

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії та організації виробництва

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП



Сергій СЕМІРЯГІН

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Металургія сталі»
за спеціальністю 136 Металургія

на тему «Дослідження впливу вмісту кисню в сталі після конвертерної плавки на ефективність застосування феросплавів»

Керівник роботи

Валерій Мамешин

Наставник від бази
практики

Валерій Косих

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач

Олег Веприк

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Євген Брагінець

Запоріжжя 2025

	ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет	<u>гірничо-металургійний</u>
Кафедра	<u>металургії та організації виробництва</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>136 Металургія</u>
ОПП	<u>Металургія сталі</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ
Гарант ОПП

Сергій СЕМІРЯГІН

25 грудня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Веприк Олег Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Дослідження впливу вмісту кисню в сталі після конвертерної плавки на ефективність застосування феросплавів»
керівник роботи к. т. н., доц. Мамешин Валерій Сеогійович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету №238/14.10.2024 від 14.10.2024 р.
2. Термін подання роботи 15.02.2025
3. Вихідні дані до роботи Навчальна, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики сталеплавильного виробництва, науково-технічні літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПрАТ «Камет-сталь» м. Кам'янське, результати власних досліджень.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналітичні дослідження основних варіантів проведення розкислення та легування сталі у сталеплавильних цехах 2. Статистичний аналіз впливу основних технологічних чинників на процес видалення розчиненого у металі кисню для умов конверторного цеху ПрАТ «Камет-сталь» м. Кам'янське . Визначення взаємозв'язків впливу параметрів металу та шлаку на засвоєння феросплавів при проведенні розкислення та легування на випуску з конвертора. 3. Охорона праці Оцінка небезпечних та шкідливих факторів в умовах киснево-конверторного цеху ПрАТ «Камет-сталь». 4. Розрахунки економічної доцільності запропонованих рішень. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 6 слайдів основної частини 1 слайд економічна частина

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Розділ 1	Мамешин В.С., доцент
Розділ 2	Мамешин В.С., доцент
Розділ 3	Мамешин В.С., доцент
Розділ 4	Латишева О.В., доцент

7. Дата видачі завдання 25.12.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Теоретичний розділ (Аналітично-пошуковий)	25.12.2024-03.01.2025
2	Розділ 2. Технологічний розділ	03.01.2025-23.01.2025
3	Розділ 3. Охорона праці	23.01.2025-26.01.2025
4	Розділ 4. Економічний розділ	26.01.2025-30.01.2025
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, автореферат	30.01.2025-03.02.2025
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	03.02.2025-05.02.2025
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	05.02.2025-15.02.2025
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	15.02.2025-20.02.2025

Здобувач



Олег ВЕПРИК

Керівник роботи

Валерій МАМЕШИН

АНОТАЦІЯ

Веприк Олег Олегович. Дослідження впливу вмісту кисню в сталі після конвертерної плавки на ефективність застосування феросплавів - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 136 Металургія, ОПП «Металургія сталі» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

Об'єкт розробки – технологія киснево-конверторного процесу в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

Мета роботи – визначення основних факторів, що впливають на технологічні показники розкислення та легування сталів умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

Метод дослідження та апаратура – теоретичні дослідження та статистична обробка паспортів виплавки та позапічної обробки сталі марки 5 ПСМ1 киснево-конвертерного цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» на ПЕОМ з використанням електронних таблиць Excel. Побудування гістограм частотного розподілу та графіків залежностей впливу основних чинників на показники процесу розкислення та легування сталі на випуску з кисневого конвертору та на агрегаті ківш-піч, їх аналіз.

Визначено залежності засвоєння марганцю та кремнію від технологічних факторів: вмісту вуглецю на випуску, окисленості шлаку, часу випуску металу та при позапічній обробці сталі на установці ківш піч. Отримані рівняння, що описують процеси засвоєння та угару феросплавів. Виконано оцінку надійності залежностей, що отримано.

За результатами роботи розроблено рекомендації, щодо вдосконалення технології розкислення сталі 5 ПСМ1 з мінімальними втратами феросплавів.

Розглянуті умови праці, основні шкідливості та небезпечності в умовах киснево-конвертерного цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

РОЗКИСЛЕННЯ, ФЕРОСПЛАВИ, СТАЛЬ, ПЛАВКА, КИСЕНЬ

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Завдання розкислювання сталі	7
1.2 Загальна характеристика існуючих методів розкислювання сталі	8
1.2.1 Осаджуюче (глибинне) розкислювання	8
1.2.2 Дифузійне розкислювання	10
1.2.3 Розкислювання у вакуумі	11
1.3 Основні засади осаджуючого розкислювання	12
1.4 Загальна характеристика напівспокійної сталі	15
1.5 Структура злитка напівспокійної марки сталі	16
1.6 Розкислення напівспокійної сталі марганцем та кремнієм	18
1.7 Розкислення напівспокійної сталі алюмініє	20
1.8 Дефекти напівспокійної сталі	24
1.9 Постановка задачі та шляхи дослідження	31
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	32
2.1 Матеріали, що використовуються для розкислення та легування в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»	32
2.2 Технологія розкислення та легування, що застосовується в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»	34
2.2.1 Технологія розкислення та легування сталі у ковші, на випуску з конвертору в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»	34
2.2.2 Технологія розкислення та легування сталі на установці ківш-піч в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»	39
2.3 Методика досліджень	41

2.4 Аналіз впливу основних технологічних чинників на засвоєння феросплавів на випуску для умов ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»	42
2.5 Аналіз впливу основних технологічних чинників на засвоєння феросплавів на установці ківш-піч для умов ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»	52
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	60
3.1 Охорона праці	60
3.1.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки	60
3.1.2 Заходи поліпшення умов праці	65
3.2 Захист навколишнього середовища	72
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	75
ВИСНОВКИ	81
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	84

ВСТУП

Жорстка криза, від якої протягом останніх років потерпають основні галузі економіки України, привела до того, що у 2021 році країна посіла лише 14 місце серед найбільших виробників сталі в світі [1].

Незважаючи на це, гірничо-металургійний комплекс країни продовжує вносити значний вклад у розвиток промисловості. Так у 2019 р. ГМК України забезпечив близько 12% ВВП, 26% валютних надходжень, більше 29 млрд грн відрахувань до бюджетів усіх рівнів. За рахунок ГМК виконано 35% усіх вантажних перевезень залізницею, 37% загального обсягу вантажів в морських портах, спожито 10,4% електроенергії, 13 % від загальної суми інвестицій у промисловості було зроблено в активи металургійних компаній [2].

В умовах жорсткої конкуренції на світовому ринку чорних металів особливого значення набувають питання витрат матеріальних ресурсів, які визначають техніко–економічні показники виробництва.

Розкислювання і легування є однією з основних операцій, що забезпечують якість сталі. Не дивлячись на невеликі витрати (на 1т. вуглецевій сталі – 8-12кг/т), феросплави грають значну роль в собівартості сталі, що пов'язано з їх високою ціною. Витрата феросплавів багато в чому визначається їх угаром. В деяких випадках значення чаду може бути дуже великим, наприклад, для алюмінію досягає 80-90%.

У зв'язку з цим, тема даної випускної кваліфікаційної роботи магістра, присвячена дослідженню засвоєння розкислювачів і легуючих та визначенню чинників, що впливають на угар феросплавів в умовах кисневі-конверторного цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» є актуальною.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

За будь-якого способу виробництва сталі (конвертерного, мартенівського, електросталеплавильного) на завершення плавки в металі залишається деяка кількість кисню. Його концентрація та активність до моменту випускання металу визначаються складом металу (насамперед вмістом вуглецю, причому максимальний вміст кисню досягається за низьких концентрацій вуглецю) і шлаку (переважно активністю оксидів феруму), температурою ванни і типом процесу.

1.1 Завдання розкислювання сталі

Розкислювання сталі вирішує задачу зменшення вмісту кисню, розчиненого в рідкому металі, до рівня, необхідного для даної марки сталі.

Цей кисень не може бути залишений в металі з ряду причин. При охолодженні навіть чистого сплаву заліза з киснем розчинність в нім кисню знижується, і він виділяється з розчину у вигляді дрібнодисперсної фази – включень (FeO) [3,4]. При охолодженні і кристалізації сталей, унаслідок ліквідації кисню і при зміні констант рівноваги процесів взаємодії кисню з розчиненими в сталі елементами, утворюються оксиди (CO , MnO , SiO_2 і так далі), які виділяються у вигляді фази газоподібної, твердої або рідкої фаз. Це приводить до утворення міхурів і пір в металі, або до надмірного забруднення металу оксидними включеннями [5].

Виділення кисню у вигляді оксидної фази при температурах плющення або кування може бути причиною поганої деформованості сталі в гарячому стані і її зниженій пластичності (особливо низькій ударній в'язкості). Щоб уникнути цього, необхідно зменшувати вміст

розчиненого в сталі кисню нижче межі його розчинності, навіть в металі, охолодженому до негативних температур (-30-40 °C) $\alpha - \text{Fe}$ [3]. Для усунення негативних наслідків присутності кисню сталь розкислюють.

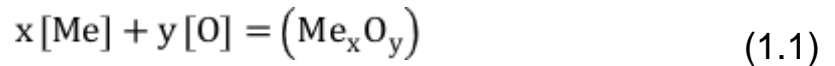
Таким чином, основними завданнями розкислювання є зниження в сталі вмісту розчиненого кисню до меж, що забезпечують потрібну поведінку металу при розливанні і кристалізації, коректування складу сталі за вмістом марганцю, кремнію і ін. елементів, а так само перетворення кисню у форму включень, які частково віддаляються з металу і найменш небезпечні для службових властивостей металу (механічних, корозійних і так далі) [6].

1.2 Загальна характеристика існуючих методів розкислювання сталі

У сучасному виробництві застосовують три способи розкислювання сталі: осаджуюче (глибинне), дифузійне (екстракція) і у вакуумі (в наслідок збільшення раскислительной здатності вуглецю).[7-12]

1.2.1 Осаджуюче (глибинне) розкислювання

Осаджуюче розкислювання полягає в тому, що розчинений в металі кисень міцно зв'язують у вигляді нерозчинних в металі хімічних сполук. Ці з'єднання, володіючи меншою, ніж розплавлений метал, щільністю, спливають в нім або (переважно) виносяться вгору конвекційними потоками металу. Відбувається відділення нової дисперсної фази, що нагадує утворення осаду в низькотемпературних хімічних процесах. У загальному спрощеному вигляді процес осаджуючого розкислювання записується реакцією:



Осаджуюче розкислення базується на хімічній спорідненості хімічних елементів до кисню.

Відмінність в хімічній спорідненості елементів до кисню пов'язана з природою атомів відповідних елементів: із збільшенням числа валентних електронів ізолюваного атома зменшується періодична міцність оксидів відповідних елементів. По зменшенню хімічної спорідненості до кисню елементи можуть бути розташовані в ряд (для 1600°C): La, Ca, Be, Th, Ce, Zr, Al, Mg, Li, Ge, Ti, Si, B, V, C, Ta, Mn, Cr, P, Fe, Co, Ni, Cu.

Однак стосовно розкислювання сталей і сплавів слід мати на увазі, що відбувається зміна періодичної активності елементів внаслідок їх взаємодії із залізом, або з іншою основою сплавів. Елементи по збільшенню розкислюючої здатності в системі Fe-O-X можна розташувати в наступний ряд: Cr, Mn, V, Nb, Si, Ta, B, Ti, Al, Sc, U, Zr, La, Y.[13]

Вплив елементів – розкислювачів на рівноважну концентрацію кисню в залізі при 1600°C ілюструється даними, приведеними на рис. 1.1 [14].

