

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

КУРГАК ДМИТРА ВОЛОДИМИРОВИЧА

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему **Поліпшення якості та розливу металу шляхом удосконалення технології його розкислення при позапечній обробці**
(повна назва теми)

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

науковий керівник **к.т.н., доцент**
(наук. ступінь, вчене звання)



(підпис)

Сусло Н.В
(прізвище, ініціали)

**Робота допущена до захисту в ЕК
Протокол засідання кафедри
від 12.06. 2025 р. № 12**

Завідувач кафедри



(підпис)

д.т.н., професор
Наук. ступінь, вчене звання

Д.О. Кассім
Ініціали, прізвище

Кривий Ріг – 2025

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри


(підпис)

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

«10» червня 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА СТУДЕНТА(КИ)

Кургак Дмитра Володимировича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра:

Поліпшення якості та розливу металу шляхом удосконалення технології його розкислення при позапечній обробці

керівник кваліфікаційної роботи Сусло Наталія Валеріївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 10.06.2024

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

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

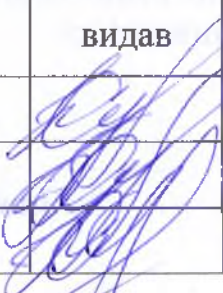
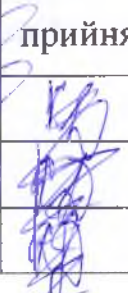
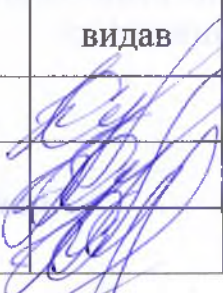
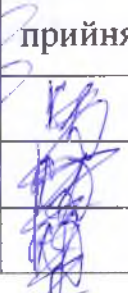
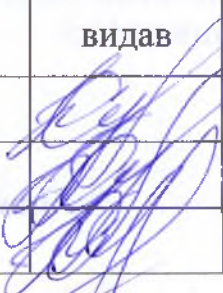
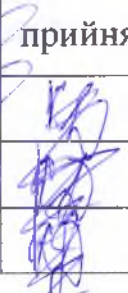
4.1. Аналітична частина: Аналіз функцій та властивостей шлакоутворювальних сумішей для кристалізатора. Проаналізувати рекомендації з підбору та розроблення ШУС. Дослідження ефективності використання різних шлакоутворювальних сумішей під час розливання металу на МБЛЗ.

4.2. Основна частина: Дослідження використання шлакоутворюючих сумішей в кристалізаторах машин безперервного лиття заготовок з метою підвищення їх якості

4.3. Охорона праці: розглянути основні небезпечні та шкідливі чинники виробництва та методи боротьби з ними. Заходи по пожежній безпеці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): графічний матеріал повинен в повній мірі відповідати темі диплому та відобразити його суть та запропоновані проектні рішення

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Сушло Н.В., доцент		
2 Основна частина	Сушло Н.В., доцент		
3 Охорона праці	Сушло Н.В., доцент		

7. Дата видачі завдання «05» квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	25.04.2025	
2.	Основна частина	27.05.2025	
3.	Охорона праці	02.06.2025	
4.	Оформлення пояснювальної записки	06.06.2025	
5.	Виконання графічної частини	09.06.2025	
6.	Подання роботи до кафедри	10.06.2025	
7.	Захист роботи в ЕК	18.06.2025	

Студент


(підпис)

Кургак Д.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи


(підпис)

Сушло Н.В.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Вимоги до рідкої сталі для безперервного розливання	9
1.2 Аналіз ефективності позапічної обробки	11
1.3 Вплив термодинамічних факторів на розкислення сталі та утворення неметалевих включень	16
1.4 Управління процесами утворення неметалевих включень під час виробництва конвертерної сталі	20
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	32
2.1 Механізм очищення сталі від неметалевих включень у розкислених алюмінієм сталях	32
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	49
ВИСНОВОК	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55

ВСТУП

Поява і розвиток позапічної обробки розплавів обумовлені підвищенням вимог до якості металів і сплавів, необхідністю розробки технології і виробництва сплавів принципово нової якості та обмеженням можливості їх отримання традиційними методами в плавильних агрегатах.

Поширення позапічної обробки пояснюється багатьма позитивними моментами, наприклад:

- спрощення технології плавки, оскільки з'являється можливість продувки металу киснем до низького вмісту вуглецю з подальшим коригуванням складу за вуглецем та іншими домішками;

- створення умов для ведення конвертерної плавки з дуже малою кількістю шлаку, з малим витратою додаткових матеріалів, меншими втратами заліза в шлак і т.д.;

- заміна двошлакової технології електроплавки на одношлакову без зливу шлаку (зменшується тривалість плавки, витрата електроенергії, трудові витрати);

- забезпечення надійної і високопродуктивної роботи машин безперервного розливу, де потрібне точне і стандартне від плавки до плавки регулювання температури і отримання металу стандартно чистого від шкідливих домішок, перш за все від сірки;

- отримання більш дешевими методами і у великих кількостях особливо чистої сталі з малим вмістом домішок;

- зміна структури і типу споживаних феросплавів і розкислювачів у бік зниження вимог до складу і відповідного здешевлення (використання більш дешевих марок ферохрому, феронікелю тощо);

- широке впровадження технології «прямого легування» з використанням природно-легованих руд, а також матеріалів із шлакових відвалів і різних відходів суміжних виробництв.

При позапічній обробці протікають наступні фізичні та фізико-хімічні процеси:

- вирівнювання температури і хімічного складу сталі в об'ємі ковша, яке досягається продуванням інертним газом або перемішуванням при деяких способах вакуумування;

- глибоке зневуглицювання ($<0,02\text{C}$), яке досягається вакуумуванням;

- вуглецеве розкислення і висока чистота сталі за оксидними включеннями – вакуумуванням;

- дегазація з отриманням вмісту водню в сталях і сплавах $<2 \cdot 10^{-4} \%$ - вакуумуванням;

- десульфуратія до $<0,003 \%$ S – продуванням порошками, обробкою шлаком;

- зміна форми (модифікація) оксидних і сульфідних включень – обробкою порошками лужноземельних металів (зазвичай кальцію), їх сплавів.

Перераховані металургійні процеси ефективно протікають при позапічній обробці за рахунок ряду особливостей у порівнянні з плавильними агрегатами. Основні з них:

- створення найбільш сприятливих термодинамічних умов для розвитку даного процесу;

- наведення шлаку, що забезпечує найбільш глибоку десульфуратію, а не шлаку, який в печі або конвертері повинен виконувати протилежні функції при окисленні і десульфуратії;

- збільшення швидкості взаємодії сталі з газовою фазою або шлаком внаслідок дроблення металу на порції (краплі) з розвиненою контактною поверхнею;

- підвищення інтенсивності масоперенесення в металі внаслідок його дроблення на порції (краплі) і, отже, збільшення градієнта концентрацій розчинених в ньому елементів (при даній концентрації).

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Вимоги до рідкої сталі для безперервного розливання

Розливання сталі на машинах безперервного розливання (МБЛЗ) висуває додаткові вимоги, як до організації виробництва, так і до самого металу. З точки зору організації виробництва киснево-конверторний процес найбільш відповідає роботі МБЛЗ, оскільки цикл плавки в конверторі близький до циклу розливу сталі.

У зв'язку з великою мобільністю киснево-конвертерного процесу є можливість повної синхронізації роботи конвертера і МБЛЗ, що особливо важливо при розливанні металу серіями методом «плавка на плавку».

Розливання металу методом «плавка на плавку» висуває підвищені вимоги до коливань температури і хімічного складу сталі від плавки до плавки. Крім того, важливим параметром, що дозволяє отримувати якісну безперервнолиту заготовку, є вміст сірки ($\leq 0,020\%$ S або $[Mn]/[S] \geq 25$) і фосфору. В даний час збільшується виробництво якісної та високоякісної сталі, що пов'язано з підвищенням вимог нових галузей техніки до якості сталі. Це призвело до того, що масові виробництва сталі та сплавів, що містять малу кількість газів, неметалевих включень та інших небажаних домішок, помітно збільшилися. При цьому були розроблені нові способи обробки металу. Багато операцій рафінування легше і дешевше здійснювати не в сталеплавильному агрегаті, а в сталерозливній ковші. В останні роки створені агрегати типу піч-ковш з підігрівом металу в ковші і одночасним рафінуванням. Проведення технологічних операцій поза плавильним агрегатом отримало назву позапічної обробки, ковшової металургії, ковшового рафінування тощо.

Удосконалення методів позапічної обробки створило реальні умови для виробництва в масових масштабах сталі з гарантованим низьким вмістом шкідливих домішок при використанні більш доступних і дешевих шихтових і додаткових матеріалів. Агрегати для виплавки сталі в цьому випадку

перетворюються в агрегати для отримання напівпродукту, який потім піддається позапічній обробці. У багатьох випадках отримання «надчистої» сталі традиційними методами взагалі неможливо. У науково-технічній літературі щорічно повідомляється про нові варіанти технології позапічної обробки.

Основне завдання позапічної обробки - здійснення ряду технологічних операцій швидше і ефективніше, ніж у звичайних сталеплавильних агрегатах. Це вирівнювання температури і складу металу в обсязі ковша; легування, мікролегування і доведення хімічного складу до заданого з вузькими межами коливання від плавки до плавки; видалення і модифікування неметалевих включень: десульфурція металу; дегазація металу (видалення гідрогену і азоту) та ін. Одночасно вирішити всі перераховані завдання важко, та часто і непотрібно, тому, як правило, одночасно вирішується тільки частина з них.

Швидке поширення позапічної обробки пояснюється в значній мірі наступним:

- спрощенням технології плавки, оскільки з'явилася можливість виплавки в агрегатах напівпродукту з подальшим доведенням металу в ковші;

- поширенням способу безперервного розливу сталі, оскільки для високопродуктивної роботи МБЛЗ необхідні точне і стандартне від плавки до плавки регулювання температури і хімічного складу металу, а також необхідний метал високої якості (в даний час вся сталь, що розливається на МБЛЗ, піддається позапічній обробці);

- зростанням обсягів виробництва сталі відповідального призначення, яку обсягів виробництва сталі відповідального призначення, яку важко або неможливо отримати за звичайною технологією плавки;

- можливістю отримувати в киснево-конвертерних цехах сталь «електропічного» сортаменту.

1.2 Аналіз ефективності позапічної обробки

Як основні технологічні впливи на метал у ході позапічної обробки можуть розглядатися:

- Вакуумування сталі.
- Продування металу інертним газом.
- Обробка металу синтетичними шлаками.
- Обробка металу твердими порошкоподібними матеріалами.

З погляду конструктивного рішення та технологічних особливостей можуть бути виділені такі способи вакуумування сталі:

- Вакуумування у ковші.
- Струмене вакуумування.
- Порційне вакуумування.
- Циркуляційне вакуумування.

Вакуумування в ковші (рис.1.1) є порівняно технічно простим та відносно дешевим способом. Суть полягає у встановленні сталерозливного ковша з металом у вакуумну камеру, в якій після закриття кришки за допомогою системи вакуумних насосів проводиться зниження зовнішнього тиску.

Струмене вакуумування може бути реалізовано як при переливі з ковша в інший ківш, встановлений у вакуумній камері, так і при розливанні у вакуумі великих злитків (більше 50 т), коли у вакуумній камері встановлена виливниця. На особливу увагу заслуговує варіант потокового вакуумування при розливанні сталі на машині безперервного лиття заготовок.

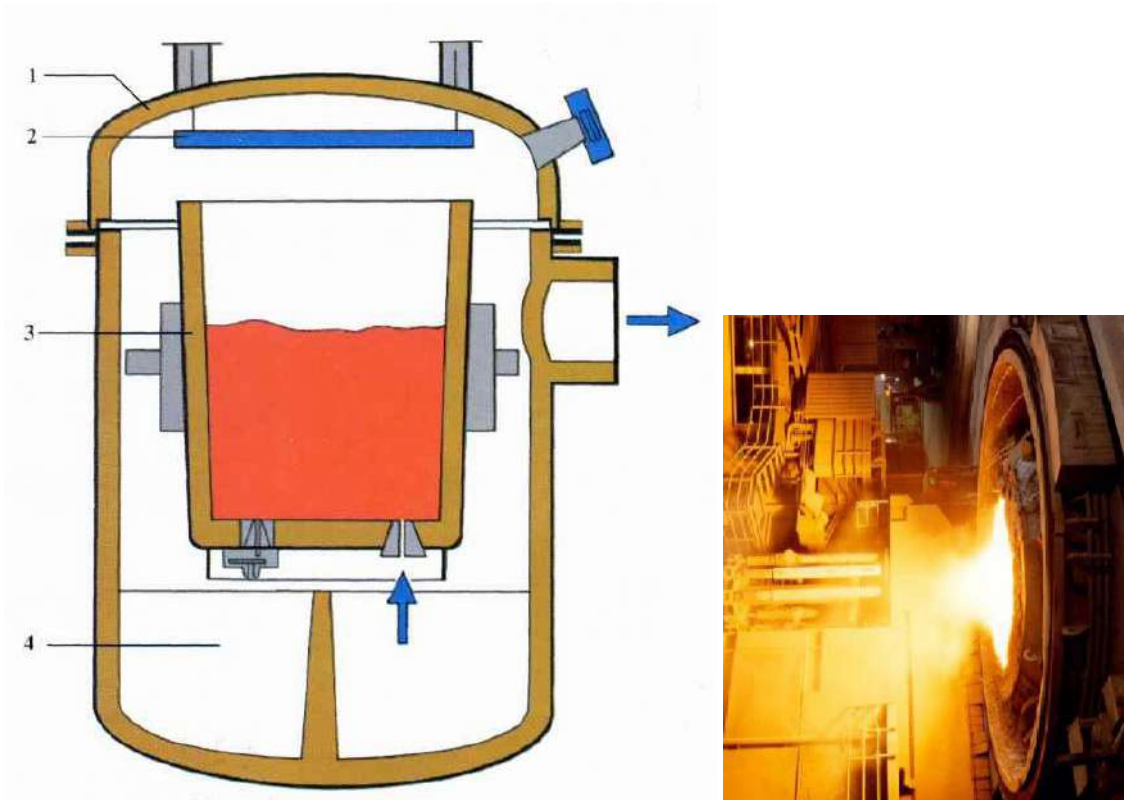


Рис. 1.1. Установка для вакуумної обробки металу в ковші

1 – вакуум-кришка; 2 – теплозахисний екран; 3 – сталерозливний ківш;
4 – вакуум-камера

Порційний та циркуляційний способи вакуумування поєднує те, що одночасно піддається вакуумування тільки частина металу, що засмоктується з ковша у спеціальну вакуумну камеру. Відмінність між способами полягає у способі обміну металу між ківшем та вакууматором. При порційному вакуумуванні (процес ДН) вакуумна камера має один патрубок і оновлення порції металу, що вакуумується відбувається за рахунок переміщення вакуумної камери «вгору-вниз». Вакуумна камера для циркуляційного вакуумування (процес РН, рис.1.2) оснащена двома патрубками, один з яких призначений для надходження металу у вакууматор (подавальний патрубок), інший – для відведення металу з вакууматора (прибиральний патрубок). Для організації циркуляції металу після опускання патрубків у ківш з металу в патрубок, що подає, здійснюється подача інертного газу. «Газовий ліфт», що

формується, сприяє надходженню у вакууматор новий порцій металу з ковша, а що виникає надлишковий феростатичне тиск сприяє відразу відповідної кількості металу через патрубок, що прибирає, назад з вакууматора в ківш.

