

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ

КАРМАНОВА АНАСТАСІЯ АНДРІЇВНА

УДК 669.141.267

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ
ПІДШИПНИКОВОЇ СТАЛІ МЕТОДАМИ ПОЗАПІЧНОЇ ОБРОБКИ**

Спеціальність 8.05040101 «Металургія чорних металів»

Автореферат

кваліфікаційної роботи магістра

Запоріжжя

2015

Робота є рукопис.

Робота виконана на кафедрі металургії чорних металів Запорізької державної інженерної академії Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

Кандидат технічних наук, доцент Белоконь Ю.О.

Рецензент:

Начальник технічного управління

ПАТ «Запоріжсталь», к.т.н. Набока В.І.

Захист кваліфікаційної магістерської роботи відбудеться “11” січня 2015 р. в 9⁰⁰ в аудиторії 225 на засіданні Державної екзаменаційної комісії в Запорізькій державній інженерній академії за адресою: 69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У структурі марочного сортаменту електросталі, що виробляється на одному з найбільших у країні та Європі електрометалургійному заводі ПАТ «Дніпроспецсталь», значний сегмент металопродукції як за обсягом виробництва, так і у вартісному значенні, займає підшипникова сталь. Жорсткі вимоги ГОСТ 801-78 і стандартів ряду країн (ASTM E-45, DIN 50602) до виду, складу та кількості неметалевих включень в значній мірі визначають ефективність виробництва і конкурентоспроможності підшипникової сталі. Найбільш складною для технології виплавки є сталь ШХ15СГ-В з наскрізною прогартованістю, яка призначена для виробництва великогабаритних трубних заготовок для кілець підшипників та сортового прокату для тіл кочення. Завод ПАТ «Дніпроспецсталь» є основним постачальником сортового прокату для Харківського підшипникового заводу («ХарП»), що виготовляє підшипники для мережі споруджуваних підприємств автомобільних заводів, а також за замовленнями – контрактами понад 30 країнам Європи, Америки та Азії.

Враховуючи ситуацію, що склалася до 2007 р. на ПАТ «Дніпроспецсталь» з наскрізною технологічною схемою виплавки підшипникової сталі, однією з пріоритетних задач підвищення конкурентоспроможності металопродукції на світовому ринку підшипникової сталі була розробка, освоєння і широкомасштабне впровадження інноваційної технології виплавки і позапічної обробки сталі на основі аналізу науково обґрунтованих теоретичних і прикладних досліджень.

Таким чином, узагальнення та системний аналіз теоретичних передумов виплавки електросталі на основі положень фізичної хімії, теорії металургійних процесів виплавки сталі ШХ15СГ-В та інших марок, вирішення задач підвищення якості металопродукції й ефективності електросталеплавильного виробництва за показниками якості в умовах заводу ПАТ «Дніпроспецсталь» є актуальною задачею магістерської роботи.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є узагальнення і аналіз теоретичних та експериментальних даних виробництва підшипникової сталі, дослідження параметрів наскрізної технологічної схеми і процесів виплавки металу-напівпродукту, позапічної обробки сталі в ковші-печі з розкисленням і легуванням феросилікомарганцем та вакуумуванням, для підвищення виходу готових партій продукції.

Для вирішення багатопланової проблеми підвищення якості та конкурентоспроможності підшипникової сталі в роботі сформульовані і поставлені наступні задачі:

1. Провести аналіз плавок сталі ШХ15СГ-В в печі ДСП-60 з подальшим рафінуванням металу в ковші-печі (УКП) з використанням стандартного (ДСТУ 4127-2003) та імпортного (Китай) феросиліцію з більш низьким вмістом Са, Al та визначити можливості технології регулювання вмісту

неметалевих включень (НВ).

2. Виконати термодинамічний аналіз процесу розкислення підшипникової електросталі ШХ15СГ-В при виплавці та позапічному рафінуванні металу і науково обґрунтувати можливість комплексного розкислення сталі феросилікомарганцем.

3. Встановити закономірності впливу питомих витрат ферросплавів, що забезпечують вміст кремнію та марганцю в металі.

Об'єкт дослідження: наскрізна технологія виплавки і позапічної обробки підшипникової сталі ШХ15СГ-В, що забезпечує регламентований вміст і склад неметалевих включень.

Предмет дослідження: технологічні параметри виплавки металу-напівпродукту в електропечі ДСП-60 і позапічної обробки при виробництві електросталі підшипникового сортаменту; термодинаміка реакцій розкислення сталі.

