Аналіз опублікованих показників десульфурації та поглинання магнію в чавуні при введенні магнієвмісних дротів показує, що цифри сильно варіюються, і немає переконливих аргументів на користь того, що цей метод перевершує процес інжекції.

З огляду на вартість реагентів, використання наявної технології знесірчення чавуну магнієвмісним дротом виправдане тільки в умовах, коли регулярно обробляються відносно невеликі кількості чавуну. Використання технології впорскування економічно виправдане, хоча планована обробка великої кількості чавуну потребуватиме значних капіталовкладень у будівництво відділення сіркоочищення.

5. В умовах комбінату знесірчення чавуну в 350-т ковші конвертерного цеху показало можливість подачі чавуну із заданим вмістом сірки на кожну плавку; зниження температурних втрат за рахунок скорочення часу обробки чавуну, що заливається в конвертерний цех, і збільшення маси металу, що переробляється; зниження втрат у конвертерному цеху, пов'язане зі зменшенням інтенсивності магнію вдвічі і перестановкою плавильної печі; збільшення виробництва високоякісної сталі відповідального сортаменту та економія витрат, пов'язаних з підготовкою гарячого металу до конвертерної обробки.

6. Було розглянуто роботу фурми з "укороченою" випарною камерою 150 мм. Було встановлено, що зменшення висоти дзвонового простору з 850 мм до 700 мм не погіршило умови викиду парів магнію і не знизило ефективність використання реагентів. Зменшення висоти дзвону дало змогу значно скоротити надмірне подовження дзвонового простору, знизити виробничі витрати і зменшити складність обслуговування фурми між чавунними продувками.

7. Фурма для введення магнію (без випарної камери) - випробувана в прямоточному каналі діаметром 12 мм. Під час обробки чавуну в ковшах великої місткості висока ефективність використання магнієвого реагенту і прямоточна канална фурма виявилися перспективними за глибини вдування магнію понад 3,5 м. Відсутність розширення в нижній частині фурми призводить до зменшення розмірів, що знижує навантаження на привід і металоконструкції установки, а також вартість конструкції фурми і трудовитрати на обслуговування між продуваннями.

Експериментальну обробку чавуну проводили шляхом вдування гранульованого магнію з потоком аргону через звичайну фурму з випарною камерою, "вкорочену" фурму і фурму діаметром 12 мм з прямими проточними каналами. У всіх випадках витрата аргону становила 80-100 $\text{нм}^3/\text{год}$, а тиск у бункері перебував у діапазоні 5,4-5,8 атм. Продування чавуну пройшло гладко, без викидів металу.

Під час обробки чавуну в печі з випарною камерою вміст сірки знизився з 0,007-0,016% до 0,001-0,005%, а витрата магнію становила 0,13-0,30 кг на тону чавуну. Час дозування магнію становив 7-9 хвилин. Температура чавуну протягом усього циклу обробки (20-23 хвилини від установки ковша, приєднання фурми, відбору проб і впорскування) знизилася на 5-6°C. Ступінь десульфурації варіювалася в межах 65-81%, а засвоєння магнію - 56-90%.

При двох обробках чавуну з використанням прямоочної фурми заливальні ковші були холодними і брудними. Кількість магнію, що вдується, становила 17 і 25 кг на ківш (0,0733 і 0,0926 кг на тону чавуну). Вміст сірки знизився з 0,015-0,017% до 0,008-0,011%. Ступінь десульфурації становила 35 і 40%, а

співвідношення магнію (включно із залишковим магнієм) і сірки було близьким до 100%.