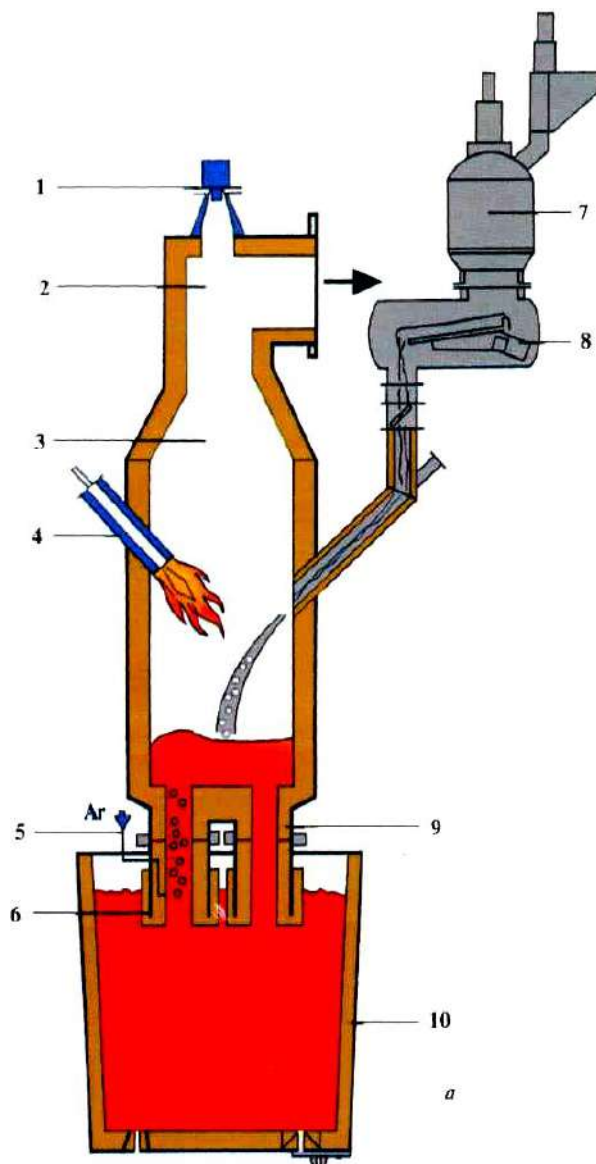


Рис.1.2. Схема RH-процесу (циркуляційного вакуумування)

1 – промислова телевізійна камера; 2 – підключення вакууму; 3 – камера RH; 4 – підігрів камери; 5 - патрубок для підведення транспортуючого газу; 6 – занурювальна трубка на вході; 7 - шлюзовий пристрій для введення в камеру добавок, що легують; 8 – лотковий дозатор у вакуум-щільному кожусі; 9 – занурювальна трубка на виході; 10 – сталерозливний ківш

Методи вакуумної обробки сталі безперервно удосконалюються, пропонуються нові рішення, що дозволяють отримувати метал високої якості з використанням простих методів. Прикладом може бути процес РМ (рис.1.3). Сутність методу полягає в змінному включенні та виключенні подачі аргону та вакуумного насоса, внаслідок чого метал у циліндрі та в ковші інтенсивно пульсує, що забезпечує високий ступінь його рафінування. Перевагою установки є можливість високоефективної роботи без глибокого вакууму.

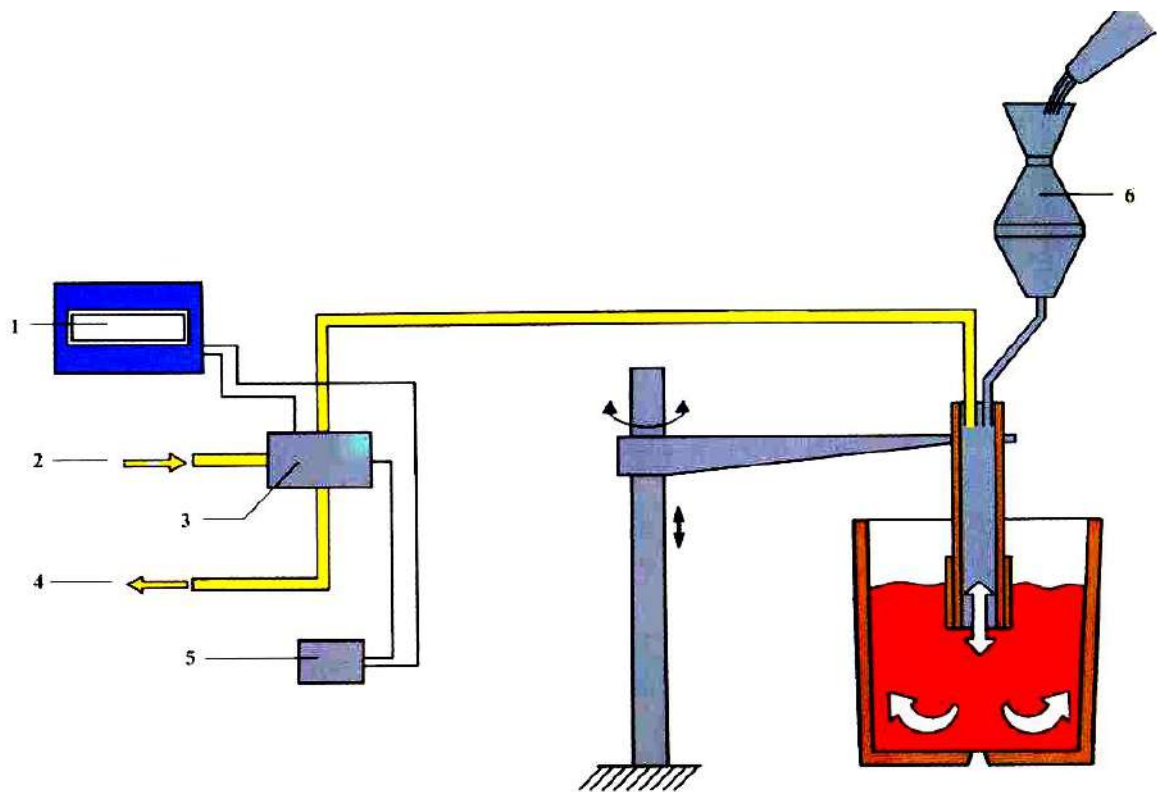


Рис.1.3. Загальний вигляд та схема РМ-процесу

1 – пункт управління; 2 – надлишковий тиск N₂; 3 – клапанна станція;
4 – вакуум; 5 -гідравлічна система; 6 – бункер для легуючих добавок

Продування інертним газом

В основному використовується аргон як найдешевший з інертних газів (на ряді заводів як газ, що перемішує, використовують азот, якщо це дозволяють склад і вимоги до якості сталі).

Способи введення інертного газу:

- Через одну чи дві пористі вставки, встановлені у днище ковша.
- За допомогою занурювальної фурми.
- Через шиберний затвор призначений для розливання сталі.

Підвищення якості рідкого металу при обробці інертним газом сприяють:

Інтенсифікація тепло- та масообмінних процесів внаслідок перемішування, що сприяє вирівнюванню хімічного складу та температури металу, прискорює перебіг процесів рафінування металу від небажаних домішок.

Часткова дегазація металу від водню та азоту за рахунок переходу розчинених у металі газів усередину спливаючих бульбашок інертного газу відповідно до закону Сівертса.

Зниження вмісту металу неметалевих включень з допомогою інтенсифікації процесів рафінування металу від суспензії неметалевої фази (спливання, осадження, коагуляції).

Обробка металу синтетичними шлаками

Сутність методу полягає у створенні тривалого контакту металу та шлаку в умовах розвиненої поверхні та інтенсивного перемішування. При цьому всі реакції, що протікають між металом та шлаком, досягають рівноваги. Характер реакцій, що протікають визначається складом шлаку.

Автор технологічного прийому француз Геррен, який запропонував у 30-х роках ХХ століття обробку металу вапняно-залізистим шлаком з метою дефосфорації. Обробка вапняно-глиноземистим шлаком, набула широкого поширення в 60-ті роки ХХ століття. Технологія обробки полягала у наступному. Шляхом сплавлення вапна та глинозему в спеціальних дугових печах, футерованих вугільними блоками отримували шлак соства: 50÷55% CaO, 40÷45% Al₂O₃, не більше 2%SiO₂, не більше 1% FeO,- з температурою близько 1700°C. Випуск рідкого шлаку в кількості 3÷6% від маси металу

виробляли або сталерозливний, або проміжний ківш. Обробка сталі здійснювалася в режимі змішування металу та шлаку на випуску.

Підвищення якості сталі при обробці таким синтетичним (основним, відновним) шлаком відбувалося за рахунок:

- Десульфурація металу;
- Підвищення ефективності розкислення металу;
- зниження вмісту неметалевих включень за рахунок інерційного осадження суспензії неметалевої фази на краплях шлаку, що спливають.

Сучасні варіанти технологічної реалізації обробки металу синтетичним шлаком:

1. Елемент комплексної технології обробки на установці "піч-ківш". Тверді шлакоутворювальні матеріали (CaO , Al_2O_3 , CaF_2) в умовах відсічення пічного шлаку присаджують у ківш на стадії випуску металу. Ківш подається на стенд підігріву установки «піч-ківш» і в умовах дугового нагрівання відбувається формування рідкого шлаку. Перемішування шлаку з металом забезпечується суміщенням нагрівання та обробки інертним газом.

2. Вакуум-шлакова обробка з подачею шлакоутворювальних матеріалів у вакуумну камеру. Формування рідкого шлаку відбувається за рахунок тепла металу або хімічного підігріву за рахунок окислення алюмінію.

3. Відкриті (реалізовані при атмосферному тиску) процеси, що поєднують введення твердих шлакоутворюючих сумішей та продування інертним газом. Формування шлаку відбувається за рахунок тепла металу з частковою компенсацією як хімічного підігріву за рахунок окислення алюмінію. У цьому продукт окислення алюмінію перетворюється на шлак як компонент.

Обробка металу твердими порошкоподібними матеріалами

Сутність процесу – створення тривалого контакту рідкого металу та твердого реагенту в умовах розвиненої поверхні та інтенсивного перемішування. Система "метал-реагент" швидко приходить у рівновагу.

Природа реагенту і характер реакцій, що протікають, визначається цілями обробки.

Збільшення контактної поверхні одержують за рахунок подрібнення матеріалів. Інтенсивне перемішування досягається шляхом подачі подрібнених матеріалів у струмі несучого газу (найчастіше використовують аргон, можливе використання повітря, газу, азоту). Це прискорює процеси взаємодії порошків з металом, які у дифузійному режимі. Крім того, газ-носій може самостійно рафінувати вплив на метал, підвищуючи ефективність обробки.

Цей технологічний прийом позапічної обробки отримав назву «інжекційна металургія» (TN-процес, рис.1.4). Його використовують з метою:

1. Десульфурації металу, вдаючи в струмі аргону металеві порошки (Ca, Mg) та порошки шлакоутворюючих матеріалів).
2. Розкислення металу, вдаючи в струмі аргону металеві порошки (Ca, Mg).
3. Легування.
4. Навуглерожування.

Ділянка чи відділення позапічної обробки є невід'ємною частиною сучасного сталеплавильного цеху. При цьому до його складу можуть входити кілька різних агрегатів та установок («піч-ківш», вакууматор, установка гомогенізації тощо), що зумовлює значну різноманітність конкретних технологічних схем обробки в залежності від цілей та вимог до якості металу.

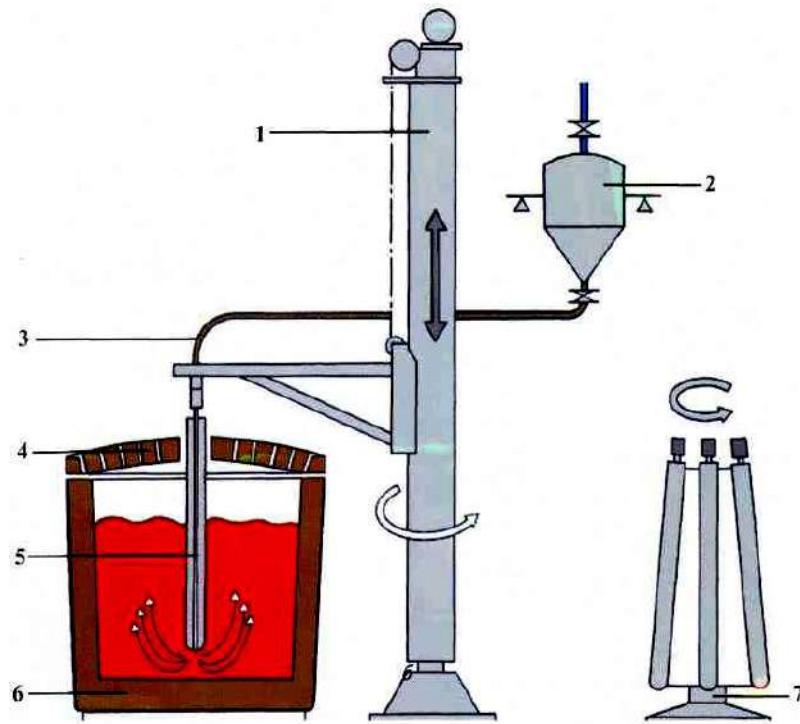


Рис.1.4. Схема пристрою для вдування порошкоподібних матеріалів в метал

1 - підіймно-опускаючий пристрій; 2 – роздавальний посуд; 3 – труба для продування; 4 – кришка з вогнетривкою футеровкою; 5 – фурма; 6 – ківш; 7 – накопичувач фурм

Реальні технологічні процеси позапічної обробки є комплексними, що поєднують у різних комбінаціях зазначені вище технологічні на метал.

Дослідженнями фахівців показано [1], що максимальний розмір оксидних включень у рейках більший, ніж у французьких і японських (35...50 і 7-10 мкм відповідно). Це може бути однією з істотних причин зниженої стійкості вітчизняних рейок.

Останнім часом для поліпшення якості металу, зокрема й рейкового, значного поширення набула його позапічна обробка: глибока десульфатія в печі-ківші, вакуумування тощо. Для глобуляризації неметалевих включень, виключення оксидних рядків або зниження їхніх розмірів, очищення меж зерен, підвищення пластичних властивостей тощо під час позапічної обробки

в сталерозливний ківш вводиться силікокальцій, зазвичай у вигляді порошкового дроту. Але зазначені заходи не завжди забезпечують отримання якості металу необхідного рівня.

Зокрема, через низьке (10-15%) і нестабільне засвоєння кальцію, що легко окислюється, ефективність його застосування буває невисокою. Значний ступінь глобуляризації включень відбувається тільки в тому разі, якщо вдається отримати концентрацію кальцію в маловуглецевій сталі 20-25 ppm, а у високовуглецевій - 10-15 ppm. У цьому разі перед фронтом кристалізації металу, що твердне, відсутні умови для утворення скупчень глиноземистих включень і, відповідно, у прокатному металі - рядкових утворень. При цьому необхідно пам'ятати, що навіть у тому разі, якщо після проведення всіх заходів із позапічної обробки металу в ковші було досягнуто фізико-хімічної рівноваги між металом і шлаком за всіма хімічними складовими та створено умови для повного видалення неметалевих включень, які утворилися, під час кристалізації розплаву в ковші або кристалізаторі внаслідок температурного зсуву реакції розкислення та вторинного окислювання (навіть за наявності заходів із захисту металу) відбувається неминуче утворення нових включень, які можуть стати причиною утворення нових включень.

Критичні зауваження можуть бути зроблені також на адресу інших технологічних складових позапічної обробки сталі. Зокрема, глибока десульфурація металу (до 0,002-0,004% S) призводить до утворення алюмінатів (оксидів) без сульфідної оболонки, тоді як саме оксисульфідні включення забезпечують мінімальні напруження на межі «матриця-включення» та усувають або послаблюють втомні мікротріщини, які призводять до руйнування чи передчасного зносу рейок, коліс, ресор, металокорду тощо. Крім того, необхідно враховувати підвищену ймовірність переходу водню зі шлаку в метал у разі тривалої та інтенсивної десульфурації, особливо при використанні вапна недостатньо високої якості.

А.А. Дерябін зі співавторами [2] виявив залежність між вмістом водню і сірки в рейковому металі перед розливанням невакуумованих плавов, яка

показує зниження вмісту водню в разі збільшення концентрації в сталі сірки. Для вакуумованого металу цей зв'язок проявився дещо слабкіше. Присутність сірки, на думку авторів зазначеної роботи, не тільки знижує розчинність водню в рідкій сталі, а й полегшує перехід водню в газову фазу під час позапічної обробки металу аргоном. Сірка також знижує ймовірність появи флокенів, тому отримання в сталі її супернизьких концентрацій не завжди доцільно.

Вакуумування, знижуючи вміст у сталі кисню і неметалевих включень, послаблюючи ліквідаційні процеси, покращуючи макроструктуру металу, його механічні властивості тощо, є ефективним засобом підвищення якості сталі. Однак, морфологія включень (їхній склад і властивості), що визначає деякі службові характеристики металу (втомна міцність, корозійна стійкість), змінюється незначно. Тому вимога обов'язкового і глибокого вакуумування, як нам видається, не завжди виправдана. Тим паче, що технологія модифікування у зв'язці «піч - ківш» - вакууматор наразі опрацьована недостатньо.