Висока розкислююча здатність Ca, Al, Mg, Zr, Ti і інших обумовлює необхідність враховувати їх вплив на процеси розкислення сталей і сплавів навіть у тому випадку, коли вони присутні у феросплавах в порівняно невеликих кількостях і їх вміст не обмовляється відповідними стандартами.

Як розкислювачі найчастіше застосовують марганець, кремній, алюміній і їх сплави, а так само лужноземельні (Ca, Ba) і РЗМ (Ce, La, Nd, Pr) метали і їх сплави з кремнієм і алюмінієм. Ці елементи є хорошими розкислювачами і десульфураторами. Особливо значна

роль ЩЗМ і РЗМ, як модифікаторів, що змінюють природу і властивості неметалічних включень (оксидних і сульфідних).

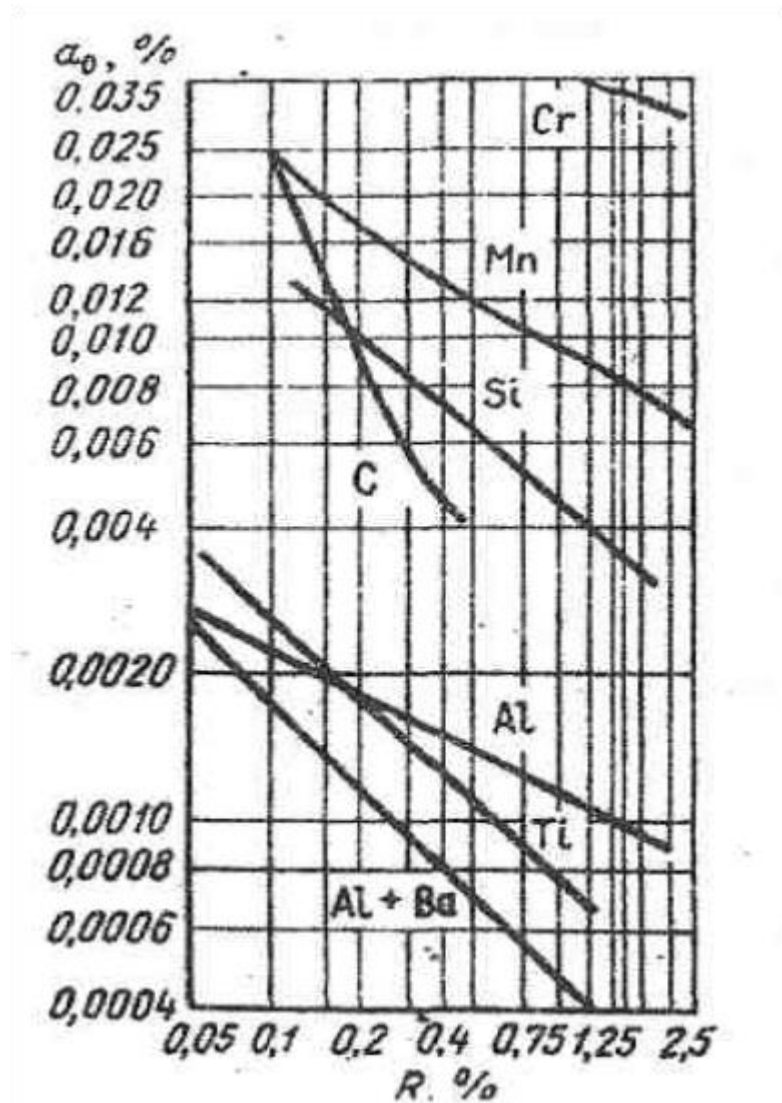


Рисунок 1.1 - Вплив концентрації елементу-розкислювача на активність кисню в металі

1.2.2 Дифузійне розкислювання

Дифузійне розкислювання базується на тому, що при контакті двох фаз, що не змішуються, в яких розчинено та або інша речовина, хімічний потенціал останнього прагне до рівноваги в обох фазах. У разі контакту металу і шлаку до таких, розчинних в обох фазах, речовин

відноситься кисень. Процес дифузного розкислювання складається з декількох стадій [15]:

- перша є масоперенесення розчинного в металі кисню до поверхні зіткнення металу з шлаком. Це може бути переміщення атомів кисню на великі дистанції або рух цих атомів усередині малих крапель металу при обробці металу синтетичними шлаками в ковшах. І у тому, і в іншому випадку масоперенесення стимулюється різким пониженням концентрації кисню в шарі, дотичному зі шлаком.

- друга стадія процесу є переходом через кордон фаз метал – шлак.

- третя стадія полягає в сумісному масопереносі іонів заліза і кисню усередині розплавленого шлаку.

Основною перевагою дифузного розкислювання є те, що воно не супроводжується утворенням ендогенних неметалічних включень і забрудненням ними металу. Проте, його істотний недолік полягає в тому, що цей процес вимагає тривалого часу [8,10,11,16].

1.2.3 Розкислювання у вакуумі

Розкислювання у вакуумі засноване на тому, що розкислює здатність вуглецю при низькому тиску значно збільшується. У цих умовах вуглець стає сильним розкислювачем відповідно до рівняння [15-18]



Константа рівноваги для рівняння 1.2 має вигляд:

$$K = \frac{P_{CO}}{[C] \cdot [O]} = F(t) \quad (1.3)$$

Отже, при постійній температурі і концентрації вуглецю рівноважна концентрація кисню в металі зменшується пропорційно зменшенню тиску виділення CO (глибині вакууму) та може бути оцінена з рівняння:

$$[O] = \frac{P_{CO}}{([C] \cdot K)} = F(t) \quad (1.4)$$

Найбільш сприятливі умови для розкислювання вуглецем існують в поверхневих шарах контакту метал-газ ($P_{CO} = 0$), радіус кривизни поверхні метал-газ відносно великий і в межі прагне до нескінченності, тому розкислювання у вакуумі найефективніше при дуже розвиненій поверхні контакту метал-газ і, відповідно, при таких шарах вакуумованого метала.

Розкислювання у вакуумі найефективніше при обробці сталі, що заздалегідь не розкислює, тобто коли більша кількість кисню знаходиться в металі в розчиненому стані, а не у вигляді неметалічних включень.

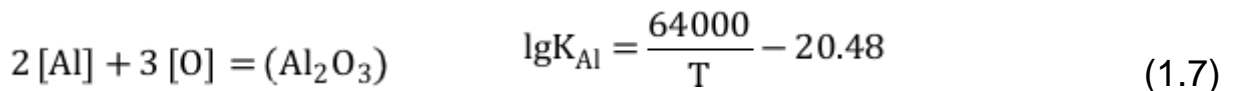
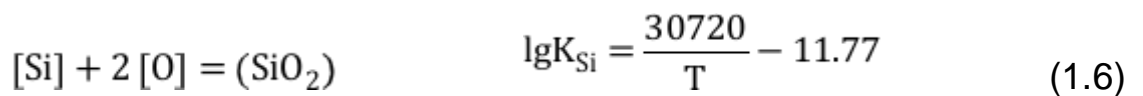
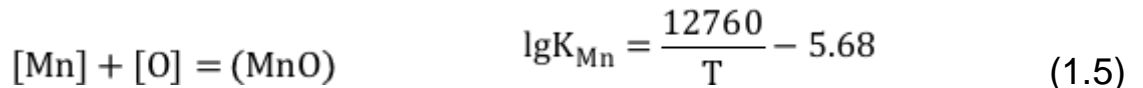
З перелічених методів розкислення рідкої сталі у киснево-конверторних цехах найбільшого поширення отримало осаджуюче розкислювання, що пов'язано з його простотою та достатньо високими результатами, тому розглянемо його більш докладно.

1.3 Основні засади осаджуючого розкислювання

Для розкислення і легування сталей масового виробництва під час випуску сталі з конвертера феромарганець, феросиліцій, силікомарганець, і алюміній. За типовою технологією кускові (30-50 мм) FeMn, FeSi і SiMn присаджують на струмінь металу під час випуску. Феросплави починають вводити після наповнення металом

1/5 - 1/3 висоти ковша і закінчують після заповнення металом 1/2 - 2/3 висоти. Вміст вуглецю в металі коректують присадкою матеріалів, що містять вуглець. При цьому максимально використовується енергія падаючого струменя сталі для затоплення феросплавів [19].

При цьому розкислювання відбувається по наступних реакціях:



Залежно від ступеня розкисненості металу розрізняють киплячу, напівспокійну і спокійну сталі.

Схематична структура зливоків цих марок сталі зображена на рис.1.2. Цифри біля лінії – концентрація кисню у сталі.

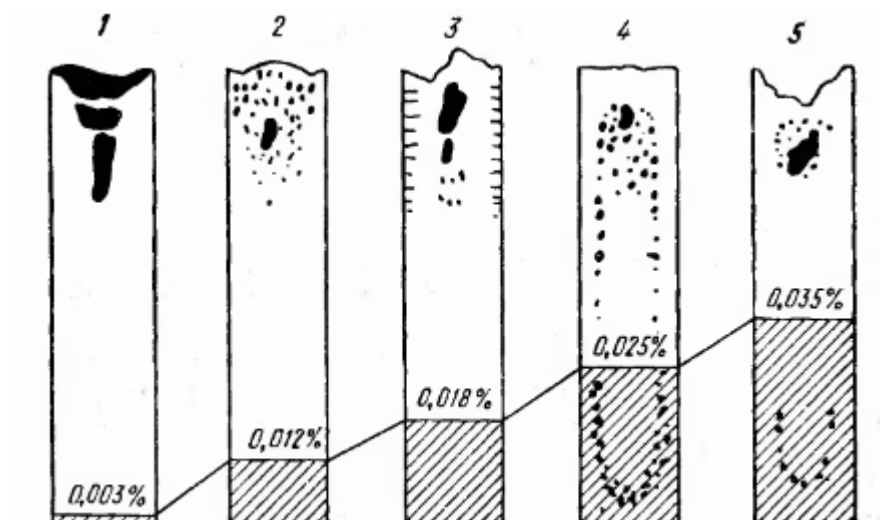


Рисунок 1.2 - Схематична структура спокійного (1), напівспокійного (2), закоркованого(3), киплячого (4,5) зливоків

Кипляча — це частково розкиснена (манганом і вуглецем) сталь, що застигає у виливницях з інтенсивним виділенням газів (понад 90 % CO), які є продуктом взаємодії розчинених у рідкому металі вуглецю й кисню. Від інтенсивності газовиділення залежить будова та якість зливка киплячої сталі. Киплячу сталь виплавляють у конвертерах із вмістом вуглецю від 0,02 до 0,27 (іноді до 0,35 %) і мангану менше ніж 0,6 %. Киплячу сталь розкислюють ферромарганцем, причому сталь що містить менш 0,12% вуглецю, розкислюють ферромарганцем із вмістом менш 1% Si.

Напівспокійна сталь за ступенем розкисненості посідає проміжне місце між киплячою і спокійною. Кількість розкисників, які вводять у метал, для повного видалення газів недостатня, тому в зливку напівспокійної сталі містяться газові пухирці і слабкорозвинена усадкова раковина. Напівспокійну сталь, що містить 0,1 - 0,3 % C; 0,35 - 0,85 Mn і до 0,15 % Si, виплавляють у конвертерах. Сталь розкислюють силикомарганцем або ферросицилием та ферроманганом; їх витрата повинна забезпечувати тривалість іскріння (кипіння) металу у виливниці протягом 10-40с. Іноді у виливницю додають невелику кількість алюмінію (0,02 — 0,5 кг/т).