8. Дослідження показали, що нині найбільш передовою технологією десульфурації чавуну є введення гранульованого магнію в потік газу-носія через занурювальну фурму і десульфурація у великовантажному ковші.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Афонин С.З., Антипин В.Г., Синельников В.А. Современное состояние и перспективы развития сталеплавильного производства / Труды I-го конгресса сталеплавильщиков. Москва: Изд. АО «Черметинформация», 1993. С. 3 – 7.
2. Воронова Н.А. Десульфурация чугуна магнием. Москва: Metallurgia, 1980. 240с.
3. Борнацкий И.И., Мачикин В.И., Живченко В.С. Внепечное рафинирование чугуна и стали. Киев: Техника, 1979. 168с.
4. Югов П.И. Международный симпозиум по десульфурации чугуна и стали / Сталь. 1999. № 4. С. 28 – 32.
5. Борнацкий И.И. Десульфурация металла. Москва: Metallurgia, 1970. 320с.
6. Шевченко А.Ф., Двоскин Б.В., Быков Л.В. Выбор рациональной технологии внепечной десульфурации чугуна в условиях современного металлургического производства / Металлургическая и горнорудная промышленность. 1999. № 5. С. 23 – 27.
7. Подберезный Н.П., Учитель Л.М., Несвет В.В. Ресурсосберегающая технология внепечной десульфурации чугуна порошковой известью в большегрузных заливочных ковшах / Metallurg. 1994. № 11. С. 26 – 28.
8. Шевченко А.Ф., Двоскин Б.В., Гулыга Д.В. Внедоменная десульфурация чугуна различными реагентами / Сталь. 1986. № 2. С. 17 – 19.
9. Куликов И.С. Десульфурация чугуна. Москва: Metallurgizdat, 1962. 306с.
10. Кудрин В.А. Внепечная обработка чугуна и стали. Москва: Metallurgia, 1992. 335с.
11. Зборщик А.М., Кисиленко В.В., Маринцев С.Н. Порошковая проволока для глубокой десульфурации чугуна магниевыми реагентами / Черная металлургия. Бюллетень научно-технической информации. 2000. №3–4 (1203–1204). С. 36 – 38.
12. Каблуковский А.Ф., Ябуров С.И., Никулин С.И. Внепечная

десульфурация чугуна порошковой проволокой / *Металлург*. 1995. №4. С. 23 – 25.

13. Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В., Онищук В.П. Внепечная десульфурация чугуна порошковой магнийсодержащей проволокой / *Сталь*. 1998. №5. С. 16 – 18.

14. Никулин А.Ю. Никифоров Б.А., Сарычев В.Ф. Внепечная обработка чугуна магнийсодержащими реагентами / *Сталь*. 1993. №9. С. 18 – 21.

15. Зборщик А.М., Кисиленко В.В., Маринцев С.Н. Исследование механизма реакций десульфурации чугуна кремний-магниевого лигатурой / *Сталь*. 1998. №9. С. 13 – 16.

16. Кисиленко В.В., Дюдкин Д.А., Онищук В.П. Особенности внепечной десульфурации чугуна кремний-магниевого лигатурой / *Металл и литье Украины*. 2000. №1–2. С. 13 – 15.

17. Дюдкин Д.А., Зборщик А.М., Онищук В.П. Преимущества десульфурации чугуна лигатурами системы Fe-Si-Mg / *Сталь*. 1999. №4. С. 26 – 28.

18. Зборщик А.М. Экономическая эффективность различных способов внедоменной десульфурации чугуна / *Металл и литье Украины*. 2001. №3–4. С. 11 – 13.

19. Определение характеристик пылегазового потока на входе в газоочистку при проведении десульфурации на ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» с использованием порошковых проволок, содержащих FeSiMg или смесь магния и ставролита // *Отчет Института Экологических Технологий Донбасса*, 1998. 12с.

20. Вергун А.С. Механизм процесса десульфурации чугуна магнием / *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2000. №3. С. 19 – 22.

21. Зборщик А.М., Складановский Е.Н. Особенности кинетики растворения магния в чугуне и их влияние на механизм десульфурации металла / *Известия вузов. Черная металлургия*. 2001. №9. С. 16 – 17.

22. Зборщик А.М. Анализ термодинамики и кинетики десульфурации чугуна магнием / *Сталь*. 2001. №7. С. 17 – 20.

23. Мачикин В.И., Иванов А.И., Складановский Е.Н. Некоторые особенности массообменных процессов при внедоменной десульфурации чугуна

магнием / Известия вузов. Черная металлургия. 1976. №4. С. 29 – 31.

24. Шевченко А.Ф., Вергун А.С., Рудницкий М.Л. Повышение степени использования магния при внедоменной десульфурации чугуна / Сталь. 1989. №11. С. 44 – 49.

25. Поживанов М.А., Шевченко А.Ф., Двоскин Б.В. Анализ эффективности внепечной обработки чугуна гранулированным магнием / Металлургическая и горнорудная промышленность. 1993. №4. С. 13 – 19.