Методи дослідження. Для вирішення задач в роботі застосовано низку методів для дослідження фізико-хімії металургійних процесів і матеріалознавства, в тому числі методи металографії для оцінки забрудненості прокату підшипникової сталі за ГОСТ 801-78, ASTM E-45 (метод А) та DIN 50602(метод К); проведення дослідних плавок з отриманням металу-напівпродукту в дуговій електропечі і позапічного рафінування підшипникової електросталі.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. На підставі термодинамічного аналізу процесів розкислення підшипникової сталі отримані науково обґрунтовані знання щодо особливостей процесів формування продуктів розкислення металу окремо феромарганцем і феросиліцієм (раніше діюча технологія), сформульовані підходи до використання комплексного розкислювача – феросилікомарганцю, поглиблені положення щодо ефективності його впливу на склад неметалевих включень.

2. Встановлено закономірності впливу питомих витрат ферросплавів, що забезпечують вміст кремнію та марганцю при наступному співвідношенні

$$[\text{Si}]: \Delta b = -0,02 + 0,17 \cdot m_{\text{MnCl7}} + 0,08 \cdot m_{\text{FC65}} - 0,06 \cdot m_{\text{MnCl7}}^2 - 0,01 \cdot m_{\text{FC65}}^2 + 0,03125 \cdot m_{\text{MnCl7}} \cdot m_{\text{FC65}}$$

$$[\text{Mn}]: \Delta b = 0,12 - 0,13 \cdot m_{\text{MnCl7}} - 0,03 \cdot m_{\text{FMn78}} + 0,06 \cdot m_{\text{MnCl7}}^2 + 0,01 \cdot m_{\text{FMn78}}^2 - 0,0175 \cdot m_{\text{MnCl7}} \cdot m_{\text{FMn78}}$$

Практичне значення отриманих результатів:

1. Встановлено, що використання імпортного 65%-ного феросиліцію (Китай) з низьким вмістом кальцію і алюмінію (0,08% кожного) не зменшує сумарний вміст неметалевих включень у підшипникової сталі. При цьому зниження балів за глобулярними включеннями супроводжується підвищенням забрудненості сортового прокату оксидними включеннями з оцінкою в балах за шкалами ГОСТ 801-78 і ASTM E-45 (метод А).

2. В роботі вирішена задача виплавки і позапічної обробки сталі ШХ15СГ-В з жорстко нормованими балами за ГОСТ 801-78 і контролем включень за ASTM E-45 (метод А). Результати здавального та дослідницького контролю сортового прокату усіх п'яти розмірних груп сталі

ШХ15СГ-В свідчать, що практично весь прокат для вітчизняних і зарубіжних споживачів атестований з першого здавального контролю.

3. Впровадження інноваційної технології виробництва сталі ШХ15СГ-В з диверсифікацією феросплавів і удосконаленням режимів розкислення і легування металу-напівпродукту феросилікомарганцем МнС17 взамін високовуглецевого феромарганцю ФМн78 з обмеженими присадками феросиліцію, забезпечило вихід готових партій сортового прокату з першого здавального контролю за неметалевими включеннями до 100%. При цьому досягнуто зниження питомої витрати феросплавів на 15%.

Апробація результатів роботи. Результати досліджень, включених в кваліфікаційну магістерську роботу, доповіли на: XX науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА: металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості (Запоріжжя, 2015 р.); на XXXXII міжнародній науково-технічній конференції молоді ПАО «Запоріжсталь» та на IV міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2015р.).

Публікації. Збірник наукових праць магістрантів кафедри МЧМ. Випуск 11.- Запоріжжя: ЗДІА, 2015.-134с.; Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листоп. 2015.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2015. – 276; Збірник тез доповідей 42-ї міжнародної науково-технічної конференції молоді ВАТ Запоріжсталь.- Запоріжжя: ВАТ Запоріжсталь, 2015. -146с.

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 40 найменувань, викладена на 90 сторінках машинописного тексту, включаючи 13 рисунків, 21 таблиця.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, показано наукову новизну роботи і практичну цінність отриманих результатів.

У першому розділі розглядається загальна характеристика підшипникової електросталі, способи її виплавки та поліпшення якості позапічними методами.

Шарикопідшипникову сталь застосовують головним чином для виготовлення кульок, роликів і кілець підшипників.

Найбільш поширені підшипникові високовуглецеві сталі можна класифікувати таким чином:

1. Сталі для підшипників, що працюють у звичайних умовах
2. Сталі для підшипників, що працюють в агресивних середовищах і при підвищеній температурі

Вибір сталі для конкретного підшипника диктується його розмірами та умовами експлуатації.

У структурі електросталеплавильного виробництва ПАТ «Дніпроспецсталь» значний сегмент за обсягом виплавки і у вартісному вираженні займає підшипникова сталь групи ШХ4 ... ШХ15СГ у відкритій виплавці в дугових печах з позапічної обробкою.

Завдання отримання підшипникової сталі з регламентованими типами і кількістю неметалічних включень посилюється при контролі якості прокату за зарубіжними стандартами хімічного складу і методів випробувань ASTM E-45 (метод А), DIN 50602 (метод К), JIS G 4805.