Спокійну сталь розкиснюють надлишком сильних розкисників, які виключають можливість взаємодії кисню з вуглецем під час охолодження і тверднення металу у виливниці. Як розкисники використовують високо- і низьковуглецевий ферроманган, дзеркальний чавун, доменний і 45 %-й феросиліцій, силікоманган, алюміній, фероалюміній, силікокальцій, силікоалюміній, альсикаль, карбід силіцію, силікоцирконій тощо. Сталь розкиснюють у ковші.

1.4 Загальна характеристика напівспокійної сталі

Напівспокійна сталь по ступеню розкисленості займає проміжне положення між киплячою і спокійною.

У ній поєднуються переваги, киплячій сталі (відсутність концентрованої усадкової раковини унаслідок утворення великої кількості пузирів, що зварюються при плющенні металу, і відповідне зменшення головної обреси) і спокійною (вищий ступінь однорідності злитка). Напівспокійна сталь в порівнянні з киплячою володіє кращими механічними властивостями і стійкістю проти старіння. Все це дозволяє використовувати її, як замітник спокійної сталі [7]. При виробництві вуглецевою і низьколегованої напівспокійної сталі замість спокійної, вихід придатного прокату із злитків, збільшується на 8-10%, в 2 – 5 разів знижується витрата ферросилицію, і в п'ять разів і більш - алюмінію на розкислювання металу, зменшується на 30-40% витрату виливниць, знижується (приблизно у два рази) трудомісткість підготовки розливного складу. Разом з цим застосування напівспокійних сталей замість спокійних дозволяє не тільки зберегти, але і підвищити надійність конструкцій, понизити їх масу при пониженні їх вартості. Освоєна технологія виробництва близько 30-ти марок вуглецевої і низьковуглецевої напівспокійної сталі із вмістом вуглецю 0,05 – 0,9 і марганцю 0,25 – 1,7 %. Деякі сталі, містять ванадій (0,05 – 0,18 %), ніобій (0,02 – 0,04 %) і азот (0,015 – 0,030 %) [13].

1.5 Структура злитка напівспокійної марки сталі

Структура злитка напівспокійної сталі залежить від ступеня її розкисленості й може нагадувати структуру злитка киплячого (перерозкисленого) і спокійного (недорозкисленого) металу [8,9,20].

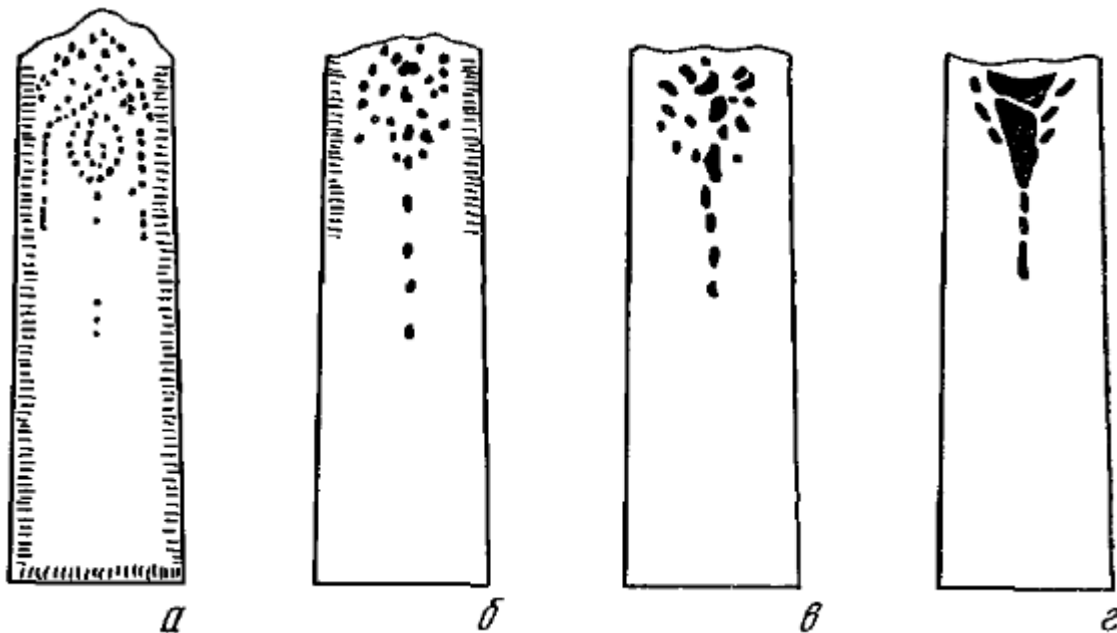


Рисунок 1.3 - Схема будови злитків напівспокійної сталі при різному ступені її розкисленості: а — недорозкислений злиток; б — нормально розкислений злиток (вміст кисню ближче до верхньої межі); в — нормально розкислений злиток (вміст кисню ближче до нижньої межі); г — перерозкислений злиток

Загальним зі злитком киплячої сталі в злитка напівспокійного металу є наявність зони стільникових пузирів. Внаслідок зниженого вмісту кисню стільникові пузирі в злитку напівспокійної сталі розташовуються близько до поверхні. Зона стільникових пузирів залежно від ступеня розкисленості, залягає по-різному: частіше у верхній третині злитка (рис. 1.3, б), де спостерігається більш інтенсивне утворення пузирів (мінімальне значення rho_{gh}), можуть бути випадки, коли пузирі розкидані по всій висоті злитка (рис. 1.3, а) або

відсутні зовсім (рис. 1.3, в). Вміст розчиненого (залишкового) кисню нижче оптимального виключає можливість утворення стільникових пузирів, навіть у головній частині злитка. При подальшій зниженні вмісту кисню виходить перерозкислена сталь, що практично наближається за структурою до спокійної (рис. 1.3, г). Однак оскільки метал відлито у наскрізну, розширену донизу виливницю без утеплення верхньої (головної) частини, то глибина усадочних дефектів виявляється занадто великою, а вихід придатного — малим. Тому одержання перерозкислених злитків напівспокійної сталі економічно не вигідно. З іншого боку, підвищений вміст залишкового кисню в металі сприяє одержанню злитка з малою товщиною безпухирькової кірки й досить широкою зоною стільникових пузирів. При прокатці такі злитки (у порівнянні зі злитками киплячої сталі — перерозкислені, а напівспокійної — недорозкислені) дають багато браку по поверхневих дефектах.

Нормальний злиток напівспокійної сталі на відміну від злитка киплячої сталі не має зони вторинних пузирів, тому що для утворення останніх не вистачає необхідного тиску виділення окиси, вуглецю (внаслідок низької концентрації кисню).

Структура центральної зони злитка напівспокійного металу більше нагадує структуру злитка спокійної сталі: це щільний метал крупнокристалічної будови. У верхній частині осьової зони при нормальному розкисненні розташовується невелика усадочна раковина з областю усадочних порожнеч, яка простирається на глибину 10-15% від висоти злитка (рахуючи від головної частини). Над усадочною раковиною розташовується "міст" пухирчатого металу товщиною 200-270 мм, що надійно ізолює раковину від атмосфери, завдяки чому вона заварюється при прокатці. Як відзначалося вище, усадочні порожнечі заповнені окисом

вуглецю, що виділився під деяким позитивним тиском, що перешкоджають проникненню атмосферного повітря. Тому стінки пузирів і усадочних раковин у головній частині злитка чисті, неокиснені, добре заварюються при прокатці, що забезпечує високий вихід придатного металу (більш 90%).

1.6 Розкислення напівспокійної сталі марганцем та кремнієм

Виплавка напівспокійної сталі практично не відрізняється від виплавки киплячої і спокійної сталі. Отримання якісної напівспокійної сталі вимагає високої культури виробництва і систематичного контролю складу і температури металу. Помилки в розрахунку кількості розкислювачів, що вводяться, або у визначенні раціональної швидкості розливання приводять до отримання перерозкисленого або недорозкисленого металу, виправити вказані помилки в процесі розливання практично важко.

Щоб отримати якісні напівспокійні злитки, метал перед розливанням повинен містити оптимальну кількість кисню. При розкислюванні напівспокійної сталі ставиться завдання отримання залишкового кисню приблизно рівного рівноважному вмісту з вуглецем (область 2 на рис. 1.4). Тільки при виконанні цієї умови злиток напівспокійної сталі, формується нормально.

Напівспокійну сталь розкислюють в ковші ферромарганцем (до заданого складу), а також сілікомарганцем і ферросіліцієм (до заданого вмісту кремнію в сталі 0,05 – 0,15 %). Проте цей спосіб не завжди забезпечує отримання оптимального ступеня розкисленості металу, кисень, що знаходиться в дуже вузьких межах (0,012 – 0,015).

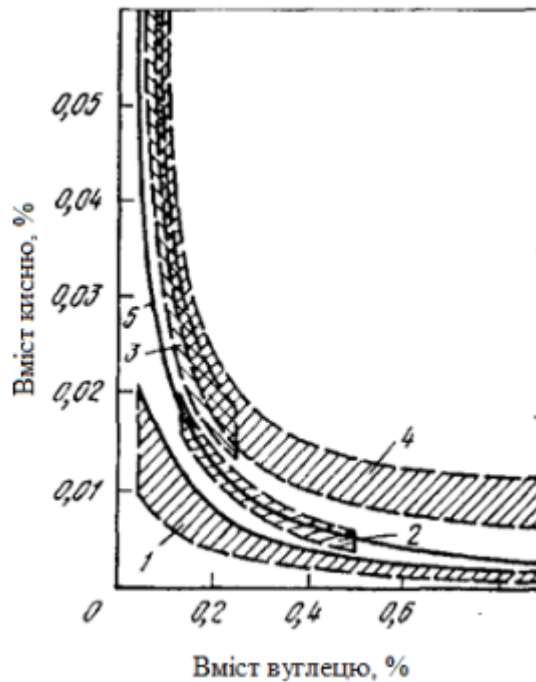


Рисунок 1.4 - Рівень окисленості сталі різних типів після її розкислювання: 1-3 – при виробництві відповідно спокійній, напівспокійній і киплячій сталі; 4 – область звичайного вмісту кисню в металі перед розкислюванням; 5 – крива рівноваги з вуглецем

Одним з основних чинників, що утрудняють отримання заданої окисленості, є вторинне окислення металу під час випуску і розливання. Перспективним шляхом в цьому напрямі є розливання напівспокійної сталі під синтетичним шлаком, отриманим з твердої шлакоутворюючої суміші. Спосіб здійснюють таким чином: в процесі розливання метал обробляють сумішшю 65%-ного феросіліцію конвертерного шлаку і плавикового шпату в співвідношенні 1: (4,5-8) : (1-1,5). Суміш вводять на дно виливниці 2,5 – 3 кг/т сталі, при витраті менше 2,5 кг/т сталі дзеркало металу і вгору злитка не покриті шлаком і відбувається вторинне окислення дзеркала металу. При витраті зверху 3,0 кг/т сталі, збільшує товщину шлакового шару, уповільнює кристалізацію і погіршує якість поверхні злитка. При 2,5 – 3,0 кг/т сталі, дзеркало металу повністю закрито шлаком і сталевий

злиток знаходиться в шлаковій сорочці завтовшки 1-2 мм. Застосування вказаної суміші дозволяє стабілізувати окисленість металу завдяки наявності в конвертерному шлаку оксидів заліза 15 - 20 %. При розливанні металу формується шлак. Дифузійне розкислювання металу здійснюється згідно із законом, $R = (FeO)/[FeO] = const$ внаслідок чого стабілізується окисленість металу. В результаті застосування цього способу підвищується якість поверхні прокату з напівспокійної сталі, збільшується вихід придатного металу, знижується витрата виливниць і розкислювачів.