Для підвищення ефективності модифікування металу силікокальцієм необхідно підвищити ступінь засвоєння кальцію рідкою сталлю. Цього можна домогтися, перенісши операцію модифікування якомога ближче до моменту початку кристалізації металу, тобто присаджуючи силікокальцій не в розливний ківш, а в центрову за сифонного способу розливання або в проміжний ківш або кристалізатор - за безперервного розливання. При цьому засвоєння кальцію підвищується до 15-28% і 10-35% відповідно. Крім того, пізнє введення модифікатора дає змогу повніше використовувати його інокулювальний вплив на розплав, що кристалізується, тим самим підвищуючи якість металу. Наприклад, при введенні меленого силікокальцію в центрову було досягнуто зниження вмісту кисню на 30% і повне усунення браку, тоді як на порівняльному металі (ковшовий варіант) він становив 9,5% [3].

Ще один напрямок підвищення результативності модифікування - вдосконалення самих модифікаторів, як завдяки зміні їхнього речовинного

складу із застосуванням нових активних елементів, так і завдяки оптимізації співвідношення цих елементів у використовуваній лігатурі.

Наприклад, є численні дані щодо поліпшення якісних показників різних марок сталей у разі модифікування їх барієвмісними матеріалами. Так, у роботі [4] показано, що добавки силікобарію в попередньо розкислену силікокальцієм сталь призводять до зниження забрудненості металу оксидними включеннями, зменшення їхнього розміру і рівномірного розподілу за висотою злитка, підвищення втомних властивостей. У низці робіт відзначається поліпшення якості поверхні злитків за використання сплавів з барієм. У США освоєно випуск комплексного сплаву «Кальсибар» (11-18% Са, 14-18% Ва, 59-64% Si, 7% Fe), ефективнішого порівняно із силікокальцієм [5].

Більшість дослідників позитивний вплив добавок барію пояснюють його захисною дією щодо кальцію, що призводить до підвищення концентрації останнього в рідкому металі. Деякі цей вплив вважають пов'язаним зі зміною поверхневих властивостей розплаву.

За аналогією з барієм перспективним може виявитися використання в складі комплексних модифікаторів ще одного лужноземельного елемента - стронцію.

У низці робіт показано ефективність добавок алюмінію як до силікокальцію [6], так і до силікокальційбарієвої лігатури. Зокрема, у США для розкислення алюмінійвмісних сталей досить широкого поширення набув комплексний сплав «Хайперкел» складу: 10-13% Са, 9-12% Ва, 38-40% Si, 9-12 або 19-21% Al, решта - залізо. У разі використання цього сплаву (0,5-0,6 кг/т) всі включення являють собою глобули, що складаються з алюмінатів кальцію і комплексних сульфідів [5].

Позитивні результати отримано при модифікуванні сталі лігатурами з рідкісними землями (РЗМ). Так на заводі ім. К. Лібкнехта (нині НТЗ) присадки в ківш лігатури СЦМиш-1 (33,2-34,8% РЗМ, 40,9-44,2% Si, 4,5-4,9% Al) у кількості 1,5-2,0 кг/т підвищили ударну в'язкість колісного металу в 1,5-2,0 рази порівняно зі звичайним металом [7].

Проведені на різних заводах роботи з модифікування високо- і низьковуглецевих сталей під час їхнього розливання комплексними модифікаторами, які містять, окрім лужноземельних елементів (кальцію, магнію, барію), також рідкісноземельні (церій, лантан), засвідчили високу ефективність випробуваної технології [8, 9]. Наприклад, під час виробництва пружинно-ресорної сталі 60С₂ на 45-50% знизилася хімічна неоднорідність за ліквідувальними елементами, на 26-70% підвищилася витривалість металокорду тощо.

Рідкісні землі, крім подрібнення і глобуляризації неметалевих включень, отримання одноріднішої макро- і мікроструктури сталі, здатні утворювати сполуки з кольоровими домішками і воднем, запобігаючи їхній ліквідації [10]. Виявлені в роботі [2] зв'язки між вмістом у металі водню з кальцієм, титаном, сіркою та іншими елементами дали змогу дійти висновку, що у твердій сталі водень утримується та концентрується поблизу сульфідних, кальцієвмісних та алюмовмісних включень, карбонітридів ванадію та титану. Ці елементи розосереджують водень по всьому об'єму металу, знижуючи ймовірність появи флокенів. Слід зауважити, що РЗМ мають значно більшу гідридоутворювальну здатність, ніж згадані елементи, з огляду на високі теплоти утворення: наприклад, для гідридів церію - 169,03 ккал/моль порівняно з 18,88 і 31,1 ккал/моль для гідридів кальцію і титану відповідно [11]. Тому застосування для модифікування металу гідроутворювальних елементів у складі комплексних сплавів може дати змогу знизити інтенсивність відпрацювання металу вакуумом і тривалість ізотермічного відпалу або навіть виключити проведення цих технологічних операцій.

Підтвердженням сказаного є досліди, проведені на металургійному заводі, які показали, що корозійна стійкість невакуумованого трубного металу, модифікованого присадкою в центрову комплексної РЗМ-вмісної лігатури, була дещо вищою, ніж вакуумованої сталі, обробленої в ковші порошковим дротом зі стандартним 30%-вим силікокальцієм.

Слід зазначити, що ковшеве модифікування РЗМ-вмісними матеріалами часто супроводжується заростанням сталерозливної стакану. Це свідчить про необхідність вдосконалення технології розкислення і модифікування сталі в ковші. Для повного усунення зазначеного недоліку доцільно перенести модифікування на розливання з присадкою РЗМ-вмісних модифікаторів у центрову (сифонне розливання) або в проміжний ківш і кристалізатор (під час розливання на УНРС). І така технологія не є важкодійсною або придатною тільки для проведення дослідних випробувань.

Інтенсивність і глибина проведення десульфурзації та вакуумування під час позапічної обробки сталі повинні визначатися вимогами, що пред'являються до якісних показників металу і його службових характеристик, і одночасно враховувати можливості технології модифікування щодо поліпшення якості сталі.

Для підвищення ефективності модифікування необхідне використання комплексних лігатур, що містять кальцій, барій, алюміній, РЗМ та інші активні елементи. Доцільне також перенесення операції модифікування з ковша безпосередньо на розливання (присадки матеріалу в центрову, проміжний ківш, кристалізатор).

1.3 Вплив термодинамічних факторів на розкислення сталі та утворення неметалевих включень

Поряд з однорідністю складу і мінімальним вмістом шкідливих домішок основною якісною характеристикою сталі є ступінь її чистоти за неметалевими включеннями (НВ), що впливає на анізотропію властивостей, поріг холодноламкості, зварюваність, схильність до старіння, технологічну пластичність, контактну міцність і т. д. Актуальність проблеми «чистої сталі» зумовлена безперервним посиленням вимог, що пред'являються споживачами до якості металу. Згідно з сучасними уявленнями визначальний вплив має не тільки абсолютний вміст включень у металі, а й їхній склад, форма, розподіл і

деформованість під час прокатки. Неодноразово спостерігаються значні відмінності в деяких механічних властивостях, незважаючи на однаковий хімічний склад і структуру металу. Проблема якості, тому в значній мірі повинна вирішуватися оптимізацією складу і структурних складових системи сталь - включення, тобто найбільш високих експлуатаційних характеристик сталі. Вивчення природи та властивостей включень з цього погляду значно відстало від досліджень металевих фаз. Раніше властивості сталевих виробів, зокрема механічні, пов'язували з концентраціями кисню та сірки: нові дослідження показали визначальний вплив виду, кількості розмірів і розподілу в сталі оксидів і сульфідів. Великих успіхів домоглися в виробництві сталі високого ступеня чистоти, проте безсумнівно, що промислові сталі загального призначення міститимуть значну кількість включень. При розкисленні металу переважає гетерогенне зародження НВ, тому що в розплаві вже існують центри зародження нової фази такі як:

1. Оксиди, що покривають розкислювач (алюміній феросплави завжди покриті оксидами в результаті контакту з повітрям).

2. Метал не є абсолютно чистим від НВ навіть до введення розкислювачів. Після окислювального періоду не вся маса елементів, що окислилися спливає в шлак.

3. Поверхня футерування так само може служити центрами зародження нової фази. З вище сказаного можна зробити висновки, що частина НВ утворюються гетерогенним способом, оскільки в металі достатньо центрів зародження нової фази. У момент введення розкислювача утворюється зона, в якій концентрація розкислювача велика, що сприяє гомогенному зародженню НВ. З вище сказаного випливає, що для утворення НВ проходить без перешкод.

Експлуатаційні властивості сталі визначаються, насамперед, формою, розміром і розподілом включень, які залежать від способу розкислення, умов затвердіння і деформації. Найчастіше дуже важливим є не досягнення вельми низьких абсолютних вмістів НВ, а одержання включень з оптимальними

властивостями і щодо процесів ліквідації та деформації, і, можливо, меншим шкідливим впливом на оброблюваність та експлуатаційні властивості сталі. Багато дослідників вважають [12], що тип включень не впливає на механічні властивості сталі.

Визначальним фактором вважають критичний розмір включень, який встановлено для багатьох матеріалів. Очевидно, для кожної сталі існує критичний розмір включень, який залежить від типу включень сталі та властивостей, які пред'являються до неї. Більші включення небезпечні для сталі незалежно від їхнього складу. Мікрровключення, розмір яких менший за критичний, не поводяться як дефекти. Найменш шкідливі для властивостей сталі багатьох марок глобулярні силікатні дрібні та рівномірно розсіяні включення. Менш сприятливі кристалічні майже правильно обмежені включення: нітриди титану, корунд. Вважається, що такі включення внаслідок своєї непластичності під час деформації металу є концентраторами напружень. Ще більш шкідливими є скупчення (у вигляді роїв або хмар) великої кількості дрібних включень, що призводять іноді до появи видимих вад (розшарувань) металу (це більше характерно для металу, що розливається у виливниці).

Сталь, що містить пластинчасті включення, руйнується значно раніше за сталь із глобулярними включеннями [12]. Дуже несприятливий вплив чинить ланцюгове розташування неметалевих включень, коли по межах литого зерна розташовуються у вигляді ланцюжка низка легкоплавких і легкодеформованих включень. Такі включення послаблюють зчеплення між окремими зернами і різко знижують міцнісні та пластичні характеристики сталі. Ланцюжки дають частіше сірчисті й рідше окисульфідні включення [13]. Вважається, що результати видалення неметалевих включень під час витримки сталі перед розливанням тим кращі, чим більше можливостей для коагуляції легкоплавких сумішей оксидів. При цьому має приділятися велике значення підбору розкиснювачів для того, щоб уже під час реагування з розчиненим у металі киснем утворилися включення, які одразу коагулювалися

б у великі частки, що легко видаляються. З цього погляду необхідно забезпечити рідкорухливість НВ. Цього можна досягти за рахунок певного порядку присадки розкислювачів.

Для того щоб забезпечити рідкорухливість НВ, необхідно виконати такі умови:

1. Розкислення в порядку зростання температури плавлення продуктів розкислення. За такої послідовності присадок розкислювачів утворені НВ з низькою температурою плавлення будуть переважно рідкорухливі. Ці рідкорухомі включення можуть виступати в ролі центрів зародження НВ під час присадки наступних порцій розкислювача. Така послідовність сприяє кінетиці утворення легкоплавких сумішей оксидів.

2. Розкислення в порядку зростання спорідненості до кисню розкислювача. Послідовність присадки розкислювачів у порядку зростання спорідненості до кисню також сприяє утворенню легкоплавких сумішей оксидів. Це відбувається за рахунок відновлення компонентів НВ розкислювачем.

3. Розкислення в порядку убування міжфазної енергії розкислювача. При порядку введення розкислювачів у порядку убування міжфазної енергії на кордоні з рідким металом розкислювач пов'язує більшу частину кисню, і продукти розкислення легко видаляються. Після чого в металі залишається незначна частина кисню, і при введенні розкислювачів (легуючих) їхні оксиди, які мають малу питому міжфазну енергію, практично повністю розчиняються в металі, не окислюючись (тобто НВ, що добре змочуються, утворюються в малих кількостях). Однак при введенні сильного розкислювача першим у великих кількостях у металі розчиниться більша частина елемента розкислювача. І під час охолодження металу гранична розчинність елемента розкислювача знижується за рахунок чого утворюються нові НВ.

4. Розкислення в порядку убування граничної розчинності елемента розкислювача в сталі. Низький вміст кисню досягається за рахунок присутності розчиненого елемента розкислювача в сталі. Тому для глибокого

розкислення елемент розкислювач повинен мати високу граничну розчинність у металі. Елементи, що мають низьке значення граничної розчинності в металі, не можуть глибоко розкислити метал, навіть якщо вони мають велику спорідненість до кисню. Тому розкислювачі, що мають низьку питому розчинність, ефективно віддавати в останню чергу. Наприклад Са має високу спорідненість до кисню і низьку граничну розчинність. Його зазвичай віддають в останню чергу.

У процесі розкислення і легування сталі утворюються неметалеві включення. Головна мета розкислення це зниження кисню, але процес розкислення супроводжується утворенням неметалевих включень (НВ). Хімічний склад і фізичні властивості НВ визначається вибором розкислювачів і послідовності їх введення в метал. Розкислювачі з погляду утворення НВ можна класифікувати так:

1. За спорідненістю до кисню;
2. За температурою плавлення НВ, що утворюються;
3. За питомою міжфазною енергією на кордоні НВ - метал;
4. За граничною розчинністю елемента розкислювача в сталі.

Метал, що випускається в ківш, сильно переокислений. Крім того, йде досить сильне вторинне окислення струменя (захист струменя відсутній).

Легування кремнієм виробляється феросиліцієм (ФС); легування марганцем виробляється силікомарганцем (СМн), який також містить кремній. Якби спочатку віддавали ФС, а потім СМн або СМн і ФС віддавалися б одночасно, то кисень металу окислював би насамперед кремній, який «захищав» би при цьому марганець від окиснення. СМн і ФС за ціною не надто відрізняються і тому віддача ФС першим відчутного ефекту з точки зору економії феросплавів не дасть. Насправді використовується послідовність віддач така: спочатку СМн, потім феросиліцій, що дає утворення більш сприятливих НВ. За такої послідовності віддачі феросплавів (у порядку зростання спорідненості розкислювача до кисню) утворюються

рідиннорухливі НВ. Що дійсно підтверджується експериментальними даними з літератури.

Для сприятливого складу НВ пропонується така схема розкислення: Першим вводиться СМн, другим - ФС, останнім - ФС, останнім - алюміній, що вводиться в невеликих кількостях. У результаті НВ матимуть змішаний склад типу $MnO - SiO_2 - Al_2O_3$.

1.4 Управління процесами утворення неметалевих включень під час виробництва конвертерної сталі

Запорукою отримання листового прокату високої якості є забезпечення високої чистоти сталі за неметалевими включеннями, газами і шкідливими домішками. Такі характеристики, як кількість, морфологія і характер розподілу включень у металевій матриці, закладаються насамперед на етапі розкислення і модифікування сталі під час її позапічної обробки. Технологія розкислення сталі, що охоплює вибір типу використовуваних розкислювачів і модифікаторів, послідовність і спосіб їхнього введення в сталевий розплав, повинна забезпечувати найбільш повне видалення великих неметалевих включень, що утворюються, з рідкого металу. Дрібні включення, що залишилися в готовому металі, повинні мати сприятливу морфологію, а їхня кількість має бути мінімальною [14].

Проведено дослідження металу, отриманого в умовах металургійного підприємства. Шліфи виготовляли на обладнанні для підготовки проб компанії Buehler Ltd. Металографічні дослідження проводили на моторизованих мікроскопах Nikon Epiaphot TME і Zeiss Axiovert 200 MAT, оснащених аналізаторами зображення Thixomet Pro.

Мікрорентгеноспектральний аналіз включень (МРСА) проводили на електронному мікроскопі Zeiss Supra 55VP з приставкою Inca (Oxford Instruments).

Термодинамічне моделювання проводили за допомогою комерційного програмного забезпечення Fact Sage з використанням баз даних FSstel і FToxid [15].