26. Зборщик А.М. Влияние транспортирующего газа на эффективность десульфурации чугуна магнием / Сталь. 2003. №7. С. 22 – 25.

27. Двоскин Б.В., Шевченко А.Ф., Вергун А.С. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработать ТЛЗ, выполнить технологические проработки по созданию в ККЦ МК «Азовсталь» установки десульфурации чугуна в 350-т заливочных ковшах проектной производительностью 1,0 млн. т/год. Отработать конструкцию прямоточной фурмы для глубокой десульфурации чугуна (0,001 – 0,003 % серы)» / Институт черной металлургии, Днепропетровск, 2000.

28. Двоскин Б.В. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка технологических решений и проведение исследований по обеспечению рафинированным низкосернистым чугуном выплавки суперчистых по сере сталей в ККЦ комбината «Азовсталь» / Институт черной металлургии, Днепропетровск, 1999.

29. Установка десульфурации чугуна гранулированным магнием в 350-т ковшах конвертерного цеха меткомбината «Азовсталь». Технологическое задание 5.2-15-11-99. Днепропетровск. 1999.

30. Кривошеев В.А., Гулыга Д.В., Ткач Н.Т. Исследование химического и компонентного состава шлака в чугуновозных ковшах / Депонированные рукописи. 1989. №5. 129с.

31. Лапін В.М. Основи охорони праці. Львів: ЛБІ НБУ, 2002. 142 с.

32. Трахтенберг А.М., Коршун М.М., Чебанова О.В. Гигиена труда и производственная санитария. Киев: Охрана труда, 1997. 462 с.

33. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Львів: Афіша, 2002. 320 с.

34. Кузнецов Б.В. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок. Минск: Беларусь, 1987. 479 с.
35. Рожков А.П. Пожарная безопасность на производстве. Киев: Охрана труда, 1997. 448 с.

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізька міська рада
Запорізька обласна державна адміністрація
Національний університет «Львівська політехніка»
Національний університет «Києво-Могилянська Академія»
Національний університет кораблебудування імені Адмірала Макарова
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Київський національний університет будівництва і архітектури
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
Національний транспортний університет

МАТЕРІАЛИ

**II ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗА
УЧАСТЮ МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ
«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА
СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»**

18-20 жовтня 2022 року

Запоріжжя

2022

2. Нохрина О.И., Комшуков В.П., Дмитриенко В.И. Рациональное использование марганцевого сырья / *Металлург.* 2004. №6. С.52-53.
3. Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Маркушев А.В. Использование отходов фракционирования ферросилиция для раскисления и легирования стали. / *Современные проблемы электрометаллургии стали. Тез. Докл. X Междунар. Конф.* Челябинск : Изд. Южно-Уральского гос. ун-та, 1998. С.89-90.
4. Бобкова О.С. Пути снижения энергоемкости производства легированной стали и ферросплавов / *Черная металлургия России и стран СНГ в XXI веке.* Москва : Металлургия, 1994. С.183-186.

УДК 669.1

Подвойський Ю.О., магістрант 2 курсу, Піщенко К.А., студент 2 курсу
Науковий керівник – к.т.н., доц. Кириченко О.Г.

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ЧАВУНУ В ЗАЛИВАЛЬНИХ КОВШАХ КОНВЕРТЕРНОГО ЦЕХУ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Актуальність. При виробництві високоякісних сталей важливу роль відіграє виробництво у сталеплавильному переділі чавуну з мінімальним вмістом сірки і фосфору.

Раніше основною вимогою було забезпечення вмісту сірки в чавуні до 0,01-0,02%. У сучасних умовах вимоги посилилися в сторону максимальної економічності і істотного поліпшення якості виплавленої сталі. Так, в конвертерній сталі воно не повинно перевищувати 0,008-0,010%. Крім того, збільшуються обсяги виплавки малосірчистої сталі (не більше 0,005% сірки), для чого необхідно застосовувати чавун, що містить не більше 0,001-0,003% сірки.

Мета. Проаналізувати основні технології десульфурації чавуну в умовах конвертерного цеху.