1.7 Розкислення напівспокійної сталі алюмінієм

Для поліпшення якості сталі, стабілізації її окисленості випробували присадки алюмінію і продування металу в ковші нейтральним газом. Дослідження проводилися на сталях Ст ЗПС і Ст 5 ПС (всього 235 плавов). Після випуску металу з конвертера вимірювали його окисленість і температуру в ковші за допомогою змінного блоку БС-4 -1200 УКІС – ТЗ і реєструючого приладу «Сталь-4», а також відбирали проби для хімічного аналізу. Після обробки металу інертним газом (аргоном або азотом) і досягнення необхідної температури сталь розливали зверху через стакан діаметром 60мм на злитки масою 10 тонн, які прокатували на заготовки перетином 80мм і діаметром 100мм. За основний критерій при визначенні оптимальної окисленості вибрали рівень браку в прокатному переділі (табл.1.1).

Таблиця 1.1 - Вплив окисленості металу на брак в прокатній межі

Сталь	Окисленість металу, ppm/брак прокату %				Оптимальна окисленість
СТ 3ПС	$\frac{60-80}{1,47}$	$\frac{81-100}{0,8}$	$\frac{101-109}{1,8}$	$\frac{>110}{2,0}$	81-100
СТ 5ПС	$\frac{60-80}{1,0}$	$\frac{81-90}{1,3}$			60-90

Встановивши за даними відбракування оптимальні межі активності кисню, надалі перед розливанням металу коректували окисленість доводячи її до необхідного рівня присадкою алюмінієвого дроту, а також продування інертним газом. Алюміневу катанку діаметром 14-16мм вводимо в ківш за допомогою трайб-апарату. Необхідну масу алюмінію розраховували по формулі

$$m = 54 (a_{\square} - a_p) M / 48 f_0 \times f_{Al} \times 100 \quad (1.8)$$

де m , M – маса алюмінію в рідкій сталі ; a_{\square} – активність кисню в рідкій сталі фактична і потрібна %; f_0, f_{Al} - коефіцієнти активності кисню і алюмінію;

54 і 48 – атомні ваги алюмінію і кисню, помножені стехіометричні коефіцієнти реакції $2 [Al] + 3 [O] \rightarrow (Al_2O_3)$.

При обробці в ковші інертним газом активність кисню в металі зменшилася в результаті його охолодження і саморозкислення (рис. 1.5): в середньому до 1,5 і 3,0 ppm відповідно в напівстійкою сталі.

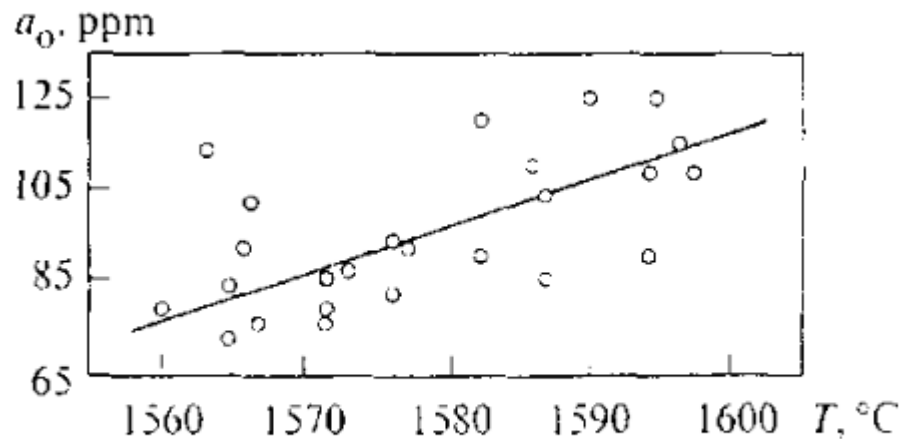


Рисунок 1.5 - Вплив температури (Т) рідкої сталі на активність в ній кисню (a_O)

Коректування окисленості дозволило скоротити загальний брак в першому переділі на 12%, причому удвічі відбракування по рванині, але розшарування заготовок спостерігалось. Для вивчення причини неоднозначного впливу коректування окисленості рідкої сталі з його масовою часткою в твердому металі. Проби відбирали з ковша пробницями ПМР одночасно з визначенням окисленості рідкої сталі. Масову частку кисню в твердому металі контролювали приладом ТС – 136 фірми «Леко».

Використовуючи залежність вигляду, де a_O і γ_O - активність, і коефіцієнт активності кисню, підраховували різницю між його масовими долями і активністю, а також визначили коефіцієнт активності в кожному досвіді. Найменший коефіцієнт активності і найбільша різниця між масовою часткою кисню і його активністю були отримані для сталі 3 ПС (рис. 1.6, табл. 1.2), яка виявилася найбільш забрудненою неметалічними включеннями.

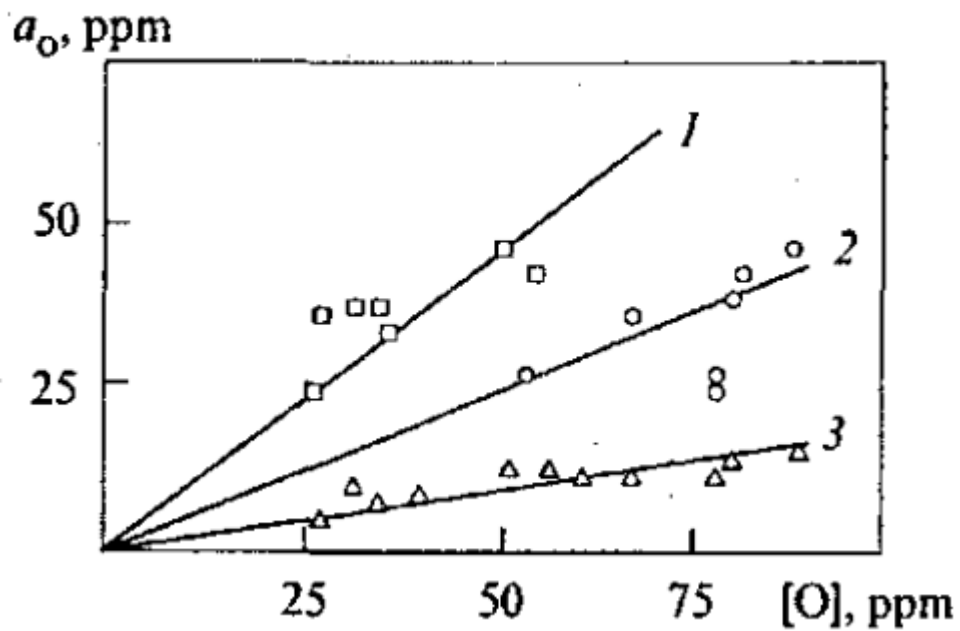


Рисунок 1.6 - Зв'язок окисленості (a_O) рідкої сталі і масової частки кисню в ній: 1- сталі СВ- 08А; $a_O = 0,83[O]$; 2 – сталь Ст 1 КП $a = 0,43[O]$; 3- сталі Ст 3ПС $a_O = 0,16[O]$

Таблиця 1.2 - Активність, масова частка ($[O]$) і коефіцієнт активності (γ_O) кисню в напівспокійних і киплячих сталях (чисельник – середнє значення, знаменник – розгін значень)

Сталь	a_O, ppt	$[O], ppt$	γ_O	$[O] - a_O, ppt$
СТ 5ПС	$\frac{54}{42 - 65}$	$\frac{340}{260 - 360}$	$\frac{0,17}{0,16 - 0,18}$	256
СТ 3ПС	$\frac{97}{80 - 113}$	$\frac{622}{330 - 900}$	$\frac{0,16}{0,10 - 0,28}$	525
СТ 1КП	$\frac{330}{240 - 450}$	$\frac{771}{560 - 900}$	$\frac{0,43}{0,32 - 0,50}$	441
СВ- 08А	$\frac{342}{233 - 403}$	$\frac{414}{280 - 580}$	$\frac{0,83}{0,51 - 1,29}$	72

Цей вивід підтверджується і аналізом технології, який виявив найбільше число «передувов» (переокислення понад рівноважний стан) і зменшене засвоєння алюмінію і феросплавів при виплавці сталі Ст ЗПС.

Таким чином, визначення окисленості кисню в рідкій сталі і подальший контроль масової частки кисню в твердому металі показали, що введення алюмінію в «передутую» сталь зменшує в ній частку вільного кисню, але не усуває забрудненості неметалічними включеннями. При нагріві «передутого» металу під плющення легкоплавкі оксиди ликвируют в середину злитка, ослабляючи осьову зону заготівки, що приводить до розшарування металу при деформації. Тому для виробництва бездефектної напівспокійної сталі разом з коректуванням окисленості в ковші необхідно виключити переокисление (передув) металу на стадії продування в конвертері [21].

1.8 Дефекти напівспокійної сталі

Також прийнято вважати, що на напівспокійній сталі причиною розшарування є надмірний розвиток усадкової раковини, яка утворюється при перерозкисненні металу і не зварюється при плющенні, тому рекомендуються певні співвідношення вуглецю, кремнію і марганцю, при яких досягається визначена оптимальні розкисленість сталі. Проведено дослідження складу сталі в місці розшарування, а знайдені концентрації в прокатаному металі і $\% Mn_{np}$ співвідношенні з даними складу сталі в пробі, відібраній на розливанні $C_{пл}, Si_{пл}$ і $\% Mn_{пл}$

Знайдено, що концентрація всіх елементів в місці розшарування в середньому перевищує їх концентрацію в розливаній сталі, що

відповідає закономірностям процесів ліквації елементів при кристалізації металу і їх сегрегації при твердінні сталевого злитка.

Проте, хоча коефіцієнт сегрегації вуглецю значно більше, чим кремнію, марганцю, у нього ця різниця менша, очевидно, із-за його окислення розчиненим киснем при кипінні сталі у виливниці.

Відношення $Mn_{пл}/Mn_{пр}$ складало 0,75 – 0,96 (середнє 0,89), а $Si_{пл}/Si_{пр}$ - 0,50 – 0,95 (середнє 0,78) і, відповідно, $a(1 - Si_{пл}/Si_{пр}) = 0,22$, що наближається до теоретичних коефіцієнтів сегрегації цих елементів 0,16 і 0,34. В процесі ліквації і сегрегації фактичне співвідношення концентрацій марганцю і кремнію в металі змінюється так, як показано на рис. 1.7.