Були розраховані температурні залежності маси неметалевих включень, що утворюються під час охолодження і кристалізації сталі. Враховувалися хімічні реакції формування в рідкій сталі всіх можливих сполук у рамках системи Fe-Ca-Al-Si-Mn-S-O.

Забрудненість неметалевими включеннями зразків литого металу оцінювали за стандартом ASTM E-1245-03.

Аналіз отриманих результатів показав, що для всіх розглянутих плавок, отриманих за базовою заводською технологією, спостерігається загальна тенденція, пов'язана з підвищенням забрудненості металу неметалевими включеннями в процесі безперервного розливання. У середньому за плавками рівень забрудненості сталі в процесі обробки на установках доведення металу (УДМ), агрегаті ківш-піч (АКП) і установці вакуумування сталі (УВС) не перевищує 0,015 % (об.). У процесі безперервного розливання це значення може збільшуватися в 1,5-2 рази і досягати до 0,03 % (об.). На рис. 1.5 наведено приклад зміни об'ємної частки неметалевих включень у рідкому металі під час позапічної обробки та розливання для однієї з досліджених плавок. У цьому випадку об'ємна частка включень до кінця позапічної обробки становить менше 0,005 % (об.), проте в процесі безперервного розливання вона збільшується до 0,02-0,025 % (об.).

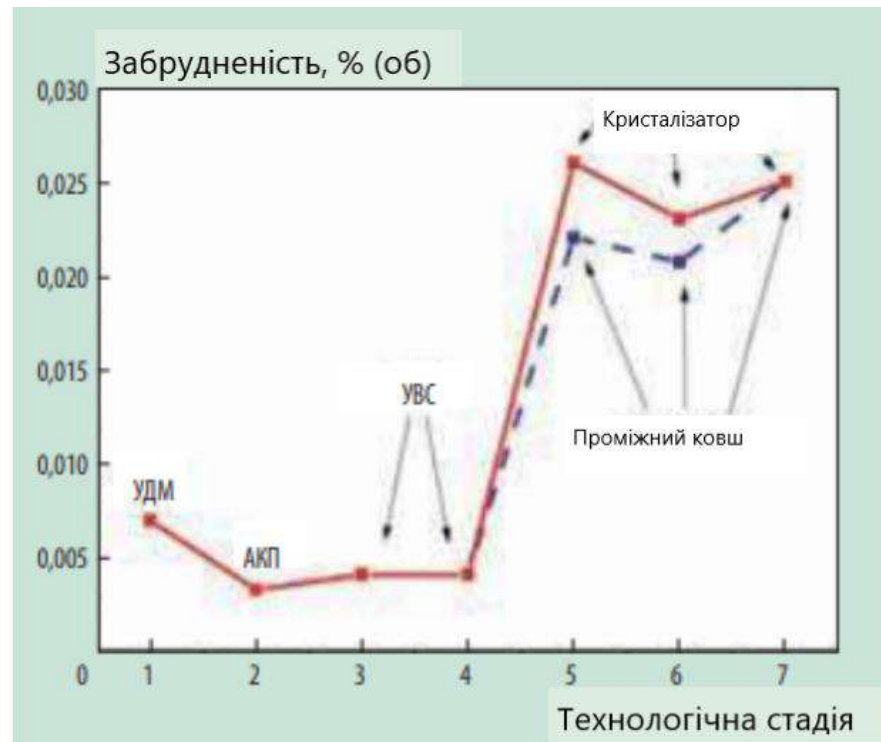


Рис. 1.5 Зміна об'ємної частки неметалевих включень у металі під час позапічної обробки та безперервного розливання

Таким чином, ефективність заходів, що реалізуються в процесі позапічної обробки, метою яких є рафінування сталі від неметалевих включень, може бути значно знижена внаслідок розвинених процесів вторинного окислення сталі в процесі безперервного розливання.

Оцінку забрудненості неметалевими включеннями зразків гарячекатаного листа (штрипса), отриманого з металу досліджених плавів, проводили за допомогою двох різних методик: ASTM E-1245-03 і ГОСТ 1778-70. Досліджували фазовий склад великих рядків включень, що перевищують другий бал за ГОСТ 1778-70, наявність яких є однією з основних причин зниження якості металопродукції та підвищення ступеня відбраковування листів. Як правило, ці великі рядки являють собою ендогенні та екзоендогенні багатофазні включення системи $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$, близькі за складом до гекса- $(\text{CaO}\cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3)$ і біалюмінатів кальцію $(\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3)$. До складу таких включень може входити оксид магнію MgO екзогенного походження, що потрапляє в

розплав з футерування ковша. Температура плавлення цієї групи включень перевищує температуру рідкого розплаву ($T_{пл} > 1700 \text{ }^\circ\text{C}$), тому утворюються тугоплавкі конгломерати з прошарками заліза, які згодом під час прокатки перетворюються на крихкі рядки (рис. 1.6).

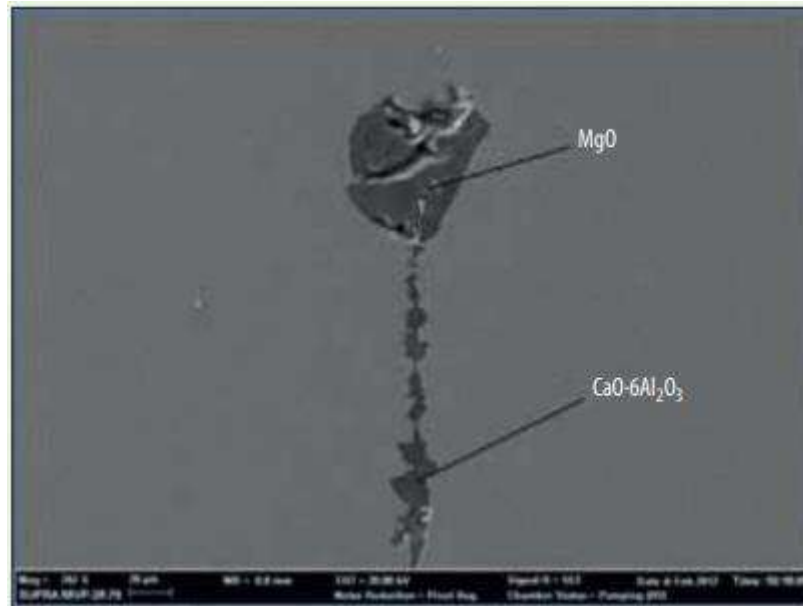


Рис. 1.6. Тугоплавкі рядкові включення, виявлені в структурі металу

Також у структурі металу зустрічаються великі рядки, за складом близькі до сполуки $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$, що відповідає евтектиці в системі $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ [13]. За температур позапічної обробки такі легкоплавкі включення ($T_{пл} \approx 1360 \text{ }^\circ\text{C}$) утворюються в рідкому стані в момент введення кальцієвмісного модифікатора в розплав за умови значного пересичення металу кальцієм. Ендогенні шлакові краплі, що утворюються, легко коалесціюють, укрупнюються і видаляються з рідкої сталі, проте ті частинки, які залишаються в сталі, згодом утворюють великі витягнуті включення, які важко піддаються деформації.

Встановлено, що з досліджених включень найсприятливішими з погляду морфології є сполуки системи $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{MgO}$, близькі за складом до

моноалюмінатів кальцію $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, що містять до 5-6 % MgO . Ці включення невеликого розміру (6-8 мкм) утворюються в рідкому стані, мають сферичну форму, яка під час пластичної обробки практично не зазнає змін.

З метою дослідження еволюції фазового складу неметалевих включень під час позапічної обробки та розливання було проведено МРСА зразків литого металу, відібраних на всіх основних стадіях обробки сталі (після випуску з конвертера, на агрегаті ківш-піч, до й після модифікування кальцієм, з проміжного ковша і кристалізатора в процесі безперервного розливання). Також були досліджені робочі поверхні фільтраційних перегородок проміжних ковшів і заглибних склянок. Фазовий склад виявлених включень оцінювався з урахуванням результатів термодинамічного моделювання [14].

Далі розглянуто зміну складу неметалевих включень, що утворюються в процесі позапічної обробки рідкої сталі. Після випуску сталі з кисневого конвертера при одночасному введенні легуючих матеріалів і розкислювачів (вторинного алюмінію і силікомарганцю) утворюються неметалеві включення системи $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-FeO}$ (корунд, герцинит, алюмосилікати). Дрібні включення корунду формуються при значних пересиченнях металу за киснем і алюмінієм. Частина цих включень видаляється зі сталі під час її обробки на установці доведення металу за рахунок низької адгезії до матричного розплаву, проте невелика кількість включень внаслідок малих розмірів залишається в сталі до моменту її модифікування.

Після модифікування розплаву кальцієвмісними матеріалами (ферокальцієм або силікокальцієм) у металі утворюються неметалеві включення наступних типів: рідкі оксидні сполуки системи $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$; біалюмінати кальцію ($\text{CaO-2Al}_2\text{O}_3$); сульфід кальцію, представлені у вигляді поодиноких неметалевих включень та у складі багатофазних включень у вигляді плакувальної оболонки. Крім того, в металі були виявлені алюмосилікатні включення і корунд, які були присутні в розплаві ще до модифікування. Часто в металі можуть бути присутніми екзогенні частинки

шлаку (глобули, близькі за складом до покривного шлаку) і футерування (великі включення, що мають в основі MgO).

Відповідно до результатів термодинамічного моделювання процесу модифікування сталі кальцієм основним рівноважним типом включень, які утворюються за конкретних температурно-концентраційних умов, є біалюмінат кальцію $\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ (рис. 1.7).

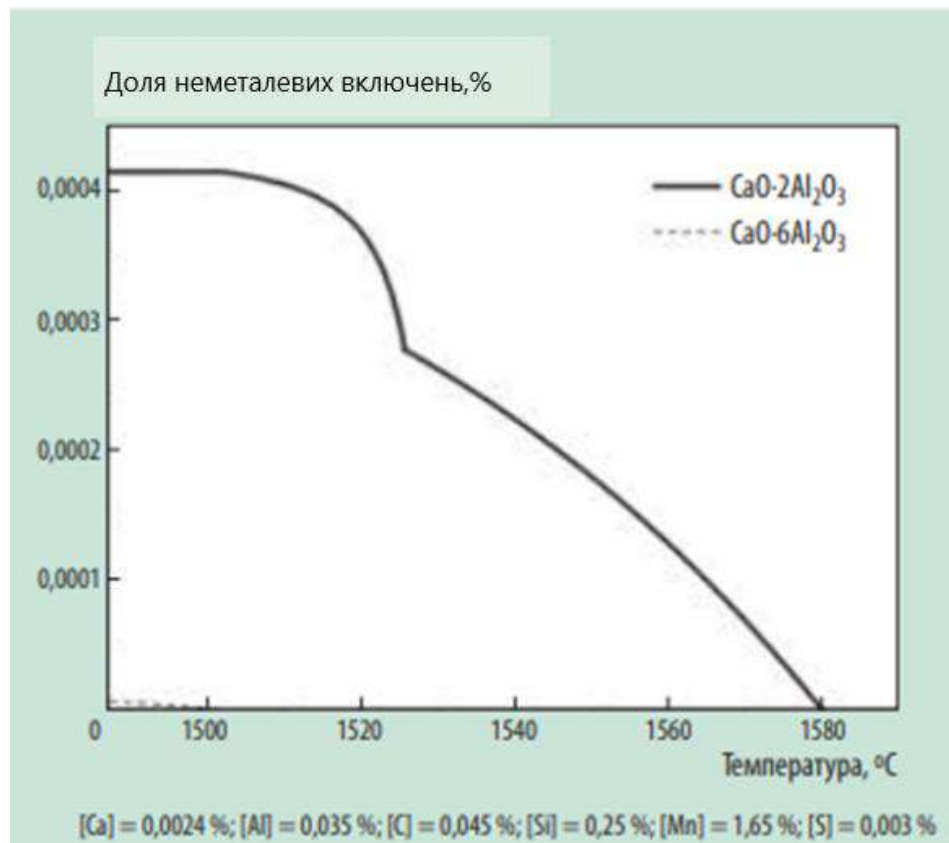


Рис. 1.7. Результати моделювання процесу формування неметалевих включень для сталі

Кальцій, що вводиться в розплав, не розподіляється за об'ємом ковша миттєво та рівномірно, тому в різних точках розплаву можуть реалізовуватися різні співвідношення між вмістом алюмінію і кальцію $[\text{Al}]/[\text{Ca}]$, що призводить до формування неметалевих включень найрізноманітнішого складу в умовах відповідної локальної рівноваги. Зокрема, у безпосередній

ділянці введення модифікатора в умовах значного пересичення розплаву кальцієм утворюються ендогенні рідкі включення, близькі за складом до $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$. Надалі в процесі промивного періоду (усереднювального продування) позапічної обробки, коли реагенти розподілені рівномірно, відбувається поступова перекристалізація цих нерівноважних включень, які стали нерівноважними, внаслідок чого їхній середній склад дедалі більшою мірою наближається до рівноважного складу ($\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$). Дійсно, на даному етапі позапічної обробки в металі було виявлено багатофазні неметалеві включення, що мають проміжну структуру, яка складається за температур модифікування з твердої (Al_2O_3 , $\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) і рідкої ($\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$) фаз.

Дослідження відкладень на фільтраційних перегородках проміжних ковшів показало, що переважним типом включень, які осідають на них, є сполуки системи $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{MgO}$, зокрема біалюмінати кальцію $\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ та магнезіальна шпінель $\text{MgO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, що свідчить про значущу роль футерування під час формування неметалевих включень у процесі позапічної обробки [15].

Мікрорентгеноспектральний аналіз неметалевих включень, виявлених у зразках металу, відібраних із проміжного ковша і кристалізатора в процесі безперервного розливання сталі, дав змогу зафіксувати приріст гострокутних дрібних (0,5-2 мкм) нітридних включень. Як правило, ці включення виділяються на підкладках оксидних частинок, що утворилися в сталі на більш ранніх етапах (ще до розливання). Також у деяких випадках було виявлено, що на поверхні глобулярних включень системи $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$, що сформувалися під час модифікування, утворюються оксиди системи $\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ (рис. 1.8). Описані явища можуть бути наслідком вторинного окислення рідкого металу під час безперервного розливання.

Крім вторинного окислення, однією з причин підвищення забрудненості металу в процесі розливання сталі може бути потрапляння в розплав екзогенних неметалевих включень, зокрема заплутаних частинок шлакоутворювальної суміші (ШУС). Так, у деяких випадках у пробах металу

з розливання були виявлені скупчення великих екзогенних включень розміром понад 200 мкм.

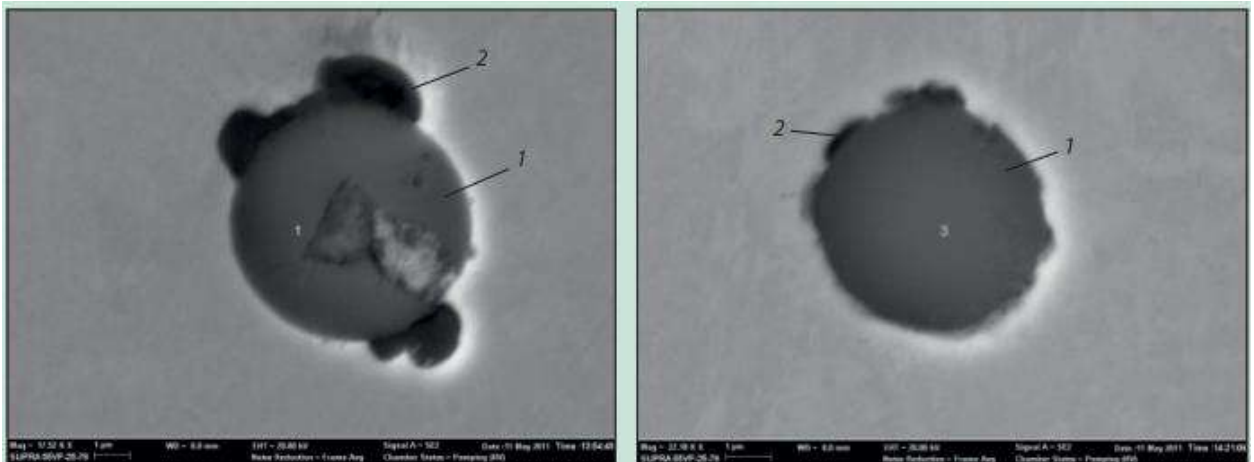


Рис. 1.8 Багатофазні включення, виявлені в пробах металу, відібраних у процесі безперервного розливання:

1 - основа - алюмінати кальцію ($\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$); 2 - оксиди системи $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3$

Низький рівень металу в кристалізаторі та залишки частинок ШУС на поверхні кристалізатора сприяють потраплянню шлакових частинок у метал. Іншою причиною потрапляння частинок ШУС у метал може бути невисока якість використовуваних сумішей (великий вміст води і підвищена гетерогенність суміші).