Основний текст. В даній роботі розглянуто передові способи десульфурації чавуну в умовах сталеплавильного виробництва. Вона відповідає потребі у розвитку металургійної промисловості, тобто вдосконаленню виробництва, впровадження сучасних технологій, підвищенні якості продукції і т.д.

Реакція знесірчення енергетично легше забезпечується в чавуні, ніж у сталі, внаслідок більш високої активності сірки при високому вмісті вуглецю і низької окисленості. Коефіцієнт розподілу сірки для чавуну в 10-15 разів вище ніж для сталі, тому його десульфурація відбувається більш легко і повно.

Проте в процесі самої доменної плавки десульфурація чавуну утруднена, оскільки цілий комплекс складних окисно-відновних реакцій глибокої десульфурації обумовлює неминучість підвищення вмісту кремнію і пов'язаних з цим підвищених витрат вапна, коксу, а отже, і зниження продуктивності

роботи доменних печей, що викликає погіршення техніко-економічних показників доменного процесу, у тому числі і собівартості чавуну.

Застосовувана в даний час технологія десульфурації чавуну гранульованим магнієм передбачає обробку всього чавуну, що надходить в киснево-конвертерний цех (ККЦ). При цьому обробці піддається чавун з широким інтервалом вихідного вмісту сірки та забезпеченням необхідного її низького вмісту при зливі чавуну в міксер ККЦ. Це погіршує ритмічність роботи відділення десульфурації чавуну (ВДЧ), а високий вихідний вміст у ньому сірки викликає пікові навантаження на основне обладнання відділення, значно скорочуючи термін його експлуатаційної служби.

Аналіз роботи комплексу десульфурації чавуну показує, що вже виникає необхідність і в реконструкції ВДЧ з одного боку, і в зміні схеми забезпечення конвертерного цеху низькосірчистим і глибокознесірченим чавуном - з іншого [1]. Здійснювана в даний час глибока десульфурація чавуну (до 0,005% сірки) в доменних ковшах з подальшим переведенням міксера на глибокознесірчаний чавун, супроводжується великою і непродуктивною перевитратою магнієвого реагенту і суттєвими організаційними труднощами в поплачковому забезпеченні конвертерів чавуном з вмістом сірки, що строго регламентуються.

Тому однією з цілей здійснення десульфурації чавуну в ККЦ є поплавочне забезпечення конвертерів глибокознесірченим (аж до 0,001 - 0,005% сірки) чавуном для виплавки особливо чистих по сірці високоякісних сталей при мінімальних експлуатаційних витратах, наприклад, за рахунок зниження втрат температури чавуну і скорочення витрати магнію. Попередньо проведені обробки чавуну в 350-тонних заливальних ковшах підтвердили ці припущення – забезпечення кожної конкретної плавки чавуном з необхідним вмістом сірки, обробленим безпосередньо перед його зливом в конвертер – найбільш економічний шлях.

Висновки. Таким чином, завдання, які вирішуються власною установкою десульфурації чавуну (УДЧ) в конвертерному цеху, можна сформулювати наступним чином:

- подача на кожну плавку чавуну з необхідним вмістом сірки;
- зниження втрати температури чавуну (на 20 – 25°C) за рахунок скорочення часу циклу його обробки в ВДЧ доменного цеху при глибокій десульфурації, збільшення в 3 - 4 рази маси оброблюваного чавуну в ковші, скорочення витрати магнію в два рази (з 0,8 до 0,4 кг/т чавуну) і, відповідно, часу його введення в чавун в порівнянні з показниками обробки в 140-тонних ковшах в ВДЧ;
- збільшення випуску сортаменту (і його розширення) високоякісних чистих по сірці сталей, що дозволить збільшити прибуток від товарної металопродукції;
- скорочення втрат ККЦ, пов'язаних з перепризначенням плавки і неефективним витрачанням феросплавів.

Побічним, але дуже важливим ефектом стане зменшення навантаження на ВДЧ за рахунок усунення додувок чавуну на глибоке знесірчення, що, в свою чергу, поліпшить ритмічність подачі чавуну в ККЦ.