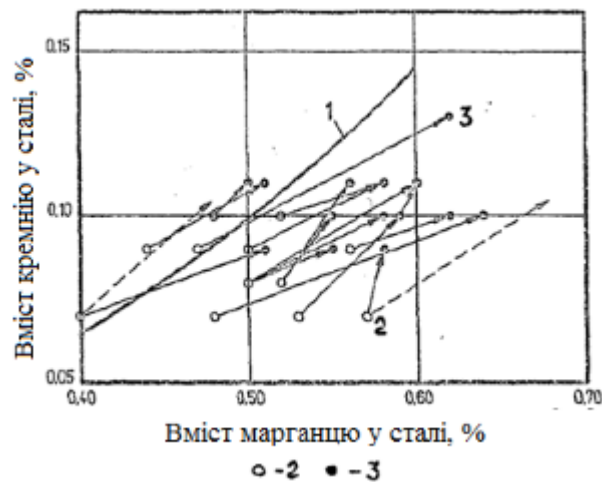
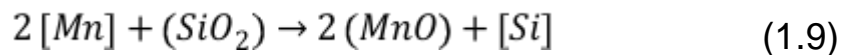


Рисунок 1.7 - Зміна складу сталі при твердінні: 1- рівноваги реакції (1); 2- $Mn_{пл}$ і $Si_{пл}$; 3- $Mn_{пр}$ і $Si_{пр}$ суцільними лініями, що близькі до теоретичної зміни, представлені пунктирними лініями для двох крайніх крапок

Вміст в сталі кремнію і марганцю надає певний вплив на склад неметалічних включень, що утворюються, відповідно до реакції:



Використовуючи дані про константу рівноваги цієї реакції, параметрах взаємодії елементів і активності оксиду марганцю при насиченні системи $MnO - SiO_2$ кремнеземом можна визначити положення межі, представленої на рисунку 1.4 лінією 1, вище за яку неметалічні включення утворюються в розливаній сталі в твердому вигляді, а нижче за яку – в рідкому. Оскільки утворення включень продовжується і в процесі твердіння сталевого злитка, то ликвація, а потім і сегрегація кремнію і марганцю згідно з отриманими даними (рис. 1.4) сприятиме утворенню неметалічних включень в рідкому виді системи $MnO - SiO_2$. Прийнято вважати, що утворення неметалічних включень в рідкому вигляді сприятливо позначаються на їх видаленні завдяки можливій коалісценції дрібних включень і збільшенню швидкості спливання включень більшого розміру, що утворилися. Проте після утворення моста твердого металу на поверхні злитка коалісцируючі, що твердіє, рідкі неметалічні включення можуть створювати макровключення, що скупчуються на поверхні усадкової раковини, що формується.

Окрім цього реакція 1.1 може йти і при взаємодії рідкої сталі з поверхні сифонової проводки і несуться в злиток у вигляді макровключень. Ті з них, які не встигають спливати до затвердіння моста, опиняться на поверхні усадкової раковини, що формується.

Мабуть, низька температура плавлення силікатів марганцю визначає і достатньо низьку в'язкість відповідних макровключень при температурах прокату, меншою, ніж в'язкість прокатуваної сталі. В цьому випадку швидкість деформації включень стає більше, ніж сталі і вони розкочуються в тонку плівку, що перешкоджає зварюванню металевих поверхонь усадкових утворень злитка напівспокійної сталі.

Розшарування в прокатному металі спостерігається на тих плавках, де співвідношення марганцю і кремнію в розливаній сталі такі, що можливе протікання реакції 1.1, як при утворенні неметалічних включень, так і при взаємодії сталі з сифоноюю проводкою з утворенням силікатів марганцю в рідкому вигляді.

Усунення розшарування прокату досягається шляхом підбору співвідношення кремнію і марганцю в сталі, що виплавляється, в межах допустимого їх вмісту, що забезпечує отримання неметалічних включень в твердому вигляді і запобігаючої взаємодії марганцю, розчиненого в сталі з кремнеземом вогнетриву сифонової проводки [22].

Були проведені дослідження про вплив розкислювачів на якість сталі і прокату. Так, наприклад, в злитках напівспокійної сталі, розкисленої одним кремнієм, усадкова раковина була компенсована крупними ізольованими газовими об'ємами, а підкіркові пузирі спостерігалися лише на горизонтах до 150 мм від головного торця. Злитки сталі, що розкислює одним алюмінієм, характеризувалися безпузирковою кірковою зоною, проте мали значну усадкову раковину, погано ізольовану від атмосфери. На підставі цього автор вважає, що унаслідок високої розкислюючої здатності алюмінію навіть не значна помилка у визначенні необхідної його присадки може привести до істотної зміни структури злитка. Розкислювання напівспокійної сталі в ковші тільки алюмінієм, на думку М.Генненбаума, не може забезпечити стабільного отримання нормального злитка [23].

Автори вважали, що сталь Ст 3ПС, що розкислює в ковші одним феросиліцієм, характеризується близькою прихильністю стільникових пузирів до поверхні злитка, малою глибиною залягання усадкових дефектів і зниженою пластичністю, тому доцільно знижувати вміст кремнію в металі, одночасно збільшуючи витрату алюмінію. Е.Форстер і Х.Нейманн [23] стверджували, що застосування для розкислювання

напівспокійної сталі, алюмінію спільно з кремнієм приводить до утворення крупних поверхневих включень силікатів марганцю, що викликають розшарування металу. При розкислюванні одним кремнієм ці включення значно дрібніше і не приводять до утворення вказаних дефектів. При розкислюванні сталі одним алюмінієм, не вдалося отримати оптимального ступеня розкисленості металу і нормального застигання головної частини злитка. При витраті алюмінію до 300 г/т метал слабо кипів у виливниці, яскрів в течії 10 – 20 з. після її наповнення і застигав з проривами кірки і утворенням рослості до 250 мм (не дивлячись на додаткове введення алюмінію в кількості 20 – 30 г/т під струмінь при розливанні). При витраті алюмінію 325 г/т злитки застигали вже з увігнутою поверхнею головної частини (як при перерозкисленій сталі). Проте через 2 – 3 хв. після кінця наповнення виливниць на багатьох злитках починалося інтенсивне іскріння металу з проривом кірки і утворенням напливів. Гуркоти одних злитків плавки цієї групи були значною мірою уражені грубим дрантям, інші характеризувалися значною усадковою рихлістю, а треті мали і ті та інші дефекти. В результаті головні обрєзь і витратний коефіцієнт металу на блюмінгу виявилися підвищеними. При розкислюванні одним ферросилициєм замість комбінованого способу покращала якість поверхні гуркоту (по рванині) і внаслідок цього зменшилася головна обрєзь і витратний коефіцієнт металу. Подальші дослідження показали, що якнайкращі результати по стабільності розкислювання вуглецевої напівспокійної сталі виходять при розкислюванні в ковші силикомарганцем, роботи показали за вісім місяців, що при розкислюванні сталі ЗПС тільки силикомарганцем в ковші (замість розкислювання ферромарганцем в печі і 45 % -ним ферросилициєм в ковші збільшилася (з 62,5 до 83 %) кількість плавки з оптимальним вмістом кремнію, унаслідок зменшення коливань його чаду. При цьому

знизилася кількість браку на першому переділі (з 0,42 до 0,28 %) і слябів з грубими дефектами. Таким чином, раскисление напівспокійної сталі кремнієм в ковші доцільно проводити, використовуючи силикомарганець або 45 %-ний ферросилицій. Застосування 65 – 75 %-ного феросіліцію менш прийнятно з причини його меншої щільності і трудності обліку коливачь (до 3 %) алюмінію, що міститься в ній.

Отримані дані по оптимальному вмісту кремнію і його чаду дозволили визначити необхідний для отримання нормального злитка напівспокійної сталі витрата феросіліцію залежно від вмісту вуглецю (рис. 1.8). Ця витрата при збільшенні вмісту вуглецю помітно змінюється для конвертерної напівспокійної сталі.



Рисунок 1.8 - Розрахункова витрата 45 %-ного феросіліцію для розкислювання напівспокійної сталі залежно від вмісту вуглецю: 1 – конвертерна завод Петровського; 2 – конвертерна Криворіжсталь; 3 – мартенівська Криворіжсталь; 4 – мартенівська Петровського, 5 – мартенівська Алчевськ А – конвертер ємкістю 26 т; Б – конвертер 32 т

Ця витрата при збільшенні вмісту вуглецю помітно змінювалася тільки для конвертерної напівспокійної сталі, де необхідне

коректування витрати феросіліцію залежно від вмісту вуглецю, що змінює в межах марочного складу. Підтвердженням необхідності коректування кількості досаджуваного феросіліцію при зміні вмісту вуглецю в напівспокійній сталі для отримання нормального злитка можуть служити результати аналізу браку напівспокійної сталі Кст 3 ПС, аналізували дані 1200 плавок прокатаних на крупний фасонний профіль (балка швелер). Сталь розкислювали відповідно до встановленої на заводі технології: на плавку масою 32 т досаджували 65 кг 45% ного феросіліцію і 1 кг алюмінію. Кількість розкислювачів не змінювали залежно від вмісту вуглецю в сталі перед розкислюванням. Особливість плющення крупних швелерів і балок на цьому заводі безпосередньо із злитка тобто без проміжного нагріву і зачистки заготовки, визначаємо високі вимоги до якості поверхні і макроструктури раската злитка. Дефектна частина гуркоту, уражена дрантям або усадкою перед плющенням вказаних профилей на рельсобалочном стані обов'язково віддаляється. Це дає можливість оцінити вплив витрати розкислювачів на якість прокату з напівспокійної сталі. При вмісті вуглецю ближче до нижньої межі для сталі Кст 3 ПС головною причиною браку була усадка (0,6 – 0,7 %), а ближче до верхньої межі – дрантя (0,4-0,7 %). Мінімальний сумарний брак (близько 0,6 %) отриманий при вмісті вуглецю в металі 0,18 – 0,19 %. Отримані дані показують, що для отримання мінімальної кількості браку на першому переділі при вмісті в сталі Ст 3 ПС 0,20 – 0,22 % . З (верхня межа) витрата 45 % ного феросіліцію повинен бути збільшений, а для вмісту вуглецю 0,14 – 0,16 % (нижня межа) – зменшений в порівнянні зі встановленою кількістю. Встановлену кількість розкислювачів забезпечує отримання нормального злитка (належна якість прокату) тільки при середньому для марки вмісті вуглецю [23].

Останнім часом особлива увага приділяється проблемі зниження витрати розкислювачів і легуючих добавок шляхом розробки раціональних способів розкислювання сталі з одночасним поліпшенням її якості.

Аналіз літературних даних [24] свідчить про те, що максимальна кількість твердих феросплавів, що вводяться в ківш, може скласти 1,5 - 2,0 %. Присадка великої кількості феросплавів призводить до значного зниження температури металу в ковші і робить практично неможливою нормальне розливання сталі. Раніше для подолання цієї технологічної проблеми використовували розплавлені феросплави або спеціальні екзотермічні феросплави [25], але це призводило до додаткових втрат коштовних феросплавів. У теперішній час, з розвитком позапічної обробки сталі й особливо технології ківш-піч надало змогу компенсувати втрати теплоти рідкої сталі. Тому сучасна технологія осаджуючого розкислення та легування сталі включає двостадійне введення феросплавів частину на випуску металу з сталеплавильного агрегату, й, за необхідності, кінцеве розкислення та легування на установці ківш-піч.

1.9 Постановка задачі та шляхи дослідження

Згідно до вищенаведеного розкислення та легування сталі оказує значний вплив на якість сталі та техніко-економічні показники киснево-конвертерної плавки.

Враховуючи ці обставини, необхідно проаналізувати засвоєння марганцю та кремнію від технологічних факторів: вмісту вуглецю на випуску, окисленості шлаку, часу випуску металу та інше для умов ПАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

3.1 Охорона праці

За даними Держкомстату України, в країні кожен четвертий робітник (24,7 %) працює в умовах, які не відповідають санітарно-гігієнічним нормативам за параметрами вмісту пилу і хімічних поллютантів у повітрі робочої зони, вібрації, шуму, інфразвуку та ультразвуку, іонізуючого та неіонізуючого випромінювання, важкості й напруженості праці. Найнебезпечніші умови праці в Україні спостерігаються у вугільній промисловості (74,1 %), металургії (59,6 %), газовій (55,6 %), нафтодобувній (50,6 %), хімічній та нафтохімічній галузях (43,2 %) [28].