Порівняльний аналіз технологічних параметрів плавів, що характеризуються різною морфологією і кількістю неметалевих включень, дав змогу виявити критичні параметри, що мають найбільш значущий вплив на забрудненість сталі.

Схема розкислення рідкої сталі на випуску з конвертера є одним із ключових моментів технології. Згідно з проведеними дослідженнями і результатами термодинамічного моделювання, основним типом включень, що утворюються на даному етапі, є шлакові сполуки системи $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MnO-SiO}_2\text{-FeO}$.

Залежно від кількості введеного алюмінію спільно з рідкими включеннями утворюються також тверді сполуки корунду Al_2O_3 і герциніту $FeO \cdot Al_2O_3$. Ступінь видалення герциніту з розплаву значно нижчий через високу адгезію до розплаву. Також варто зазначити, що включення $FeO \cdot Al_2O_3$, які найважче видаляються, утворюються в умовах розкислення переокисленого металу алюмінієм.

Розрахунковими методами було визначено залежність мінімального вмісту алюмінію в сталі, вище за який відбуватиметься утворення твердих включень, від окисленості металу (рис. 1.9). Повне виключення зі схеми розкислення алюмінію забезпечує нейтралізацію утворення герцинітних і корундових включень. При введенні алюмінію в розплав його кількість не повинна перевищувати критичну, що визначається залежністю на рис. 1.9.

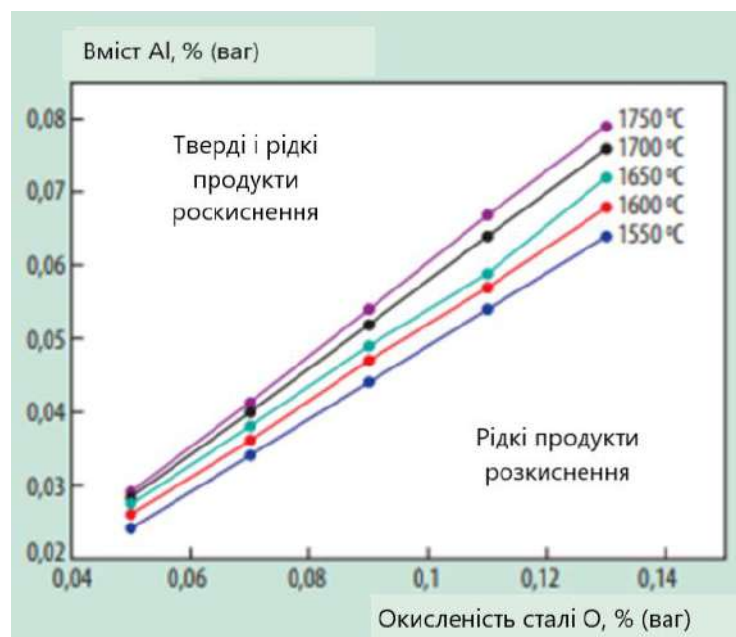


Рис. 1.9. Залежність мінімальної кількості алюмінію, що забезпечує утворення твердих сполук системи $FeO-Al_2O_3$, від окиснення металу

Важливим фактором, що визначає переважний тип неметалевих включень, які формуються під час модифікування сталі, є співвідношення між вмістом алюмінію і кальцію в сталі. Як було показано раніше [16], згідно з

результатами термодинамічного моделювання, в поточних виробничих умовах під час обробки сталі кальцієм рівноважним типом включень є біалюмінат кальцію $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$.

Для поліпшення морфології утворених включень і збільшення ступеня їхнього видалення з рідкого розплаву потрібно підвищити кількісне співвідношення кальцію, що вводиться, до алюмінію.

Також одним із значущих параметрів технології позапічної обробки є інтервал часу між присадками алюмінію і кальцію в розплав. Чим цей інтервал більший, тим більшою мірою розвиваються процеси зростання і коагуляції несприятливих твердих алюмінійвмісних неметалевих включень.

Чим швидше здійснюється введення кальцію після алюмінію, тим швидше й ефективніше відбуваються процеси модифікування наявних у металі включень і подальшого їх видалення. Це пояснюється тим, що до моменту введення силікокальцію серцевина Al_2O_3 не досягає значних розмірів, і тим швидше здійснюється її перекристалізація через рідку фазу, тобто час досягнення рівноважного складу включень знижується [16].

Важливе значення для забрудненості сталі включеннями відіграє різниця між загальним часом, що минув від моменту випуску металу з конвертера до початку розливання сталі $T_{\text{заг}}$, і сумарним часом обробки металу на окремих стадіях позапічної обробки $T_{\text{обр}}$ - умовно час «простоїв» ($T_{\text{заг}} - T_{\text{обр}}$), тобто час, протягом якого здійснювалась взаємодія футерування ковша без активного перемішування розплаву.

Чим більший час «простоїв», тим вища ймовірність потрапляння в розплав екзогенних і ендоекзогенних магнійвмісних включень (MgO , $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$).

Як було показано раніше, через вторинне окислення забрудненість сталі на стадії розливання може значно зрости. При цьому важливими факторами, що визначають захист струменя рідкого металу від впливу атмосфери, є інтенсивності його продувки аргоном на проміжках «сталерозливний ківш - проміжний ківш» і «проміжний ківш - кристалізатор».

Виявлення та аналіз критичних параметрів, що визначають забрудненість сталі неметалевими включеннями, дали змогу розробити технологічні рекомендації, спрямовані на оптимізацію технології. На основі цих рекомендацій сформувавши робочий план з виплавки дослідних плавки з використанням різних варіантів позапічної обробки.

У рамках цієї роботи було випробувано такі схеми обробки металу на випуску з конвертера:

- без використання алюмінію на випуску;
- з використанням алюмінію, кількість якого скорочено вдвічі порівняно з чинною технологією;
- з попереднім розкисленням металу марганцем і кремнієм перед введенням алюмінію;
- з використанням карбїду кальцію.

Остаточне розкислення сталі алюмінієм проводили за двома технологічними схемами:

- за стандартною заводською методикою (без регламентації необхідного часового інтервалу до введення кальцію);
- введення алюмінію здійснювали не більше ніж за 10 хв до добавки кальцієвмісних матеріалів.

У підсумку було регламентовано кількість алюмінію і кальцію, що додаються, на позапічній обробці, скориговані інтенсивності продувки аргоном на безперервному розливанні, вироблено обмеження щодо витримки сталі в ковші [17].

Найкращі результати щодо забрудненості сталі неметалевими включеннями показали дослідні плавки, виконані за такими варіантами:

- без використання Al на випуску, за стандартною заводською методикою (без регламентації необхідного часового інтервалу до введення кальцію);
- з попереднім розкисленням металу перед введенням Al на випуску з коротким інтервалом між введенням Al і Ca.

Середня забрудненість проб металу, відібраних з кристалізатора, становила 0,003 % (заг.) за першим варіантом і 0,0096 % (заг.) за другим варіантом, що помітно нижче забрудненості сталі, отриманої за старою технологією.

Зважаючи на технологічні складнощі, що виникають під час використання першого варіанта (неспокійний метал, небезпека переливів), було вирішено провести серію тестових плавок сталі 22ГЮ за другою технологією.

У трьох серіях було здійснено 25 тестових плавок без відхилень від вимог робочого плану. На 128 безперервнолитих заготовках після пластичної деформації визначили забрудненість сталі неметалевими включеннями. Результати металографічного аналізу показали, що 95 % готового прокату має забрудненість не більше другого бала за ГОСТом 1778-70 (метод Ш6). Таким чином, запропонована технологія позапічної обробки трубних марок сталі забезпечує необхідний рівень чистоти металу за неметалевими включеннями. За результатами проведеної роботи можна зробити такі основні висновки.

1) Досліджено еволюцію неметалевих включень, що утворюються під час позапічної обробки конвертерної сталі.

2) Визначено критичні параметри технології, що мають вирішальний вплив на забрудненість металу неметалевими включеннями.

3. Сформульовано технологічні рекомендації, що забезпечують забрудненість штрипса неметалевими включеннями не більше другого бала за ГОСТ 1778-70 (метод Ш6).

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Механізм очищення сталі від неметалевих включень у розкислених алюмінієм сталях

Під час первинної плавки вуглець, що міститься в чавунному розплаві, з якого буде згодом отримано сталь, випаюється шляхом продування цього розплаву киснем. При цьому вміст кисню в рідкому металі зростає відповідно до кривої Вахера - Гамільтона (рис. 2.1). Процес підтримують доти, доки загальний вміст вуглецю і кисню в розплаві змінюється відповідно до кривої, позначеної червоною стрілкою, на відрізку, що розташований вище рівноважної лінії. Наприкінці процесу продування вміст вуглецю в сталі зазвичай становить 0,03 %, а відповідний вміст кисню - приблизно від 700 до 1000 ppm (мільйонних часток). Під час кисневого продування залізо і низка інших хімічних елементів, таких як фосфор і марганець, які легко можуть бути редуковані, окислюються і переходять у шлак. Як правило, вміст оксидів заліза ($\text{Fe}^{2+},3+$) у конвертерній (BOF) або дуговій сталеплавильній печі (EAF) становить від 15 до 30 % залежно від параметрів процесу. При цьому кількість кисню в сталерозливному ковші залежить головним чином від вмісту кисню або активних кисневих з'єднань у сталі після продування, кількості пічного шлаку, що потрапив у ківш, і вмісту оксиду заліза в пічному шлаку.

Для того щоб вийшла сталь вищої якості, вміст кисню в сталерозливному ковші, а отже, і підсумковий вміст неметалевих включень у виплавленій сталі мають бути на низькому рівні.

Неметалеві включення утворюються насамперед під час процесу розкислення (дезоксидації) розплавленої сталі. Крім цього, під час позапічної обробки (особливо під час обробки сталей, розкислених алюмінієм) у розплаві формуються додаткові неметалеві включення.

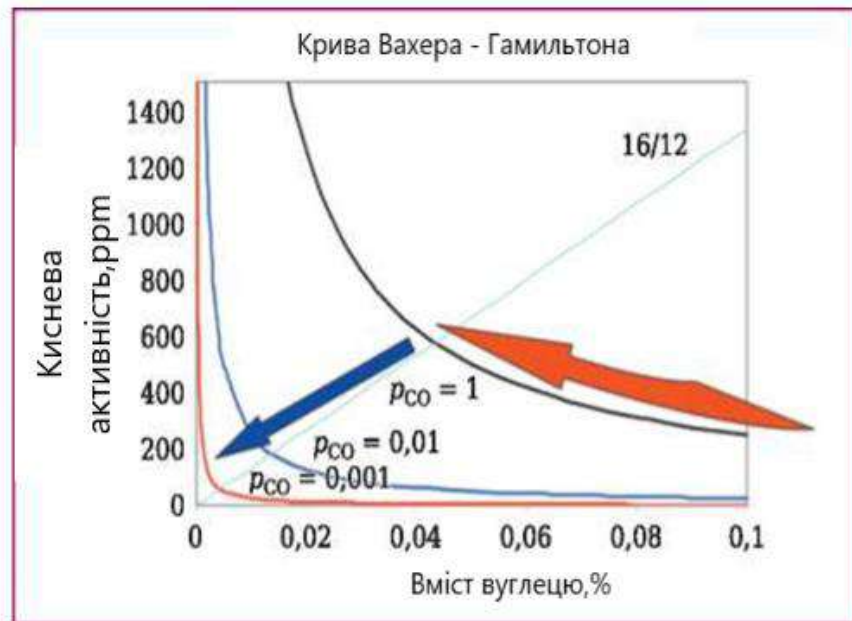


Рис. 2.1. Зміна вмісту вуглецю і кисню в розплаві сталі під час його продування киснем, парціальний тиск CO на кривих вказано в барах

Алюміній, що міститься в розплавленій сталі, вступає в реакцію з оксидами, що виділяються з вогнетривкої футеровки, а також з оксидами, які містяться в надповерхневих шлаках. У результаті цих реакцій виникають різноманітні неметалічні сполуки. Осаджуючись у розплавленій сталі, неметалеві сполуки, що утворилися в процесі розкислення, чинять негативний вплив на весь процес ковшової обробки сталі. Вони створюють так звані відкладення сталепроводки і в кінцевому підсумку погіршують якість одержуваного продукту. Як показує практика, за певних умов утворювати відкладення може навіть розплав корозійностійкої сталі марки CleanSteel.

Існують різні способи запобігання формуванню додаткових неметалевих включень у виплавленій сталі залежно від її марки. Класифікація марок сталі, які отримують під час ковшової обробки розплаву, представлена на рис. 2.2. Насамперед марки сталі поділяються на зневуглецьовані вакуумуванням, як, наприклад, особливо низьковуглецеві сорти ULC/IF, і незневуглецьовані (ті, що не пройшли процесу декарбонізації).

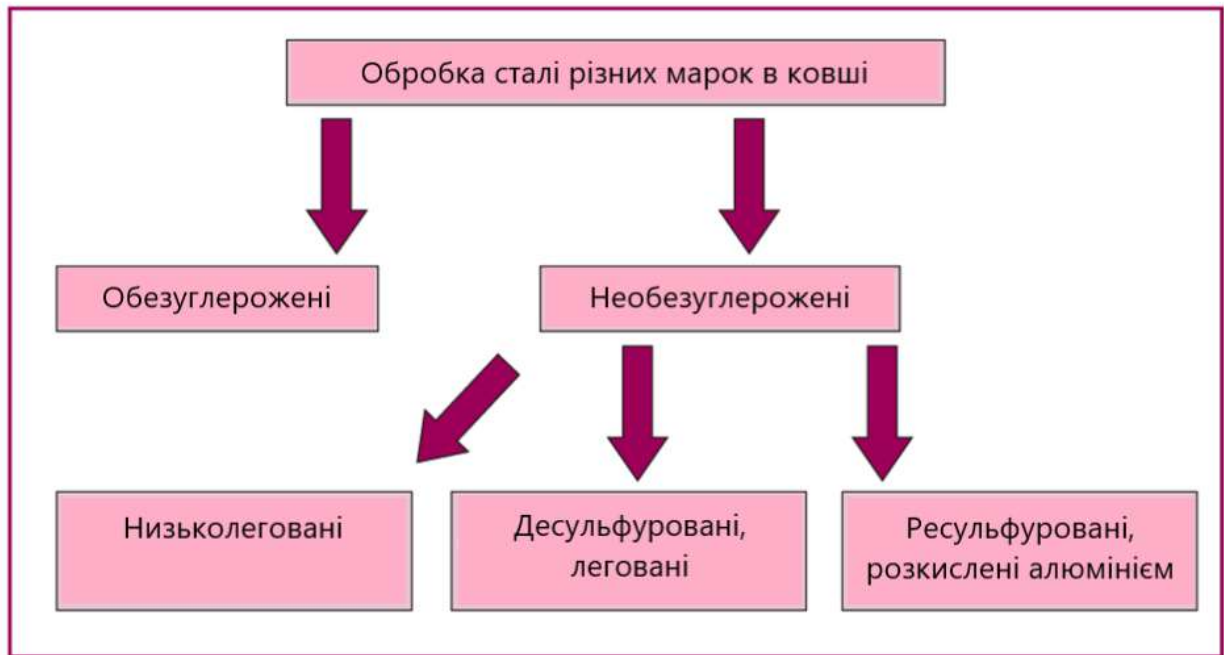


Рис. 2.2 Класифікація марок сталі

Необезвуглецьовані марки сталі можна умовно поділити на три підгрупи: низьколеговані (низьковуглецеві), десульфуровані леговані та ресульфуровані.

Для різних марок сталі, представлених на рис. 2.2, необхідно безпосередньо після відкриття льотки та випуску металу з печі застосовувати різні технології позапічної обробки (очищення), що здійснюється в сталерозливних ковшах. Далі розглянемо технології ковшової обробки різних сортів сталі з точки зору їх розкислення (регулювання вмісту в них кисню).