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут
Дніпропетровський науково-дослідний інститут судових експертиз
Запорізька міська рада
Запорізька обласна державна адміністрація
Інститут вугільних енерготехнологій НАН України
Національний університет «Львівська політехніка»
Національний університет «Києво-Могилянська Академія»
Національний університет кораблебудування імені Адмірала Макарова
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

МАТЕРІАЛИ

**І ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ, АСПІРАНТІВ ТА МОЛОДИХ
ВЧЕНИХ «АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-
ТЕХНІЧНОГО ТА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ
РЕГІОНІВ УКРАЇНИ»**

19-21 жовтня 2021 року

м. Запоріжжя

2021

Слід пам'ятати, що висока якість поверхні прокату найбільш ефективно забезпечується заходами попереджувального характеру, а не застосуванням різних способів виправлення дефектів [9].

Список використаних джерел

1. Дефекты стальных слитков. URL: <https://uas.su/books/metstali/195/razdel195.php> (дата звернення: 11.10.2021).
2. Дефекты стальных слитков и проката: справочник/ В. В. Правосудович и др. Москва: Интермет Инжиниринг, 2006. 384 с.
3. Формирование крупного стального слитка. Усадочные явления в процессе затвердевания и охлаждения слитка. URL: <https://uas.su/books/2011/kslitok/34/razdel34.php> (дата звернення: 11.10.2021).
4. Усадочная раковина и усадочная рыхлость. URL: <https://metallurgist.pro/usadochnaya-rakovina-i-usadochnaya-ryhlost/> (дата звернення: 11.10.2021).
5. Усадочные раковины и усадочная пористость в слитках. URL: <http://metal-archive.ru/lite-slitkov/4172-usadochnye-rakoviny-i-usadochnaya-poristost-v-slitkah.html> (дата звернення: 11.10.2021).
6. Полости от усадочной раковины. URL: <https://markmet.ru/defekty-stalei/polosti-ot-usadochnoi-rakoviny> (дата звернення: 11.10.2021).
7. Дефекты заготовки и их устранение. Виды дефектов слитков и литой заготовки. URL: https://ozlib.com/854775/tehnika/defekty_zagotovki_ustranenie#618 (дата звернення: 11.10.2021).
8. Основные дефекты крупных стальных слитков. URL: <https://uas.su/books/2011/kslitok/61/razdel61.php> (дата звернення: 11.10.2021).
9. Левченко Г. В., Самохвал В. М. Технологія якості і сертифікація : навч. посіб. для студентів спеціальності 7.090404 – Обробка металів тиском / Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2009. 117 с.

УДК 669.14.018.8

Подвойський Ю.О, магістрант 1 курсу, Костюк С.С., студент 2 курсу
Науковий керівник – к.т.н., зав. кафедри Кириченко О.Г.

НОВІ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА КОРОЗІЙНОСТІЙКОЇ СТАЛІ

*Інженерний навчально-науковий інститут Запорізького національного
університету, кафедра металургії*

Актуальність. Виробництво корозійностійких сталей завжди знаходиться на перших місцях серед усіх інших спеціальних сталей завдяки унікальному набору властивостей та широкому спектру використання.

Мета. Проаналізувати нові сучасні технології виробництва корозійностійких сталей.

Основний текст. Багатоцільові фурми для рафінування плавок в дугових печах характеризуються відмінною глибиною проникнення чистого кисню або кисню разом з інертним газом в метал з незначним розбризкуванням рідини. Глибина проникнення виходить значно більшою, ніж у звичайних струменів з сопел Лавалля, завдяки додатковій функції пальника, яка одночасно використовується для розплавлення, допалювання відхідних газів і рафінування, а також конструкції самої фурми. Багатоцільова фурма працює краще, а продуктивність підвищується завдяки посиленню перемішування рідкої ванни.

Якщо конвертер обладнаний сталевипускним отвором, то початок виходу шлаку в кінці випуску металу можна визначати точно. Це забезпечується інфрачервоною камерою і спеціальним програмним забезпеченням - системою інфрачервоної ідентифікації шлаку. Сигнал, що посиляється і пневматичний стопор контролю випуску шлаку зупиняють процес випуску протягом однієї секунди, вимірювання в режимі реального часу температури металу і визначення його хімічного складу. Температура розплаву і його хімічний склад можуть бути точно виміряні вже під час продувки із застосуванням систем контролю VAICON Temp і VAICON Chem. Під час процедури вимірювання одна з заглибних донних продувних фурм працює з подачею інертного газу замість кисню в суміші з інертним газом. Електромагнітні хвилі від розплаву проходять через цю фурму і використовуються для визначення температури. Такий спосіб вимірювання температури в режимі реального часу вже впроваджений і в подальшому буде запроваджено ще на кількох працюючих конвертерах.