Випускна кваліфікаційна робота магістра присвячена дослідженню процесу розкислення спокійної сталі, в тому числі при використанні порошкоподібних феросплавів, в умовах ПАТ ДМК (м. Кам'янське), тому в даному розділі розглянуто питання санітарно-гігієнічної оцінки умов праці, пожежну профілактику, захист довкілля у конвертерному цеху ПАТ ДМК, запропоновано заходи з поліпшення умов праці, розглянуто екологічну політику підприємства.

3.1.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки

Більшу половину робочого часу сталеварів та їх помічників займає робота із застосуванням ручної сили, яка вимагає значних фізичних зусиль. Праця характеризується динамічним та статичним фізичним навантаженням, пов'язаним з виконанням робіт у несприятливих умовах виробничого середовища. Температура повітря в цеху постійно змінюється: в теплий період року значно

перевищує температуру зовнішнього повітря, а в холодний період року – може бути нижче нормованої величини. Основними джерелами високої температури в цеху є рідка сталь, шлак обладнання, в результаті чого на працівників діє інтенсивне інфрачервоне випромінювання.

У результаті гігієнічної оцінки умов праці встановлено, що параметри мікроклімату у сталеварів не відповідають гігієнічним нормативам, як у теплий, так і у холодний період року і умови праці відносяться до 3 класу 4 ступеня шкідливості (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Гігієнічна оцінка умов праці за показниками виробничого мікроклімату на робочому місці

Фактори		Мін.	Макс.	Середня	ГДР згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [29]	Клас умов праці
Температура повітря, 0С	теплий період року	25,4	59,6	38,07±0,88	15-26	3.4
	холодний період року	25,3	36	28,21±1,69	13-19	3.4
Інфрачервоне випромінювання, Вт/м2		342	4240	1590,16+10 2,5	140	3.2
Вологість повітря, %	теплий період року	7	62	26,89±1,59	55	2
	холодний період року	30	33	30,87±0,5	75	2
Швидкість руху повітря, м/с	теплий період року	0,3	2,7	0,8±0,05	0,5-0,6	3.1
	холодний період року	0,3	0,8	0,64±0,09	≤0,5	3.1

Робітники в процесі своєї роботи зазнають впливу виробничого шуму, який коливається в межах від 90,2 дБА до 97,6 дБА та діє протягом всього робочого часу. Основними джерелами виробничого шуму на робочому місці є робота устаткування, постійний рух автотранспорту, залізничних потягів, металургійних кранів, випуск газів та повітря відповідними пристроями

Середній рівень виробничого шуму на робочому місці сталевара склав $93,47 \pm 1,04$ дБА, що перевищує нормований рівень за ДСН 3.3.6.037-99 [30] (80 дБА) більше ніж на 10 дБА, тому відносить умови праці до 3 класу 2 ступеня шкідливості. На робочому місці підручного сталевара середній рівень виробничого шуму склав $85,43 \pm 3,36$ дБА, що відносить умови праці до 3 класу 1 ступеня шкідливості.

До несприятливих факторів виробничого середовища у цеху відноситься присутність виробничого пилу та хімічних речовин у повітрі робочої зони. За даними досліджень умови праці сталеварів за вмістом виробничого пилу відповідають 3 класу 2 ступеня шкідливості (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Шкідливі речовини, що виділяються у повітря робочої зони	Концентрація, мг/м ³			Величина ГДК, мг/м ³ за ГОСТ 12.1.005-88 [31]	Клас умов праці
	Мін.	Макс.	Середня		
Виробничий пил (SiO ₂ до 10%)	4,14	62,07	18,03±0,98	4	3.2
Вуглецю оксид	6,1	23,0	10,26±0,29	20	2
Ангідрид сірчистий	5,0	10,02	5,52±0,12	10	2
Марганцю оксид	0,003	0,51	0,11±0,01	0,3	2

За показниками важкості праця сталевара та їх підручних, що протягом робочого часу підіймає та переміщує вантаж масою 24,7 кг, має статичне навантаження за участю м'язів тулуба і ніг 201600 кг*с, перебуває в нахиленому положенні понад 300 протягом 27,3 % тривалості зміни, робить вимушені нахили понад 300 224 рази за зміну, робить переходи до 0,7 км за зміну, обумовлені технологічним процесом, відноситься до 3 класу 2 ступеня і характеризується як фізично важка.

Робота у цеху відноситься до VII категорії зорового навантаження згідно ДБН В.2.5-28-2018 [32]. Величина освітленості робочих місць в цеху наведена складає 240 лк при нормативному значенні 200 лк.

За електричною небезпекою згідно ПУЕ [33] цех відноситься до категорії особливо небезпечних приміщень, тому що присутні струмопровідні підлоги (сталеві плити $R=100$ Ом), струмопровідний пил (пил оксиду заліза), висока температура повітря в теплий період року. Можливими причинами поразок електричним струмом на ділянці позапічної обробки сталі є:

- зіткнення з відкритими струмоведучими частинами і проводами;
- дотик до струмоведучих частин, ізоляція яких пошкоджена;
- торкання струмоведучих частин через предмети з низьким опором ізоляції;
- вплив крокових напруг і інше.

Таким чином, за показниками напруженості праці у сталеварів та їх підручних має місце напруженість зору, а саме сліпуча дія розплавленого металу, присутня емоціональна та інтелектуальна напруженість при вирішенні важливих завдань під час технологічного процесу, тризмінна праця, 8-ми годинний робочий день, тому умови

праці сталеварів та їх підручних можна віднести до 3 класу 1 ступеня шкідливості.

За Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [34] умови праці сталеварів та їх підручних відносяться до 3 класу 4 ступеня шкідливості – шкідливі та важкі.

В зв'язку з вищевказаним та згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [35] по вибуховій, вибухопожежній і пожежній небезпеці конвертер, а також розливний проліт, відносяться до категорії А. До категорії Б відноситься система газоочищення конвертерного газу, міксерне відділення і завантажувальний проліт. До категорії Г відноситься відділення підготовки шихти. У конвертерному цеху вибухи відбуваються головним чином або при контакті розплавленого металу і шлаку з водою або вологими матеріалами, або внаслідок бурхливого протікання хімічних реакцій при продуванні, розкислюванні і розливанні сталі.

До основних причин пожеж на виробничих підприємствах слід віднести:

- теплові прояви електричної енергії (25-30%);
- необережне поводження з вогнем (20-25%);
- порушення правил пожежної безпеки при проведенні вогневих робіт (10-12%);
- порушення правил пожежної безпеки в технічному процесі (10%);
- порушення правил влаштування та експлуатації приладів опалення (4-6%);
- підпали (5%);

інші причини: іскри, самозаймання, природні явища і т.ін. (2%).

3.1.2 Заходи поліпшення умов праці

На сьогодні в металургійному виробництві відбувається інтенсифікація виробництва, широке впровадження новітніх технологій, обладнання, машин, матеріалів, що відповідно веде до розширення переліку шкідливих чинників фізичної та хімічної природи, серед яких перегріваючий мікроклімат, шум, вібрація, загазованість та запыленість повітря робочої зони, складні паро-газо-аерозольні суміші, ультразвук тощо. Всі ці шкідливі чинники спроможні викликати професійні та виробничо-зумовлені захворювання, впливати на перебіг загальної захворюваності працівників зайнятих у цій галузі [28]. Тому питання розробки заходів з поліпшення умов праці є актуальним.

Для забезпечення нормативних вимог щодо якості повітря робочої зони використовують наступні заходи:

- механізація та автоматизація виробничих процесів, дистанційне управління процесами;
- удосконалення обладнання та процесів;
- використання процесів та обладнання, які виключають утворення шкідливих речовин або їх попадання в робочу зону;
- захист від теплового випромінювання;
- організація вентиляції та опалення;
- використання засобів індивідуального захисту.

При розгляді даного питання варто визначити можливі джерела виділення пилу, газів та пару, їх інтенсивність, а також намітити конкретні заходи щодо попередження забруднення повітряного середовища. Найбільшу увагу потрібно приділити питанням організації вентиляції та захисту від теплового випромінювання.

До числа найбільш радикальних заходів щодо боротьби з пилом від-носиться раціоналізація технологічних процесів та удосконалення

устаткування; герметизація агрегатів, що порожать, гідрознепилення, знепилююча вентиляція у вигляді місцевих відсмоктувачів та ін.

Технологічні процеси металургійного виробництва супроводжуються інтенсивним випромінюванням шуму який значно перевищує припустимий рівень.

Для забезпечення нормативних вимог захисту від шуму, вібрації та випромінювань використовують наступні заходи:

- будівельно-акустичні заходи;
- санітарно-гігієнічні заходи;
- зменшення шуму у джерелі за рахунок зміни конструкції обладнання або технології;
- зменшення шуму по шляху його розповсюдження (звукопоглинання, ізоляція джерела шуму або робочого місця, використання глушників);
- використання засобів індивідуального захисту.

Для захисту робітників від шуму в сталеплавильному виробництві варто встановлювати звукоізолювані пульти керування, тому що задовільного рішення по зниженню шуму в джерелі поки не знайдено.

Облаштування звукоізолюючих кабін є ефективним і найбільш поширеним засобом захисту виробничого персоналу від шуму. Кабіна встановлюється на віброізоляторах ОВ-31. З метою забезпечення оптимальних умов в кабіні встановлюється кондиціонер. Стіни звукоізолюючого посту управління мають таку будову: алюмінієвий лист ($\delta = 3$ мм), суха штукатурка ($\delta = 5$ мм), листи азбошиферу ($\delta = 8$ мм), плита ДВП ($\delta = 3$ мм). Дах kabіни виконуємо із ДСП ($\delta = 18$ мм). Вибираємо вікно з подвійним склінням завтовшки 3 мм та повітряним проміжком 30 мм. Скло по контуру ущільнено гумою.

Проведемо розрахунок звукоізолюючої kabіни для досягнення санітарних норм по рівню шуму. Необхідне зниження шуму в kabіні визначимо за формулою:

$$R_{\text{зн.ш.}} = L_{\text{ш}} - L_{\text{доп}}, \text{ дБА}, \quad (3.1)$$

де $L_{\text{ш}}$ – октавний рівень звукового тиску на робочому місці де планується місці установки kabіни, дБА;

$L_{\text{доп}}$ – допустимий рівень звукового тиску на робочих місцях, дБА.

$$R_{\text{зн.ш.}} = 96 - 80 = 16 \text{ дБА}.$$

Необхідна звукоізолююча здатність захищаючих конструкцій, вікон і дверей звукоізолюючої kabіни:

$$R_{\text{н.і.}} = L_{\text{ср}} - 10 \lg V_i + 10 \lg S_i - L_{\text{доп}} + 10 \lg(n), \quad (3.2)$$

де $L_{\text{ср}}$ – середній октавний рівень звукового тиску в галасливому приміщенні, дБА;

V_i – відповідно постійні галасливе і ізольоване приміщення в даній октавній смузі частот, м²;

S_i – площа даної огорожі або його елемента, через які шум проникає в ізольоване приміщення, м²;

n – загальна кількість окремих елементів даних огорож, шт.