СОРТИ СТАЛІ ULC/IF

Розплавлену сталь, яка має пройти процес зневуглецювання, до її обробки у вакууматорі не слід піддавати попередній дезоксидації. Під час вакуумної обробки розплаву без його попереднього розкислення відбувається вигорання вуглецю. На рис. 2.1 видно, що при цьому його вміст у рідкій сталі наближається до прямої лінії, що представляє стехіометрію CO у співвідношенні 12:16.

Навіть без кисневого продування під час вакуумного зневуглецювання сталі в ній фактично відбувається більш плавний процес зміни співвідношення

загального вмісту вуглецю і кисню, ніж слід було б очікувати від стехіометрії. Причина цього - пічний шлак, що потрапив у ківш під час випуску розплаву [18,19]. Поряд з киснем, розчиненим у сталі, оксид заліза з пічного шлаку, що потрапив у ківш, також виступає реагентом процесу вакуумної декарбонізації, сприяючи вигоранню вуглецю з утворенням чадного газу (газоподібного монооксиду вуглецю).

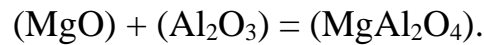
Під час вакуумного зневуглецювання відбувається часткове видалення з розплаву розчиненого в ньому кисню. Інакше кажучи - у процесі зневуглецювання сталі, одночасно відбувається і її дезоксидація. Таким чином, початкова проблема видалення розчиненого в розплавленій сталі кисню в якійсь мірі вирішується автоматично вже під час її ковшової обробки. На наступному етапі (після вакуумного зневуглецювання) сталь має бути розкислена, тобто кисень, що залишився в ній, має бути видалений шляхом його хімічного зв'язування такими речовинами, як алюміній, кремній і марганець. При цьому в сталі утворюються металеві оксидні включення.

Оскільки початковий вміст вільного кисню в сталі та зв'язаного кисню у вигляді оксиду заліза в шлаку в сталерозливному ковші вже було редуковано під час вакуумного зневуглецювання, кількість реагентів, необхідних для розкислення, наприклад, алюмінію, теж знижується. Кількість небажаних неметалевих включень оксиду алюмінію в сталі, які осідають і видаляються під час її розкислення алюмінієм, можна розрахувати за таким рівнянням реакції [20]:



При цьому алюміній і кисень видаляються з розплаву одночасно. Крім того, обсяги додаткового вигорання алюмінію під час контакту з навколишньою атмосферою можуть бути зменшені, якщо подавати його в ківш не у вигляді алюмінієвих брусків, а у вигляді алюмінієвого дроту.

Оксид алюмінію Al_2O_3 , що утворюється в сталі, може вступати в реакцію з MgO з вогнетривкої футерівки або зі шлаку, що знаходиться в сталерозливному ковші, з утворенням шпінелі $MgAl_2O_4$:



Ступінь значущості цієї реакції залежить від базисних умов ковшової обробки, наприклад від її тривалості.

Неметалеві включення частково розпадаються і спливають у поверхневий шлак, а частково залишаються в рідкій сталі. Неметалеві включення, що залишаються, складаються в основному з оксидів алюмінію і магнію, чинять негативний вплив на чистоту виробленої сталі. Ба більше, вони тверднуть у занурюваних сталерозливних склянках і під час безперервного розливання заготовок утворюють відкладення.

Зазвичай вміст кремнію в сортах сталі ULC/IF перебуває на мінімальних рівнях. З цієї причини ці сталі не можна обробляти силіцидом кальцію, що могло б сприяти перетворенню твердих неметалевих включень на рідини і цим запобігати утворенню відкладень. На практиці в разі необхідності перетворення оксидів у рідкий стан ця операція проводиться або шляхом додавання в розплав чистого кальцію, або шляхом обробки рідкої сталі сполукою $CaFe$. Зазвичай на завершальному етапі ковшової обробки сталі проводять її «м'яке» барботування, під час якого більша частина неметалевих включень виводиться на поверхню рідкого металу і потім видаляється. При цьому запобігання утворенню відкладень здійснюється шляхом продування розплаву аргоном.

Сорти сталі, не незвуглерожені у вакууматорах

Дезоксидація (розкислення) сортів сталі, які не пройшли зневуглецювання у вакууматорах, зазвичай проводять під час випуску розплаву через льотковий отвір. У цих (що не пройшли вакуумної обробки) сталях початковий вміст кисню вищий, ніж у сталях, що пройшли попередню

вакуумну обробку. Через це для їхньої дезоксидації потрібні великі кількості розкислювальних реагентів. Відповідно, під час розкислення таких сталей у них осідають великі кількості неметалевих сполук. Внаслідок цього під час випуску розплавів таких марок сталі з печі в ківш необхідно приділяти найсерйознішу увагу запобіганню потрапляння в ківш разом із розплавленою сталлю пічного шлаку.

Отже, єдине, що об'єднує технології позапічної обробки трьох вищевказаних підгруп сортів сталі, - це спільна для всіх них вимога мінімізації потрапляння в ківш пічних шлаків.

Низьковуглецеві сорти низьколегованої сталі

Через те, що в ці сорти сталі додають невеликі кількості легуючих елементів, сам процес легування займає відносно невеликий проміжок часу. Найчастіше в ківш додають тільки алюміній, зв'язувальна здатність якого щодо кисню й азоту досить висока [21]. У разі якщо алюміній буде додано в розплав на ранній стадії його випуску, то його концентрація в рідкій сталі тимчасово підніметься до дуже високих значень. При цьому розплав буде прагнути увібрати в себе кисень і азот з навколишнього повітря. З цієї причини рекомендується додавати в розплав алюміній на пізньому етапі випуску плавки. Шлакоутворювальні матеріали, навпаки, необхідно додавати в розплав безпосередньо після відкриття льотки. При цьому відразу ж почнеться швидке утворення поверхневих розплавлених шлаків, які вже на ранньому етапі ковшового оброблення почнуть абсорбувати розчинені в рідкій сталі неметалеві включення.

Пізніше додавання алюмінію передбачає проведення попередньої дезоксидації сталі, переважно шляхом додавання в розплав вуглецю. На відміну від металевого розкислення, коли в ківш засипають ті чи інші металеві реагенти, під час додавання вуглецю він вигоряє з утворенням чадного газу і випаровується, не залишаючи в сталі навіть слідів. При цьому, щоб досягти ефективного попереднього розкислення, вуглець слід додавати в розплав постійно і рівномірно. Однак перед початком засипання в ківш алюмінію,

попереднє розкислення сталі вуглецем має бути припинене, щоб запобігти небажаним реакціям алюмінію з вуглецем.

Попередня дезоксидація розплаву вуглецем дає змогу знизити кількість алюмінію, що додається на наступному етапі ковшової обробки для завершення процесу розкислення. При цьому знижується кількість неметалевих включень, що утворюються в сталі. Як і під час розливання особливо низьковуглецевих сортів сталі (ULC/IF), неметалеві включення, що утворюються під час ковшового розкислення низьколегованих низьковуглецевих сталей і містять алюміній, можуть потім перетворюватися на шпінель.

Вміст кремнію в низьковуглецевих сталях, як і в сталях ULC/IF, часто може бути дуже низьким. З цієї причини обробка розплаву силіцидом кальцію стає неможливою, а утворенню відкладень може запобігти продування рідкого металу аргоном.

Зазвичай пічний шлак потрапляє в ківш наприкінці випуску сталі, після того як попереднє розкислення вже закінчено. З цієї причини вплинути на вміст у шлаку оксиду заліза (і тим паче істотно його знизити) під час попереднього розкислення неможливо. У зв'язку з цим треба зазначити, що потрапляння пічного шлаку в ківш під час розливання низьковуглецевих сортів сталі чинить ще більш негативний вплив на якість продукту, ніж навіть під час розливання особливо низьковуглецевих сортів сталі. І це - незважаючи на попереднє розкислення низьковуглецевої сталі.

Оксиди заліза і марганцю, що залишаються в ковшовому шлаку, є постійним джерелом окислювальної активності, що веде до реоксидації вже розкисленої сталі. У результаті під час ковшової обробки може знадобитися додаткове додавання в розплав алюмінію. Це, своєю чергою, веде до формування додаткових включень у вигляді сполук алюмінію. Шанси того, що ці включення спливають на поверхню невеликі. У результаті може відбуватися серйозне заростання стакану. Найчастіше процес розливання вдається підтримувати шляхом збільшення інтенсивності продування рідкого металу

аргоном, здійснюваного через стрижень стопора. При цьому неметалеві відкладення, що осіли в занурюваній сталерозливній склянці (SEN), видуваються з неї і тверднуть у слябі, що кристалізується. Крім того, при зростанні швидкості аргонного потоку в кристалізаторі активізуються турбулентні процеси, які можуть сприяти тому, що частинки порошкової шлакоутворювальної суміші (ШУС), яка знаходиться в кристалізаторі, можуть бути захоплені турбулентними потоками і в результаті залишитися всередині розплаву на додачу до неметалевих включень з'єднань алюмінію та шпінелі, які утворилися під час ковшового оброблення.

Леговані та десульфуровані сталі

Десульфуріяція розкислених алюмінієм сталей у ковші зазвичай відбувається відповідно до таких рівнянь реакцій між сталлю і шлаком [20]:

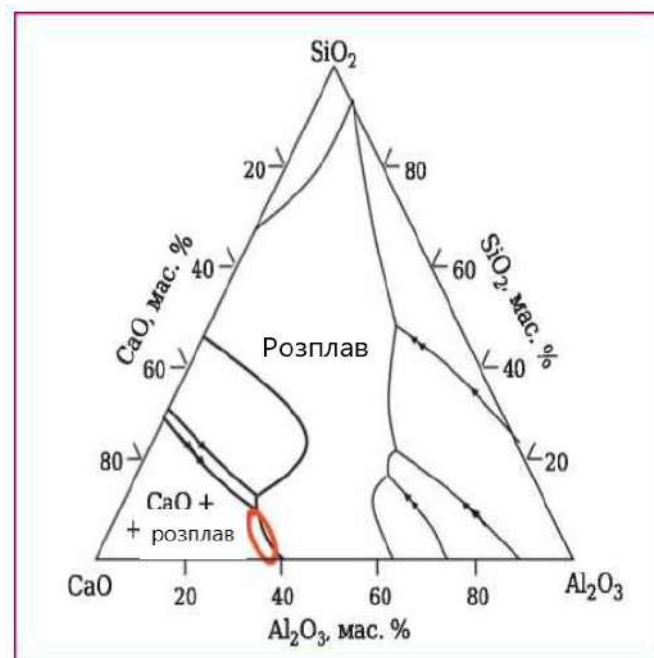
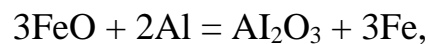
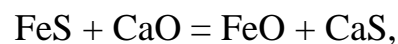
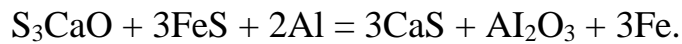


Рис. 2.3. Насичення сталі CaO в трійковому обчисленні в системі CaO-Al₂O₃-SiO₂



Із цих рівнянь можна зробити висновок, що для ефективної десульфурації мають бути виконані дві попередні умови:

1. активність CaO, що міститься в шлаку, має бути настільки високою, наскільки це можливо, тобто шлак сталерозливного ковша має бути насичений CaO, як це показано на рис. 2.3.

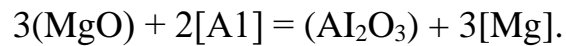
2. Вміст оксиду заліза й активність кисню в розплавленій сталі мають бути настільки низькими, наскільки це можливо, і, відповідно, вміст у ній алюмінію має бути максимально можливим.

Крім цього, в розплаві має відбуватися турбулентне перемішування сталі та шлаку, без чого неможливий нормальний розвиток реакції. Для того щоб домогтися формування під час випуску розплаву в сталерозливний ківш турбулентних потоків, на початковому етапі ковшового оброблення в розплав необхідно додати синтетичний шлак і легувальні присадки, зокрема алюміній. У разі раннього додавання алюмінію його вміст у рідкій сталі спочатку виявиться доволі високим. Цим уже на самому початку ковшової обробки будуть створені ідеальні початкові умови для ефективної десульфурації розплавленої сталі. Крім того, навіть під час розливання сталі у великі заготовки вже на етапі випуску розплаву в сталерозливний ківш буде забезпечено умови, що гарантують швидке і повне розчинення легуючих присадок.

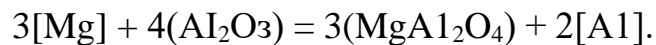
Під час хімічної реакції між сталлю і шлаком початкова частина оксиду алюмінію сформувалася в розплаві під час його дезоксидації. Далі, в процесі десульфурації рідкої сталі, в ній утворилася ще додаткова кількість оксиду алюмінію.

Ковшова обробка десульфурованих марок сталі проходить більш інтенсивно, ніж низьковуглецевих. За рахунок цього зростає кількість неметалевих включень, що виникли на основі сполук алюмінію, які перетворилися на шпінель. Особливо значна кількість цих включень

формується під час вакуумного очищення розкислених алюмінієм сталей відповідно до такого рівняння:



Вміст у розплаві MgO з вогнетривкої футеровки та (або) поверхневого шлаку знижується під час додавання в нього алюмінію. При цьому утворюються оксид алюмінію і металевий магній [15], який частково випаровується, а частково вступає в реакцію з оксидом алюмінію, що міститься в розплавленій сталі. У результаті утворюється шпінель:



Таким чином, саме сорти сталі з найбільш жорсткими вимогами по чистоті, такі як, наприклад, десульфурована і пройшла вакуумну дегазацію сталь для виготовлення труб, призначених для транспортування високосірчистого газу, виявляються найбільшою мірою забрудненими неметалевими включеннями, що утворилися в результаті різноманітних.

Температура плавлення включень, що складаються з сполук Al_2O_3 та (або) MgAl_2O_4 , перевищує 2000 °С. При проходженні цих твердих включень через сталерозливний стакан, що занурюється, утворюються значні тугоплавкі відкладення. Як правило, зазначені в специфікаціях дані щодо вмісту кремнію в легованих і десульфурованих марках сталі не мають нижніх обмежень. Це дає можливість застосовувати для очищення сталі силіцид кальцію.

При обробці сталі кальцієм твердий глинозем, що міститься в ній, перетворюється на рідкий оксид алюмінію [16]:



Відповідно до двофазної діаграми CaO-Al₂O₃ (рис. 2.4) глиноземисті включення починають переходити в рідку фазу тоді, коли вміст у них CaO, що входить до композиції CA₂ (2CaO-Al₂O₃), перевищує 21 %.

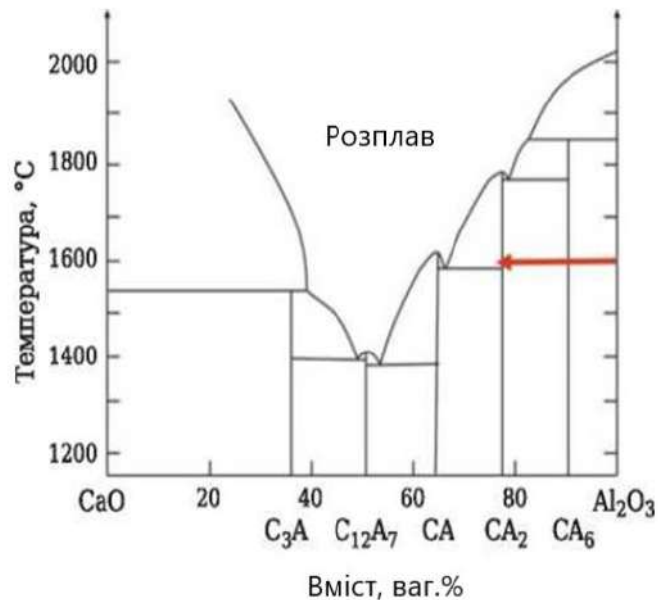


Рис. 2.4. Двофазна діаграма CaO-Al₂O₃

Процеси формування шпинельних включень можуть бути графічно відображені за допомогою троїчної діаграми CaO - Al₂O₃ - MgO, зображеної на рис. 2.5 [22]. Пунктирна лінія між MgAl₂O₄ і CaO показує теоретичну тенденцію утворення чистої шпинелі під дією кальцію при зміні його вмісту у бік насичення розплаву оксидом кальцію. При обробці кальцієм процес утворення в рідкій сталі шпинелі протікає відповідно до тенденції, позначеної червоною лінією, що бере свій початок від MgAl₂O₄ і розвивається у напрямку до рідкого стану.