Хімічний склад розплаву визначається випаровуванням його невеликої кількості перед заглибленою фурмою за допомогою лазерного променя протягом короткого часу. Питома інтенсивність і довжина хвиль окремих елементів, вміст яких потрібно аналізувати, застосовуються для визначення вмісту конкретного елемента. У цеху з виробництва корозійностійкої сталі на заводі фірми «Böhler» (Капфенберг, Австрія) комплексна система (для вимірювання температури та проведення хімічного аналізу в режимі реального часу) після завершення з позитивним результатом випробувань на плавках в установці вакуумування використовується на 50-тонному конвертері.

Значні вкладення в допоміжну вимірювальну фурму, відбір проб і обслуговування в майбутньому виявляться непотрібними, а інформацію про плавку можна буде отримувати навіть при неможливості провести вимірювання допоміжною фурмою (наприклад, шлак занадто в'язкий тощо).

Для використання цінних, але дешевих матеріалів, що містять хром і (або) нікель, таких, як вловлений пил, що містить хром і нікель або ж шлак, що повертається в конвертер, необхідні наступні заходи:

- застосування вуглецю як відновного агента;
- відмінне перемішування розплаву, що містить вуглець, і шлаку;
- підведення додаткової енергії (алотермічний процес).

Вуглець за технологією плавки в конвертері KMS-S можна додавати у формі кускового вугілля з верхнього бункера або у вигляді вугільного пилу, що вдувається в розплав через заглибні фурми KMS-S. Відмінне перемішування ванни досягається заглибленою донною продувкою з інтенсивністю близько $0,7 \text{ м}^3$ (при н. у.) кисню в хвилину на 1 т садки. Підведення додаткової енергії до плавки зазвичай забезпечується за технологією допалювання. Сопла при продувці зверху спроектовані так, що вони підсмоктують технологічний газ (CO і H_2) і частково допалюють його до CO_2 і H_2O . Близько 90 % енергії, що утворюється при цьому, передається до розплаву і шлаку. У процесі продувки киснем зверху досягається ступінь допалювання порядку 20 %. Відхідний газ виходить цінним і може бути використаний після очищення. Гаряче повітряне дуття має максимальну швидкість 600 м/с, тоді як швидкість струменів кисню при продувці зверху складає всього 300 м/с. У поєднанні з великою об'ємною витратою при продувці зверху гарячим повітряним дуттям імпульс кількості руху при цьому виходить в 10 разів більший, ніж у струменів звичайного кисню при продувці зверху. Гаряче повітряне дуття підсмоктує набагато більше відхідного газу, допалює його і ефективно передає утворену енергію розплаву. Відхідний конвертерний газ надходить в димову трубу в стані повного допалювання і при високій температурі.

Висновки. Підсумковим результатом є можливість більш ефективної плавки та більш ефективного відновлення, ніж раніше, наприклад, дешевої хромової руди і (або) деяких інших охолоджувачів, таких, як конвертерний пил з газоочистки і шлак, що містить оксид хрому. Цей висновок, однак, ще слід підтвердити випробуваннями в промисловому масштабі. Однак продувку гарячим повітряним дуттям зверху і вдуванням матеріалу, що містить нікель, ще необхідно випробувати в промисловому масштабі. Очікувана висока і, отже, поліпшена економічність такого процесу із застосуванням агрегатів, вже випробуваних в промисловій експлуатації, в даний час оцінюється в ході дослідно-промислових випробувань.

УДК 621.762.2

Подвойський Ю.О., магістрант 1 курсу
Науковий керівник – ст. викл. Лічконенко Н.В.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗУ-ЕНЕРГОНОСІЯ НА РОЗМІР ЧАСТИНОК ПРИ ГАЗОВОМУ РОЗПИЛЮВАННІ

*Інженерний науково-навчальний інститут
Запорізького національного університету, кафедра металургії*

У промисловості застосовуються різноманітні методи отримання порошків, однак розпилювання рідких металів є одним з найбільш високотехнологічних і продуктивних методів [1].