Постійну приміщення V_i визначають множенням постійною приміщення на середньометричій частоті 1000Гц на частотний множник ($V_i = V_{1000} \cdot m$). Постійна приміщення V_{1000} визначається по графіку. Об'єм kabіни дорівнює $V = 3,7 \cdot 3,0 \cdot 3,0 = 33,3$ м³, тоді $V_{1000} = 2,5$ м² і $m=1$. Отже, $V_i=2,5$. Кількість вікон $n = 2$, розміром 1300 × 1180 мм, тоді

$$S_{\text{вікна}} = 1,30 \cdot 1,18 = 1,534 \text{ м}^2.$$

Необхідна звукоізолююча здатність вікон кабіни:

$$R_{н.і.(\text{вікон})} = 96 - 10 \lg 2,5 + 10 \lg 1,534 - 80 + 10 \lg(2) = 17 \text{ дБА.}$$

Обираємо двері із стандартного дверного полотна завтовшки 40 мм. Кількість дверей $n = 1$, розміром 2000×1050 мм, тоді

$$S_{\text{двері}} = 2,00 \cdot 1,05 = 2,10 \text{ м}^2.$$

Необхідна звукоізолююча здатність дверей кабіни:

$$R_{н.і.(\text{двері})} = 96 - 10 \lg 2,5 + 10 \lg 2,1 - 80 = 15 \text{ дБА.}$$

Звукоізолююча здатність кабіни визначимо по формулі:

$$R_{н.і.(\text{кабіни})} = R_{\text{ср}} - 10 \lg V_i + 10 \lg \sum S_i, \quad (3.3)$$

де S_i – площа кожного елементу огорожі, м²;

$R_{\text{ср}}$ – середня звукоізоляція всіх огорож кабіни:

$$R_{\text{ср}} = 10 \lg \frac{S_{\text{заг}}}{\sum (S_i \cdot 10^{-0,1R_i})}, \quad (3.4)$$

де $S_{\text{заг}}$ – загальна площа окремих елементів звукоізолюючої конструкції, м².

$$R_{\text{ср}} = 10 \lg \frac{1,534 \cdot 2 + 2,1}{1,534 \cdot 10^{-0,1 \cdot 17} + 2,1 \cdot 10^{-0,1 \cdot 15}} = 17 \text{ дБА.}$$

Тоді, необхідна звукоізолююча здатність кабіни:

$$R_{н.і.}(кабіни) = 17 - 10 \lg 2,5 + 10 \lg (1,534 \cdot 2 + 2,1) = 20 \text{ дБА.}$$

Оскільки $R_{н.і.}(кабіни) > R_{зн.ш.}$, то означає що запропонована звукоізолююча кабіна забезпечить захист від підвищеного рівня шуму на пульті управління конвертером.

Для забезпечення нормативних вимог з вібрації використовують наступні заходи:

- дистанційне управління процесами;
- зменшення вібрації у джерелі за рахунок зміни конструкції обладнання або технології;
- зменшення вібрації по шляху його розповсюдження;
- санітарно-гігієнічні заходи;
- використання засобів індивідуального захисту;
- раціональний режим праці та відпочинку;
- контроль вібрації та сигналізація.

Для захисту від теплового випромінювання в металургійному виробництві використовують наступні заходи:

- теплоізоляція агрегатів;
- захист відстанню;
- екранування робочих місць або джерел випромінювання;
- використання повітряного душення;
- використання засобів індивідуального захисту;
- раціональний режим праці та відпочинку.

Вихідними даними для вибору й розрахунку захисту від теплових потоків на робочих місцях і оптимальному розташуванні постів (пультів) керування є значення максимальної інтенсивності теплових випромінювань (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 - Ефективність (Pe), умови і місце встановлення теплозахисних екранів

Екрани	Конструктивні елементи	Pe , %	Умови застосування		Місце встановлення
			Інтенсивність випромінювання, кВт/м ²	Температура, К	
Глухі непрозорі тепловідбивні екрани	Екран-панель з альфолію на сітці, рамі, азбофанері, шифері (2-4 шару з повітряними прошарками 15 мм)	50	3,5-7,0	1120	Гарячі стінки і відкриті джерела
	Екран з алюмінієвих аркушів ординарних	85	0,7-3,7	1070	Те саме
	Екран з алюмінієвих аркушів подвійний із природно вентильованим повітряним прошарком	90	2-5,6	1270	Стіни кабін і постів керування
Глухі полупрозорі теплові двідні	Екрани з металевої сітки, що зрошуються водою	75	0,7-5,0	1370	Прокатне поле, прорізи печей
	Завіси піною, що зрошуються водою	80	0,7-8,5	1470	Те саме
	Екрани з металевої сітки з осередком	35	0,35	1070	Прокатне поле, прорізи печей

	3x3 мм				
Глухі полупрозорі теплопоглинаючі	Завіси пінні	60	0,7-5,0	1270	Те саме
	Скло, армоване металевою сіткою	70	0,7-5,0	1270	Те саме
Глухі прозорі тепловідвідні	Завіса плівкова водяна по склу	92	0,35-1,75	1170	Пости пультовщиків
	Завіса водяна без скла зливна	90	0,35-3,5	1170	Прорізи печей
	Екран акваріальний	93	0,7-2,0	1570	Прорізи пультовщиків
Глухі прозорі теплопоглинаючі	Скло загартоване одинарне	63	0,7-1,5	1270	Кабіни постів керування
	Скло загартоване подвійне з повітряно вентильованим прошарком товщиною 20-40 мм	79	1,5-2,0	1270	Кабіна завалочної машини
	Скло подвійне з повітряним прошарком	67	1,5-2,0	1070	Кабіни, пости
	Оргскло товщиною 6-8 мм	70	3,5-5,0	До 1370	Кабіни, пости

Пульти керування заслінками або машинами варто розташовувати не ближче 5 м від джерела теплового випромінювання. Стіни печей рекомендується екранувати алюмінієвим листом товщиною 1,5-2,0 мм. Оглядовий проріз у пультах керування захищається сталевією сіткою з осередком 2x2 мм, що знижує інтенсивність опромінення на 50 %, а два шари – на 75 %. Обшивання поруччя й площадок у пультах керування сталевим або алюмінієвим листом дозволяє в 2 рази знизити інтенсивність теплового опромінення на робочому місці; подвійний алюмінієвий лист із

відкритим повітряним прошарком дозволяє знизити інтенсивність опромінення в 5-6 разів.

При інтенсивності опромінення огороження від 0,3 до 2,8 кВт/м², стіни постів керування варто захищати гофрованими алюмінієвими екранами. При інтенсивності опромінення огорожень більше 2,8 кВт/м² варто використовувати подвійні алюмінієві екрани з відстанню між ними 30-50 мм [36].

Для гасіння пожеж у конвертерному цеху передбачені первинні засоби пожежогасіння, згідно ДСТУ 4297:2004 [37]. Для гасіння пожеж застосовують хімічні пінні вогнегасники ВХП-10 і вуглекислотні вогнегасники ВВ-2, ВВ-5 і ВВ-8, а також пересувні ВВ-25 і ВВ-80.

Для розміщення засобів пожежогасіння у цеху передбачається установка пожежного щита з набором інструментів. Пожежні щити встановлюються на території з розрахунку: один щит на 5 000 м².

3.2 Захист навколишнього середовища

У металургійному виробництві застосовують різноманітні технологічні процеси, що пов'язані з викидами шкідливих забруднюючих речовин у повітря та водний басейн. Враховуючи це, потрібно визначити основні джерела цих забруднень, її параметри з тим, щоб прийняти обґрунтовані рішення по знешкодженню або зниженню їхнього шкідливого впливу на довкілля.

Основними джерелами забруднення довкілля у металургійному виробництві є: металовідходи; пил; стічні води.

Металовідходи краще видаляти механізованим шляхом. Потім його сортирують, подрібнюють та брикетують.

Вибір методів та засобів очищення викидів шкідливих речовин здійснюється в залежності від фізико-хімічних характеристик речовин та специфічних особливостей технологічного процесу.

З метою найефективнішого виконання заходів Дніпропетровської обласної Комплексної Програми (Стратегії) екологічної безпеки та запобігання змінам клімату на 2016-2025 роки, ПАТ ДМК протягом 2018-2019 років було здійснено перегляд природоохоронних заходів та затверджено новий інвестиційний план екологічної модернізації комбінату, розроблено перелік заходів, з найбільш економічно-обґрунтованими шляхами їх реалізації, що в найкоротші терміни дозволяють забезпечити досягнення показників по зменшенню забруднення довкілля передбачених Програмою. Запропоновані заходи мають наукові обґрунтування, проведено аналіз їх ефективності імплементації, залучено найкращі фахові компанії України.

В рамках реалізації заходів Дніпропетровської обласної комплексної програми (стратегії) екологічної безпеки та запобігання змінам клімату на 2016 – 2025 роки комбінатом передбачено до виконання 45 заходів (рисунок 3.1), протягом 2016-2020 років виконано в повному обсязі 25 заходів (55,5%), в стадії реалізації перебуває 11 заходів (24,4 %), решта 9 заходів (20 %) будуть реалізовані згідно з термінами Програми [38].

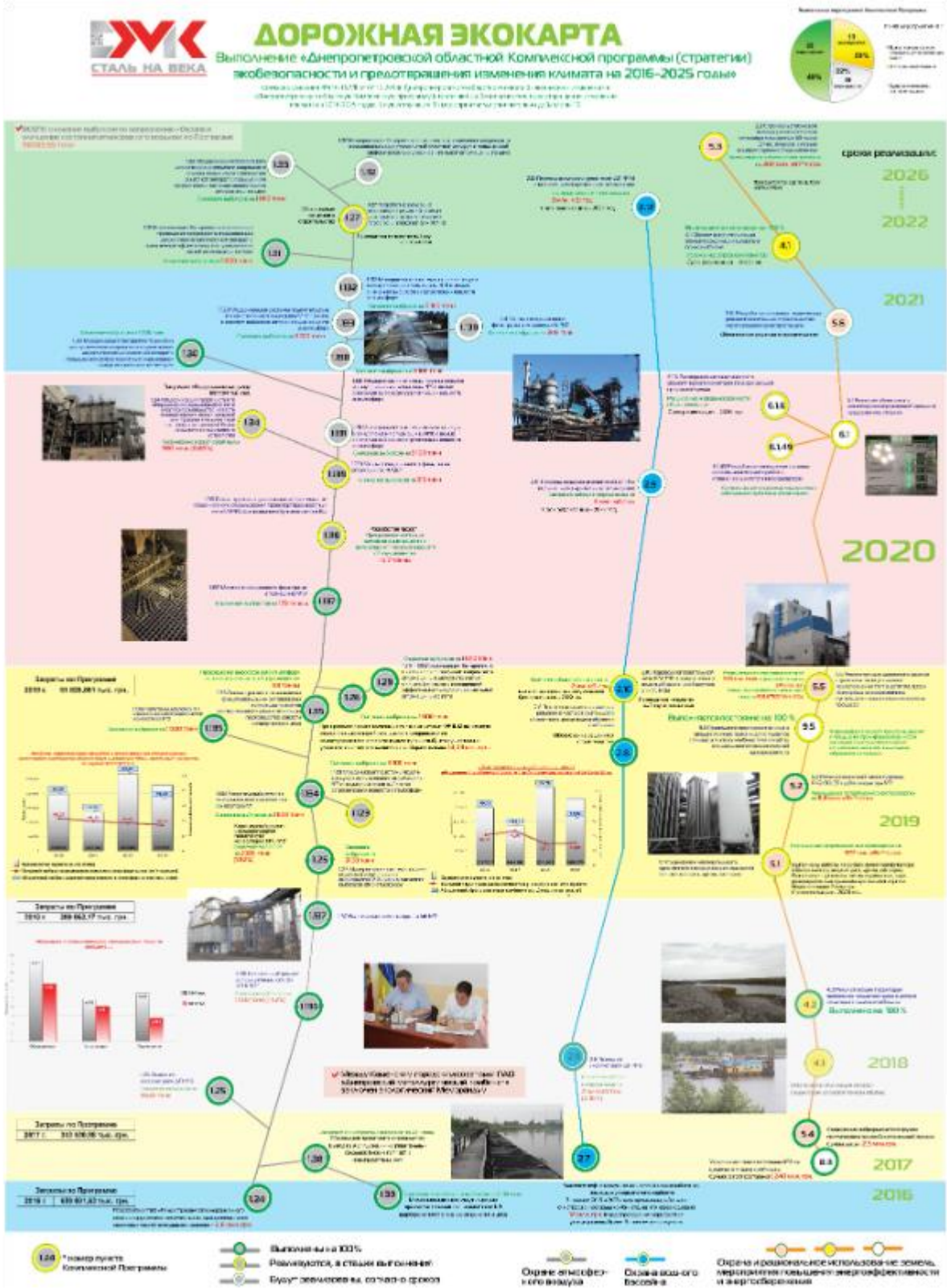


Рисунок 3.1 – Заходи ПрАТ КАМЕТ-СТАЛЬ з виконання Дніпропетровської обласної комплексної програми (стратегії) екологічної безпеки та запобігання змінам клімату на 2016-2025 рр.