Бінарна область шпинелі та рідини досягається негайно. На противагу цьому блакитна стрілка, що представляє динаміку процесу модифікації Al₂O₃ в ході обробки кальцієм, залишається в області твердого стану до тих пір, поки не буде досягнута композиція CA₂, що містить 21% Al₂O₃. Для запобігання відкладень не обов'язково, щоб всі неметалеві включення повністю перейшли

з рідкої фази в тверду. Утворення відкладень вдасться уникнути, якщо частка включень, що знаходяться в рідкому стані, перевищить 50%, оскільки композиції включень розташовані або в центрі бінарної області CaO + розплав, або в центрі бінарної області шпинель + розплав. У цьому передбачається, що модифікація шпинелі здійснюється легше, ніж модифікація оксиду алюмінію [22].

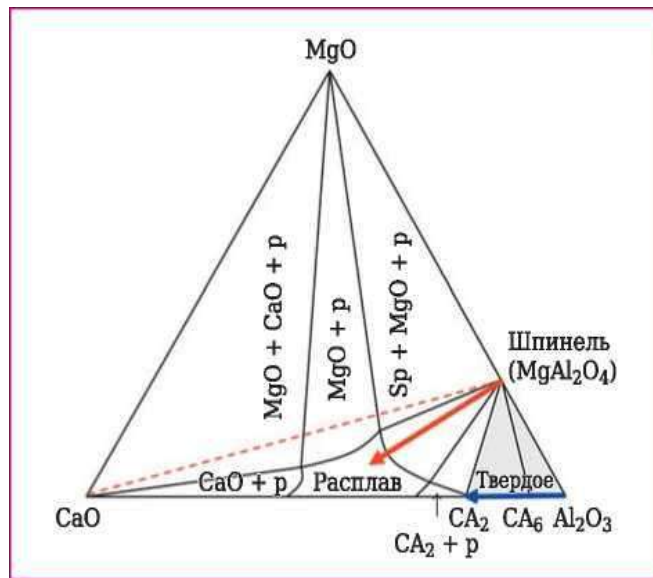


Рис. 2.5. Модифікація оксидів в системі $CaO-Al_2O_3-SiO_2$:

Sp — шпинель; p — розплав

Трикомпонентна система $Ca-Fe-Si$, зображена на рис. 2.6, і відповідний парціальний тиск кальцію сприяють кращому розумінню процесу очищення сталі силіцидом кальцію. У цій трикомпонентній системі існує розширена область незмішуваності, яка починається з двокомпонентної системи $Ca-Fe$ [23]. Після подачі в рідку сталь силіциду кальцію, що містить, наприклад, 40% кальцію, він переходить у рідкий стан. Рідкі краплі розчиняються в розплаві заліза до тих пір, поки його хімічний склад не досягне області незмішуваності в точці В. Далі рідкі краплі силіциду кальцію розпадаються на фази, багаті на залізо і кальцій. Як показано на верхній діаграмі рис. 2.6, при досягненні точки D фаза, багата кальцієм, випаровується, так як вміст у ній кальцію перевищує

80%. Щоб придушити випаровування кальцію феростатичним тиском, силіцид кальцію повинен подаватися глибоко в рідку сталь. Це можна здійснити за допомогою інжекційної фурми або установки для подачі в розплав дроту. Композиція фази, що відповідає точці D, представлена точкою E, що знаходиться недалеко від кута фази, багатого залізом (див. рис. 2.6, нижня діаграма). Таким чином, розчинна здатність заліза або сталі для кальцію екстремально низька.

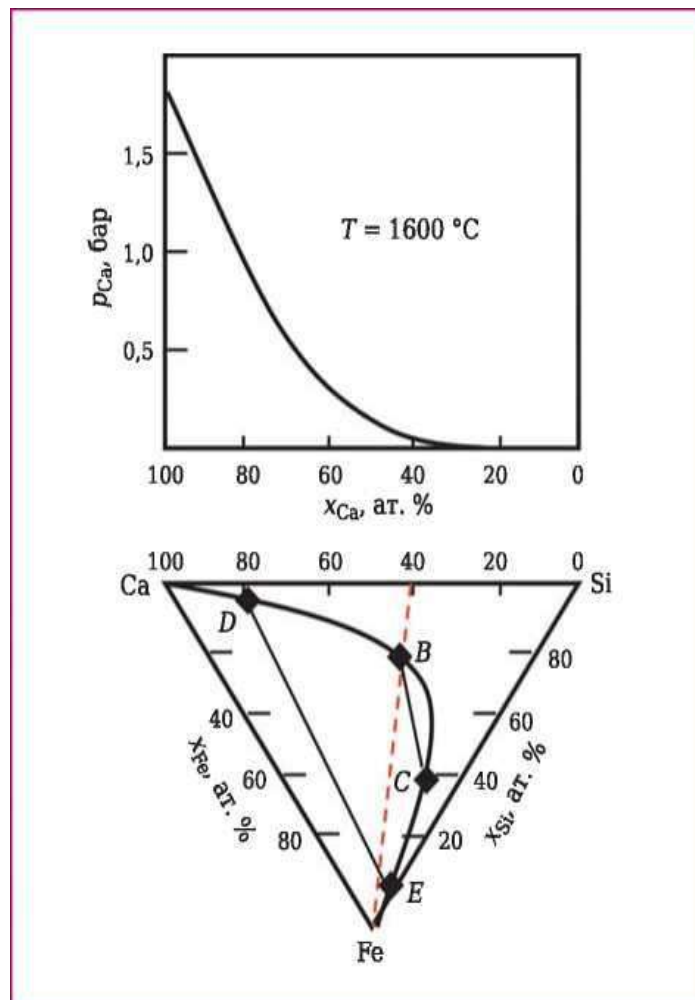


Рис. 2.6. Дисольюція, фазовий поділ та пароутворення (випаризація) кальцію

Випаровування кальцію викликає турбулентний потік у ковші. З цієї причини для гомогенізації сталі не потрібно додаткового перемішування

розплаву аргоном. Після проведення обробки сталі кальцієм навіть не рекомендується проводити м'яке барботування розплаву. Пухирці аргону захоплюють частинки кальцію, розчинені в рідкій сталі. Таким чином, кальцій видаляється з розплаву всередині спливаючих бульбашок аргону. Справді, бульбашки аргону захоплюють модифіковані включення і виводять їх у поверхню розплаву. Завдяки цьому кількість неметалевих включень до кінця процесу ковшової обробки сталі виявляється низькою. Однак незважаючи на це можуть утворюватися відкладення, особливо якщо вміст кальцію в розплаві невеликий.

На шляху від сталерозливного ковша через проміжний ківш до кристалізатора рідка сталь істотно остигає, її температура наближається до точки розрідження. Як показано на рис. 2.7, загальна розчинна здатність рідкої сталі для алюмінію та кисню знижується з зниженням температури. Неметалічні включення, що утворилися в ході вторинного розкиснення, складаються з чистого оксиду алюмінію.

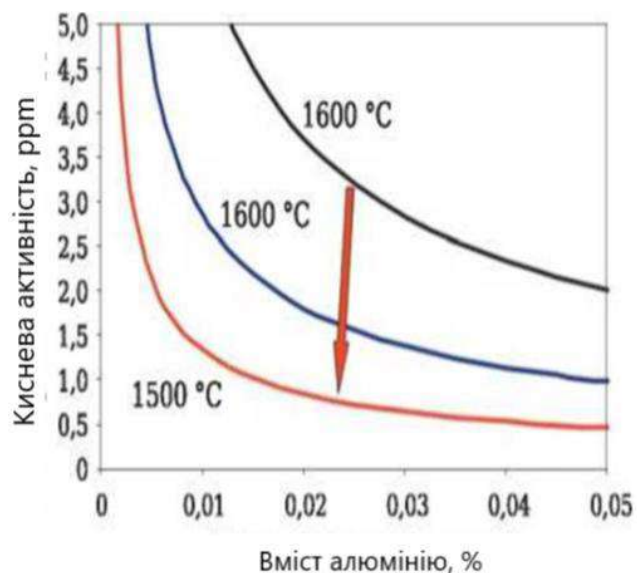


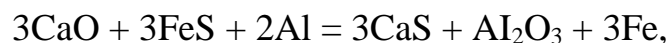
Рис. 2.7. Розчинюваність алюмінію та кисню в рідкій сталі за різної температури, вказаної на кривих

Додаткові неметалеві включення, що утворилися під впливом повітря, що проникає через шибєрний затвор і з'єднання між внутрішнім і занурюваним сталерозливними склянками, також складаються з оксиду алюмінію. Так як кількість неметалевих включень, модифікованих у фазу розчинених у розплавленій сталі рідких алюмінатів кальцію, а також вміст у розплаві кальцію до кінця процесу ковшової обробки сталі невеликий, то не існує потенційних можливостей для модифікації включень з оксиду алюмінію, що утворюються в результаті вторинної дезоксиду. Іншими словами, і модифіковані включення, і невеликі кількості металевого кальцію в сталі запобігають утворенню відкладень, що викликаються вторинним розкисленням і повторним окисленням сталевого розплаву. Виходячи з цього, стратегія очищення сталі повинна бути наступною: неметалеві включення повинні бути максимально можливою мірою виведені на поверхню розплаву і видалені звідти до того, як буде проводитися очищення сталі кальцієм при м'якому барботировании. Після завершення обробки сталі кальцієм проводити подальше м'яке барботування не рекомендується.

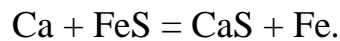
Після завершення обробки сталі кальцієм у неї слід запровадити необхідну кількість титану. Це гарантує, що сталь повністю розкислена і кількість оксиду титану, що утворився після його додавання, мінімально. Інакше TiO_2 , що осів у рідкій сталі, під час обробки її кальцієм може перетворитися на перовскіт $CaTiO_3$. Так як його точка плавлення $1970^\circ C$, перовскіт, змішуючись у кристалізаторі з порошковим шлаком, може призвести до аварійної ситуації.

Резульфуровані сталі

Як правило, сталі з регульованим вмістом сірки попередньо проходять розкислення алюмінієм відповідно до реакції



у ході десульфурації утворюється оксид алюмінію. Для того щоб тримати кількість включень оксиду алюмінію на низькому рівні, не рекомендується проводити десульфурацію. З іншого боку, слід підкреслити, що під час наступної модифікації оксиду кальцію одночасно може відбуватися і десульфурація. Рівняння цієї реакції виглядає наступним чином:



Спочатку підвищений вміст сірки поряд з подачею в розплавлену сталь збільшеної кількості кальцію стимулюють перебіг реакції. Існує небезпека виникнення поряд із відкладеннями оксиду алюмінію відкладень CaS. Перші утворюються, як правило, коли перед обробкою розплаву кальцієм проводиться його попередня десульфурація. Другі виникають, коли перед кальцинуванням десульфурація не проводиться. Як показано на рис. 2.8, щоб розливання сталі відбувалося без утворення відкладень, важливо не тільки підтримувати необхідні хімічний склад і температуру розплаву, але і відшукати правильне «віконце» (режим) для формування неметалевих включень. Друге особливо важливо при розливанні сталі ресульфурованих сортів.

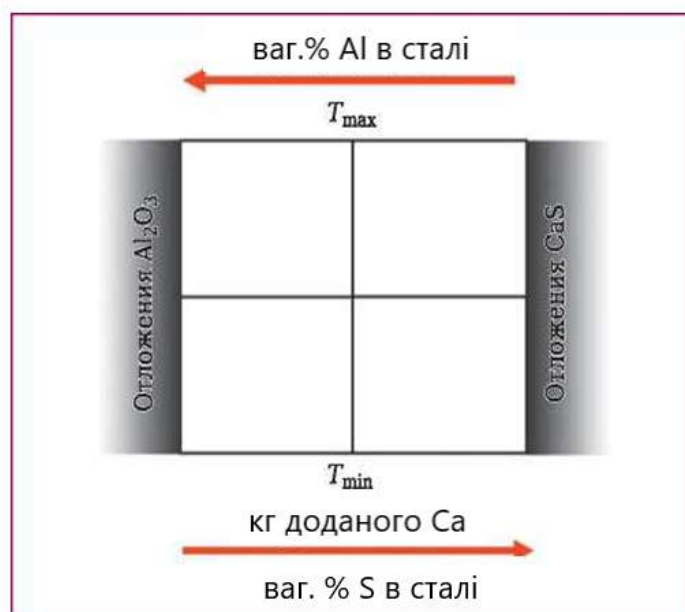


Рис. 2.8. Умови виникнення відкладень з Al_2O_3 і CaS

У будь-якому випадку регулювання вмісту в розплаві сірки повинно проводитися після обробки кальцієм. Тоді вміст алюмінію в рідкій сталі наближається до нижньої межі, зазначеної в специфікації області допустимих значень, і для запобігання утворенню відкладень на основі алюмінію в розплав потрібно додавати невеликі кількості кальцію. За цих умов формування накладень CaS протікає в помірному темпі.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

Під охороною праці прийнято розуміти сукупність заходів санітарно-гігієнічного, технічного, а також юридичного характеру, головною метою яких є збереження життя і здоров'я людини під час виконання нею своїх службових обов'язків шляхом створення належних умов праці. Метою законодавчої та виконавчої влади в державі є турбота про працівників, запобігання виробничим травмам, а також забезпечення утримання на лікування професійних захворювань.

Охорона праці в металургії Нормативи з охорони праці прописані в Правилах трудового розпорядку, які є внутрішнім документом на кожному підприємстві, і повинні бути узгоджені з представниками профспілки.

Прийняті на державному рівні норми з охорони праці включають загальні міжгалузеві та галузеві правила.

Зокрема, загальні правила містять вимоги, які є обов'язковими для виконання на всіх без винятку підприємствах промисловості, наприклад, санітарні норми проектування.

Поняття пожежна безпека означає стан об'єкта, при якому виключається можливість пожежі. У разі виникнення пожежі в першу чергу необхідно запобігти її впливу на людей і забезпечити захист матеріальних цінностей, що знаходяться в зоні горіння або поблизу від неї [24].

Організація робіт з пожежної безпеки повинна включати [24]:

- розробку та впровадження системи управління пожежною безпекою відповідно до вимог керівних документів;
- загальне керівництво та контроль за станом пожежної безпеки на підприємстві, контроль за дотриманням законодавчих та інших нормативних правових актів, вимог, правил та інструкцій з пожежної безпеки, контроль за виконанням службових обов'язків підлеглими;
- забезпечення пожежної безпеки при проведенні технологічних процесів, експлуатації обладнання, виробництві пожежонебезпечних робіт;

- встановлення та контроль за станом засобів контролю, оповіщення та пожежогасіння;
- організація розробки та забезпечення виділення фінансових коштів на реалізацію заходів щодо забезпечення пожежної безпеки;
- проведення навчання та інструктажу працівників підприємства з пожежної безпеки;
- забезпечення електробезпеки підприємства.

Робота на металургійному підприємстві пов'язана з виробництвом сталі, а це складне і небезпечне виробництво, пов'язане з високими температурами і високою пожежонебезпекою, тому питання пожежної безпеки для цієї галузі має пріоритетне значення. Далі розглянемо можливі ризики виникнення пожеж за галузями металургійного виробництва.

Агломераційне виробництво. У технологічному процесі агломераційного виробництва застосовуються кокс, коксовий дріб, антрацитовий штиб, які є горючими речовинами, тому ділянки, на яких вони обробляються, відносяться до категорії пожежонебезпечних об'єктів. Крім цього, в агломераційних цехах для змащення механічного обладнання, розташовані в окремих приміщеннях, станції централізованого автоматичного змащення становлять пожежну небезпеку. Ділянки, пов'язані з дробленням палива, є вибухопожежонебезпечними, оскільки при подрібненні виділяються вибухонебезпечні пили. Вибухи пилу супроводжуються виникненням великого тиску (до 10 кг/см²) [24].

Коксохімічне виробництво. Одне з найбільш вибухопожежонебезпечних на металургійному підприємстві. До його складу входять: ділянки вугледготовки, коксосортування, завантаження шихти в коксовий піч і видачі шихти, основними небезпеками яких є пил і коксовий газ. Легкозаймистий коксовий газ являє собою механічну суміш різних газів і парів, що містить до 60% водню, до 25% метану, до 5% оксиду вуглецю, 2% різних більш складних вуглеводнів, а також інертні гази. [24] Підвищену пожежну небезпеку в коксохімічному виробництві становлять стрічкові

транспортери, приховані в протяжних транспортерних галереях, по яких подається вугілля, шихта, кокс. Галереї мають горючу транспортерну стрічку довжиною до декількох сотень метрів, по якій проходить нагрітий до 150°C кокс і де створюється постійна тяга повітря, що швидко поширює вогонь.

Доменне виробництво. Вибухопожежонебезпечний виробничий об'єкт, на якому використовуються, утворюються, транспортуються горючі та легкозаймисті речовини – рідини, гази, пил, здатні самозайматися, а також займатися від джерела запалювання і самостійно горіти після його видалення. Причинами виникнення вибухів і пожеж в доменних цехах є вибухи газів і вибухи внаслідок зустрічі рідкого чавуну або шлаку з водою або вологими матеріалами. Установки для вдування вугільного пилу вибухонебезпечні; таку ж небезпеку становлять відділення кульових млинів, де готують пил, а також розподільно-дозувальні відділення.

Сталеплавильне виробництво. У конвертерному і сталеплавильному виробництвах металургійного підприємства використовуються речовини і матеріали в гарячому, розпеченому і розплавленому станах, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор і полум'я. У киснево-конвертерних цехах вибухи і викиди рідкого металу можуть відбуватися в результаті завантаження вологої шихти і металобрухту. Після завантаження шихти в конвертери проводиться заливка чавуну і чим більше вологи буде в шихті, тим більшим буде викид розплавленого металу. Викиди рідкого металу можуть відбуватися також у разі, коли в рідкий метал вводять вологі розкислювачі та легуючі матеріали. Крім небезпеки викиду рідкого металу, існує небезпека прогорання футеровки сталеплавильних агрегатів [4].

Пожежна небезпека сталеплавильних цехів також полягає в наявності великої кількості кабельних комунікацій, маслопідвалів і маслотунелів.

Певну пожежну небезпеку становлять машини безперервного лиття заготовок. Розрив гумових шлангів гідросистем з маслом призводить до потрапляння масла на розпечені сляби і миттєвого виникнення пожежі [24].

Таким чином, пожежна безпека підприємства повинна передбачати політику підприємства в галузі пожежної безпеки, організацію робіт з пожежної безпеки, обов'язки посадових осіб у галузі пожежної безпеки, обов'язки відповідальної особи за пожежну безпеку підприємства, обов'язки службовців і робітників; організацію протипожежної підготовки фахівців, службовців і робітників; основні вимоги пожежної безпеки.

ВИСНОВОК

У ході розкислення сталі алюмінієм в сталерозливному ковші відбуваються процеси формування відкладень, що утворюються на основі оксиду алюмінію. Ці неметалеві включення на наступних етапах ковшової обробки можуть перетворюватися на шпинель. Кількість алюмінію, яке необхідно додати в рідку сталь для її розкислення, залежить перш за все від кількості розчиненого в розплаві кисню і від вмісту оксиду заліза в пічному шлаку, що потрапляє в сталерозливний ківш у процесі випуску плавки. Аж до завершення ковшової обробки оксид заліза є потенційним джерелом небезпеки реакції очищеної сталі, а значить, і джерелом небезпеки утворення в ній додаткових неметалевих включень.

Існують різні технології запобігання формування додаткових неметалевих включень. Їх вибір залежить насамперед від марки розливається сталі. Для отримання якісного продукту необхідно забезпечити висновок неметалевих включень, що неминуче утворюються в розплаві, на його поверхню, звідки вони будуть видалені разом з поверхневим шлаком. При цьому знижується ступінь небезпеки формування заростання сталерозливної стакану, що занурюється. Залишкові неметалеві включення повинні бути перетворені та видалені в процесі обробки рідкої сталі кальцієм. Це дозволить забезпечити безперервність процесу розливання сталі в заготівлі.

У ході переміщення в проміжному ковші до кристалізатора сталь природним чином остигає. При цьому в уже очищеному розплаві активізуються процеси утворення додаткових неметалевих включень, що виникають в результаті вторинної дезоксидації рідкої сталі. Розчинений в ній у невеликих кількостях кальцій, а також неметалічні утворення, що знаходяться в рідкому стані, сприяють запобіганню заростання занурюваного сталерозливного стакану відкладеннями оксиду алюмінію. Тому кількість неметалевих включень у сталі має утримуватися на мінімальному рівні. Для цього до початку очищення розплаву кальцієм має бути проведено його м'яке

(повільне) барботування, в ході якого здійснюється виведення неметалевих речовин на поверхню рідкої сталі.

Крім того, щоб уникнути подальшого утворення шкідливих неметалевих включень, після обробки розплаву кальцієм в нього необхідно ввести певні легуючі присадки, такі, наприклад, як титан.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бельченко Г.И. Губенко С.И. Неметаллические включения и качество стали. К.: Техніка 1980. – 168 с.
2. Bale C. W., Chartrand P., Degterov S. A., Eriksson G., Hack K., Ben Mahfoud R., Melançon J., Pelton A. D., Petersen S. FactSage Thermochemical Software and Databases // *Calphad*. 2002. Vol. 26, N. 2. P. 189–228.
3. Yo-ichi Ito. Kinetics of Shape Control of Alumina Inclusions with Calcium Treatment in Line Pipe Steel for Sour Service // *Tetsu-toHagane*. 1996. Vol. 93. N. 5. P. 148–150.
4. Martín A., Brandaleze E. Study about downgrading variables by inclusionary cleanliness in the ladle furnace at ternium siderar // *Proceedings of the 7th International Conference on Clean steel*. 2007. P. 203–212.
5. Bannenberg, N. Secondary metallurgy for clean steel production by tank degassing / N. Bannenberg, H. Lachmund, B. Prothmann // *Proceedings 77th Steelmaking Conference, 1994, Chicago / Illinois*. — P. 135–143.
6. Jahnke, D. Improvement of castability and quality of continuously cast steel / D. Jahnke, M. A. Zhongting, P. Valentin, A. Heinen // *ISIJ International*. — 2000. — Vol. 40, ¹ 1. — P. 31–39.
7. Knüppel, H. Desoxidation und Vakuumbehandlung von Stahlschmelzen / H. Knüppel. — Düsseldorf: Verlag Stahleisen. 4. Bergmann, B. Schlackenführung und Schlackenop-
timierung in der Sekundärmetallurgie / B. Bergmann, N. Bannenberg // *Stahl und Eisen*. — 1991. — ¹ 111. — P. 125–132.
8. Pretorius, E. The effective modification of spinel inclusions by Ca treatment in LCAK steel / E. Pretorius, H. Oltmann, T. Cash // *Iron and Steel Technology*. — July 2010. — P. 31–44.
9. Bannenberg, N. Einstellen tiefer bzw. definierter Gehalte an Schwefel, Calcium, Sauerstoff Stickstoff Wasserstoff und Phosphor sowie deren Eigenschaften auf die Stahleigenschaften / N. Bannenberg, H. Lachmund, V. Schwinn, A. Streisselberger // *Vortrag auf dem XLVII. Berg- und Hüttenmännischem Tag am*

26.06.1996 in Freiberg Veröffentlichung im Tagungsband, Kolloquium 7, Hochleistungswerkstoffe. — S. 11–25.

10. Schürmann, E. Lösungs-, Entmischungs- und Verdampfungsverhalten von Calcium sowie von calciumreichen, silizium- und aluminiumhaltigen Legierungen bei der Behandlung von Eisenschmelzen / E. Schürmann, H. Litzerscheidt, P. Fünders // Arch. Eisenhüttenwesen. — 1975. — Bd 46, 1 10. — S. 619–622.

11. Губенко С.И., Парусов В.В., Деревянченко И.В. Неметаллические включения в стали. - Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2005. - 536 с.

12. Tassot P., Reichert N. Ways of Improving Steel Quality in the Tundish // Revue de Metallurgie. – 107. – 2010. - pp.175-185.

13. Смирнов А.Н., Куберский С.В., Штепан Е.В. Непрерывная разливка стали. - Донецк: Цифровая типография, 2011. – 482 с.

14. Rogler J. Modeling of inclusion removal in a tundish by gas bubbling. – Canada: Eng. Ryerson University, 2004. – 54 p.

15. Nguyen A.V., Ralston H.J., Schulze H.J. On modeling of bubble – particle attachment probability in flotation // International Journal of Mineral Processing. 1998. 53 (4). – P.225–249.

16. Nguyen A.V. Hydrodynamics of liquid flows around air bubbles in flotation // International Journal of Mineral Processing. 1999. 56 (1-4). – P.165 – 205.

17. Dobby G.S., Finch G.H. Particle size dependence in flotation derived from a fundamental model of the capture process // International Journal of Mineral Processing. 1987. № 21. – P.241 – 260.

18. Nguyen A. V., Shulze H.J. Probability of collision between particles and bubbles in flotation: The theoretical inertialess model involving a swarm of bubbles in pulp phase // International Journal of Mineral Processing. 1994. 40 (3-4). – p. 155 – 169.

19. Schulze H.J. Physico-Chemical elementary process in flotation, analysis from point of view of colloid science. – Amsterdam: Elsevier, 1984. – 348 p.

20. Barthel H., Hammerer W., Suppaner M. Segment Purging Plugs for Steel Treatment in Ladles // Taikabutsu – Refractories. 1998. 50. No3. – P.128-136.

21. Tassot P. Innovative concepts for steel ladle porous plugs // *Millenium Steel*. 2006. – P.111-115.
22. Hogbin Y., Shibata H., Suzuki M. Characteristics of agglomeration of various inclusion particles on molten steel surface. – *ISIJ International*. – Vol. 37. - № 10. – 1997. – p. 946 – 955.
23. Yogeshwar Sahai, Toshihiko Emi. *Tundish Technology for clean steel production* / The Ohio State University, USA; Institute of research of Iron and Steel, Jangsu/ Sha – Steel, China. – World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 2008. – 329 p.
24. Han Z. Mechanism of Iron Entrainment into Slag due to Rising Gas Bubbles / Z.Han, L.Holappa // *ISIJ International*.– 2003.– Vol.43.– No.3.– P.293-297.
25. Kundu A.L. Gupt K.M., P.Krishna Rao. Morphology of Nonmetallic Inclusions Using Silicon, Aluminum and Calcium-Silicon Alloy in Steel Melt // *Metallurgical Transaction B*. 1989. Vol. 20B. October. – P.581-594.

Звіт подібності

метадані

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Заголовок

Кургак Дмитро Володимирович

Автор

Науковий керівник / Експерт

Кургак Дмитро Володимирович Чупринів Є.В.

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Обсяг знайдених подібностей

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



25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

10913

Кількість слів

83196

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв	Ⓛ	6
Інтервали	A→	0
Мікропробіли	␣	0
Білі знаки	␣	0
Парафрази (SmartMarks)	↔	81

Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Копір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	https://studfile.net/preview/9178287/	92 0.84 %
2	https://moodle.znu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=307617	71 0.65 %
3	zb_2023_263_031 8/20/2024 O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv)	57 0.52 %

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

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

бакалавра

(бакалавра, бакалавра)

Студента(ки) КУРГАК ДМИТРА ВОЛОДИМИРОВИЧА

(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи ЗМЧМ-21

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра

(бакалавра, бакалавра)

Поліпшення якості та розливу металу шляхом удосконалення технології його розкислення при позапечній обробці

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	<u>65;</u>
таблиць	<u>-;</u>
схем і рисунків	<u>17;</u>
листів графічної частини (демонстраційного матеріалу)	<u>8.</u>

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра

(бакалавра, бакалавра)

В кваліфікаційній роботі розкрита досить актуальна тема сьогодення.

У ході розкислення сталі алюмінієм в сталерозливному ковші відбуваються процеси формування відкладень, що утворюються на основі оксиду алюмінію. Ці неметалеві включення на наступних етапах ковшової обробки можуть перетворюватися на шпинель, яка зумовлює утворення внутрішніх дефектів заготовки. Тому дуже важливо контролювати процеси розкислення та запобігати появі дефектів.

В основній частині кваліфікаційної роботи пропонується розчинення в сталі у невеликих кількостях кальцію, який сприяє запобіганню заростання занурюваного сталерозливного стакану відкладеннями оксиду алюмінію.

Для утримання неметалевих включень на мінімальному рівні, до початку очищення розплав кальцієм рекомендується провести його м'яке (повільне) барботування, вході якого здійснюється виведення неметалевих речовин на поверхню рідкої сталі.

Робота виконана в повному обсязі і представляє інтерес для фахівців металургійної галузі.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, бакалавра)

Суттєвих недоліків не виявлено, допущені деякі помилки в оформленні та можна було використати більше матеріалів українських джерел.

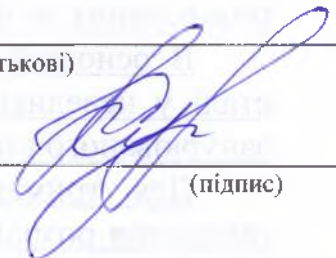
Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи бакалавра, ступінь самостійності виконання:
Кваліфікаційна робота на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти виконана в повному обсязі, своєчасно та відповідно до вимог.
Спеціальна та загальна підготовка здобувача задовільна.
Робота виконана самостійно та відповідно до затвердженого графіку.

Можливість використання кваліфікаційної роботи бакалавра
Результати роботи можна використовувати на українських підприємствах для отримання сталі високої чистоти.

Оцінка кваліфікаційної роботи Бакалавра «добре»

Керівник Сусло Наталія Валеріївна
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.т.н.
(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

« 10 » 06 2025 р.

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

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу _____ бакалавра
(бакалавра, магістра)

Студента(ки) Кургак Дмитра Володимировича
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи ЗМЧМ-21	
Тема кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
Поліпшення якості та розливу металу шляхом удосконалення технології його розкислення при позапечній обробці	
Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
Переваги кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
В кваліфікаційній роботі розглянута актуальна тема та запропановані економічно доцільні рекомендації по отриманню якісної сталі	
Недоліки кваліфікаційної роботи	бакалавра (бакалавра, магістра)
Рекомендації: Результати кваліфікаційної роботи можна використовувати на Металургійних підприємствах України.	
Рецензент	<i>Панченко Ганна Миколаївна</i> (прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.т.н.
(посада, науковий ступінь, вчене звання)


(підпис)

Д О В І Д К А
про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

- кваліфікаційної роботи;
- навчальної/наукової праці;
- наукових матеріалів

«Забезпечення якості та безпеки металургійного виробництва за допомогою програмно-технічних засобів» (назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Курман Дмитра Валерійовича
(ПІБ)
каф. металургійних технологій ННТУ
(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 65 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «Plagiatism».

Рівень оригінальності становить 91,01%.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

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

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до

захисту на засіданні
(подальшого розгляду, друку, опублікування тощо)
каф. Металургійних технологій
(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія тощо)

Державного університету економіки і технологій від
«12» 06 2025 р. протокол № 12.

Керівник підрозділу

[Підпис]
(підпис)

Ініціал, ПРІЗВИЩЕ

Дата 10.06.2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку студента-випускника

Кургак Дмитра Володимировича

(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Металургійних технологій

Спеціальність 136 – Металургія

(шифр, назва)

Тема кваліфікаційної
роботи бакалавра




Поліпшення якості та розливу металу шляхом
удосконалення технології його розкислення при
позапечній обробці

Керівник кваліфікаційної роботи:

доцент, к.т.н., Сусло Н.В.

(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту (роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітка
1	Аналітична частина	Сусло Н.В.	зараховано	10.06		
2	Основна частина	Сусло Н.В.	зараховано	10.06		
3	Охорона праці	Сусло Н.В.	зараховано	10.06		

Завідувач кафедри


(підпис)

Д.О. Кассім

(ініціали, прізвище)

« 10 » 06 2015 р.

Декларація
про дотримання академічної доброчесності під час
написання кваліфікаційної роботи
здобувачем вищої освіти
Державного університету економіки і технологій

Я, Курчак Дмитро Володимирович
студент(ка) / 1 курсу, групи ЗМ7.М21 Державного університету економіки і технологій розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) заборонену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

18.06.2024
(дата)

К (підпис) Курчак Д.В. (Ініціал, ПРІЗВИЩЕ)