ВИСНОВКИ

1. За літературними джерелами було розглянуто існуючі у світовій металургійній практиці методи розкислення сталі, визначені їх переваги та недоліки. Особливу увагу приділено методу осаджуючого розкислення сталі.

2. Розглянуто технологію розкислення та легування сталі для умов ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

Були проведені аналітичні дослідження залежності засвоєння марганцю та кремнію від технологічних факторів: вмісту вуглецю на випуску, основності та окисленості шлаку, температурі металу, часу випуску металу та інш. для умов ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

Для аналізу був використаний масив валових плавов за 20..... рік марки 5 ПСМ1 (всього плавов).

3. Ґрунтуючись на результатах проведеного аналізу визначено, що однією з основних характеристикою розкислення сталі є вигар феросплавів, який пов'язаний з їх окисненням при реагуванні з киснем, що міститься у шлаці та рідкому металі або надходить з атмосфери

Середнє значення вигару при розкисленні та легуванні сталі на випуску з конвертору кремнію - %, а марганцю -.....4 %.

З'ясовано, що з підвищенням окисленості шлаку зростає вигар, як марганцю так й кремнію що пов'язано з взаємодією феросплавів з FeO шлаку й відповідно меншій кількості марганцю та кремнію які переходить до сталі.

Знайдено, що підвищення вмісту вуглецю вигар елементів зменшується, це пов'язано з тим, що, у відповідності до залежності Вачера Гамільтона, при збільшенні вмісту вуглецю зменшується вміст кисню у сталі, а відповідно менша кількість феросплавів буде витрачена на взаємодію з ним.

Підвищення тривалості випуску підвищується вигар кремнію та марганцю, у першу чергу це пов'язано з тим що у відповідності до прийнятої технології феросплави у ківш починають віддавати при наповненні ковша на 1/5 і закінчувати при наповненні не більш 2/3 висоти, при цьому чим довше відбувається наповнення ковшу тим більший проміжок часу феросплави, після їх подання у ківш, контактують з атмосферним повітрям й відповідно збільшується їх вигар

Для агрегату ківш-піч основним факторами, що впливають на засвоєння феросплавів є окисний потенціал системи шлак-метал та час витрачений на проведення позапічної обробки.

Середнє значення вигару феросплавів при корегуванні хімічного складу сталі марки 5 ПСМ1 на установці ківш-піч для умов ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» складають кремнію – %, а марганцю -

Визначено, що підвищення вмісту кисню розчиненого у сталі вигар елементів розкислювачів зростає, це пов'язано зі збільшенням кількості кремнію та марганцю, що йде на зв'язування розчиненого кисню у міцні сполуки і відповідно менша кількість феросплавів буде засвоєно сталлю

Знайдено, що підвищенням окисленості шлаку збільшує вигар, як марганцю так й кремнію, це пов'язано з тим що при розкисленні феросплави вступають у взаємодію з FeO шлаку й менша кількість марганцю та кремнію переходить до сталі.

Підвищення часу обробки сталі сприяє стабілізації низькоокислого вигару розкислювачів, що пов'язано з особливостями технології обробки сталі на установці ківш піч на який за рахунок розвитку високих температур у зоні горіння електричних дуг виникає можливість розвитку відновлення оксидів з шлаку до металу, й при

тривалій витримці металу у ковші реакції окислення та відновлення марганцю та кремнію наближаються до рівноваги.

Згідно з розрахунками економічної ефективності від зміни технології введення розкислювачів при виробництві сталі марки 5 ПСМ1 складає грн/т. При загальній річному виробництві сталі марки 5 ПСМ1 на рівні тис. тон річний економічний ефект буде складати тис.грн.

4. В розділі «Охорона праці та охорона навколишнього середовища» були розглянуті небезпечні та шкідливі фактори, що можуть впливати на життя та здоров'я робітників конверторного прольоту конверторного цеху, також були розглянуті питання техніки безпеки та пожежної профілактики на цій ділянці. Узагальнені питання охорони навколишнього середовища при розкисленні та легуванні сталі у киснево-конверторному цеху

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Steel Statistical Yearbook, Brussels: Worldsteel Committee on Economic Studies, 2017. 124 p.
2. Тарасенко А. Вклад металургії в економіку України. URL: <https://gmk.center/posts/vkladmetallurgii-v-jekonomiku-ukrainy> (дата звернення: 07.10.2025).
3. О.Г. Величко, Б.М. Бойченко, П.С. Харлашин, М.Є. Нехаєв. Металургія сталі. Конвертерне виробництво: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія. Дніпропетровськ: РВА «ДніпроВАЛ», 2015. 434с.
4. Мазур В.І., Куцова В.З., Ковзель М.А., Носко О.А. Сплави на основі заліза: підручник. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. 500 с.
5. Розділ 1 «Теоретичні основи металургійних процесів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 136 - «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія чорних металів»/ укл.: Крячко Г.Ю. Кам'янське: ДДТУ, 2019. 68с.
6. Хричиков, В.Є. Ливарне виробництво чорних та кольорових металів: навч. посібник з грифом МОНУ/ В.Є. Хричиков, О.В. Меньяло. 2-ге вид., доопр. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. 88 с.
7. Рябічева Л.О. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів: навч. посібник. Луганськ: вид-во СНУ ім. В.Даля, 2013. 356 с.
8. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посібник Верховлюк А.М., Нарівський А.В., Могилатенко В.Г., за ред. академіка НАН України В.Л. Найдека: Видавничий дім «Вініченко», 2016. 224 с.
9. Баптизманський В.І., Бойко Б.М., Величко О.Г., Сталеплавильне виробництво: ІЗМН, 1996.400с.

10. Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія. Дніпропетровськ: Дніпро-ВАЛ, 2004. 454 с.
11. Меджибожский М.Я. Основи термодинаміки та кінетики сталеплавильних процесів. Київ; Донецьк: Вища школа. Головне вид-во, 1979. 280 с.
12. Методичні вказівки до практичних занять з дисц. «Загальна металургія, р. Металургія сталі» для студентів спеціальності 6.050401 "Металургія чорних металів". Укладачі: Сігарьов Є.М., Кулик А.Д., Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2011. 17 с.
13. Теоретичні основи сталеплавильних процесів: навч. посібник / Меджибожський М.Я., Харлашин П.С. К.: НМК ВО, 1993. 276 с.
14. Величко А.Г. Теорія й практика позапічної обробки металу. Дніпропетровськ: ГМетАУ, 1998. 103 с.
15. Курдюков А.А., Оффенгенден А.М. Розкислення та легування сталі у ковші Донецьк: Донбас, 1969. 80 с.
16. Харлашин П.С., Зборщук О.М., Фізико-хімічні процеси позаагрегатного рафінування металу. навч. посібник., Норд-прес. Донецьк. 2011.
17. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Позапічна обробка металів" для студентів спеціальності 7.090401 "Металургія чорних металів". частина II металургія сталі. укладач Сігарьов Є.М. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2009. 21 с.
18. Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія. підручник. Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2004. 454 с.

19. Величко О.Г., Стоянов О.М., Бойченко Б.М., Нізяєв К.Г. «Технології підвищення якості сталі» : підручник. Дніпропетровськ: Середняк Т.К., 2016. 196 с.
20. Розливка сталі/за ред. В.І. Баптизманського. Київ-Донецьк: Вища школа, 1977. 200с.
21. Кузькіна Н.Н., Кофман Ю.В., Морозова І.Ю., Цілих Г.В. Покращення якості киплячої та напівспокійної сталі корегуванням її окиснення. Сталь. 2003г. №3. с.21-22.
22. Шевченко Т.Г., Альперович Я.Л., Охотський В.Б. Зменшення угара феросплавів при розкисненні. Металургійна та промисловість. 1997г. №5. с.22-23.
23. Методичні вказівки до практичних занять і НДРС по дисц. «Розливка та кристалізація сталі», «Розрахунок листового сталюого зливка і виливниці для розливання спокійної, киплячої, напівспокійної сталі». Ісаєв Є.І., Бойченко Б.М., Шибко О.В. Дніпропетровськ: ДМетІ, 1992.38с.
24. Попович В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга І. Львів. 2000.264с.
25. Баптизманський В.І. Розкиснення та легування сталі екзотермічними феросплавами. Техніка, 1970. 180 с.
26. ТІ 230-С320-12. Виплавка конвертерної сталі. Технологічна інструкція. Дніпродзержинськ. 2012. 53 с.
27. ТІ 230-С456-10 Обробка сталі на установці «піч-ківш». Технологічна інструкція. Дніпродзержинськ. 2010. 48 с.
28. Шаравара Л.П. Оцінка та управління професійними ризиками на підприємствах чорної металургії: дис..канд. медичних наук:14.02.01.229с.
29. ДСНЗ.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. К.: Мінздрав, 1999.15с.

30. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. К.: Держстандарт, 1999. 24 с.
31. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Книга II. Суми. 2002.259с.
32. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення». URL:https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_5_28/1-1-0-1188
33. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ-2009. Х.: Форт, 2009. 736 с.
34. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу: затв. наказом МОЗ України від 08.04.2014 року № 248. [Електронний документ]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14/>
35. ДСТУБВ.1.136:2016. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [чинний від 2017-01-01]. Мінрегіон України, 2016.
36. Організація роботи студентів з виконання розділу Охорона праці дипломних проектів для студентів спеціальності Металургійне обладнання / С. А. Гончарова, Л. В. Дементій. Краматорськ: ДДМА, 2009.112с.
37. ДСТУ4297:2004. Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги: Укр. НДІПБ, [чинний від 2004-10-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2004.8с.
38. Екологічна програма на ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» <http://www.dmkd.dp.ua/eco>
39. Дюдкін Д.А., Бать С.Ю., Грінберг С.Є. Виробництво сталі на агрегаті ківш-піч: навч. посіб. Донецьк : ТОВ Південий Схід, 2003.300 с.