У підшипниковій сталі відкритої дугової плавки практично незмінно присутні неметалеві включення головним чином оксиди, глобули, сульфідні - ендогенного походження. Особливістю чинного стандарту ГОСТ 801-78 є градація допустимих балів включень з урахуванням профілерозмірів і груп прокату за трьома базовими видами включень - сульфідам, оксидам і глобулу.

Неметалеві включення в підшипникових сталях є концентраторами напружень і можуть у деяких випадках бути причиною появи мікротріщин, що утворюються від підвищеної концентрації мозаїчних напруг, різкого охолодження при загартуванні та ін. В загальному ж випадку намагаються, щоб неметалеві включення мали глобулярну форму. Найбільш згубний вплив на якість підшипників надають включення оксидів і нітридів алюмінію.

Підшипникова сталь на металургійних підприємствах виробляється, в основному, в електродугових печах, хоча є досвід отримання сталі групи ШХ в кисневих конвертерах, в основних та кислих мартенівських печах.

Слід зазначити, що сталь підшипникової групи марок ШХ4, ШХ15, ШХ15СГ є традиційною для сортаменту металу, виробленого заводом «Дніпроспецсталь». Виробництво підшипникової сталі ведеться за наскрізний технологічною схемою: «дугова сталеплавильна піч (ДСП) (одержання металополупродукта), УКП (десульфурація, розкислення, легування) і вакуумна установка (розкислення, дегазація, коригуюче легування)» (рис. 1).

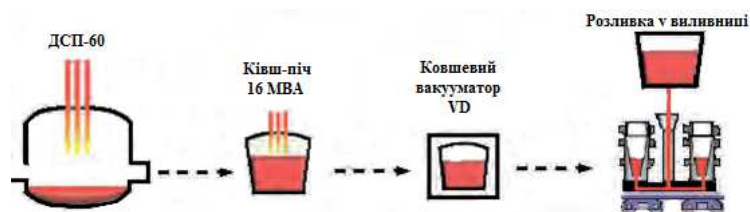


Рис. 1. Технологічна схема виплавки, позапічної обробки і розливання підшипникової сталі в ПАТ «Дніпроспецсталь»

Іншим напрямком, за яким удосконалювалась якість вітчизняної підшипникової сталі, була технологія рафінуючих переплавок - вакуумно-дугового, електрошлакового, плазмового і електроннопроменевого.

Поступово у світовій практиці набуває поширення процес, названий процесом ківш - піч. Процес включає перемішування продувкою металу аргонном в ковші, дуговий підігрів і обробку металу синтетичним шлаком у процесі його перемішування аргонном. Процес забезпечує не тільки отримання заданого хімічного складу і температури металу, але і зниження кількості неметалічних включень у внаслідок видалення сірки і кисню, що призвело до значного поліпшення механічних властивостей.

У другому розділі проводиться термодинамічний аналіз процесів розкислення підшипникових сталей та оптимізація витрат феросплавів.

Процес розкислення заліза елементами-розкислювачами в загальному вигляді може бути представлений реакцією



Константа рівноваги у цій реакції має вигляд

$$K_R = a_{(\text{R}_m\text{O}_n)} / (a_{[\text{R}]}^m \cdot a_{[\text{O}]}^n) = a_{\text{R}_m\text{O}_n} / ([\text{R}]^m f_{[\text{R}]}^m [\text{O}] f_{[\text{O}]}^n), \quad (2)$$

де $a_{[\text{R}]}$ і $a_{[\text{O}]}$ – активності елемента-розкислювача та кисню відповідно;

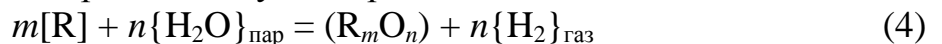
$f_{[\text{R}]}$ і $f_{[\text{O}]}$ – коефіцієнти активності елемента-розкислювача та кисню;

$a_{(\text{R}_m\text{O}_n)}$ – активність оксида – продукта реакції розкислення.

Для чистого оксиду $a_{(\text{R}_m\text{O}_n)} = 1$ і тоді

$$K_R = [\text{R}]^m f_{[\text{R}]}^m [\text{O}]_n f_{[\text{O}]}^n. \quad (3)$$

Експериментальні дані для визначення константи рівноваги реакцій окислення заліза (сплавів) різними елементами-розкислювачами отримані методом дослідження рівноваги газової фази, що складається з водяної пари і водню, і елементом-розкислювачем, розчиненим у рідкому залізі. У загальному вигляді цей процес описується реакцією



$$K = \frac{P_{\text{H}_2}^n \cdot (\text{R}_m\text{O}_n)}{P_{\text{H}_2\text{O}}^n \cdot [\text{R}]^m}.$$

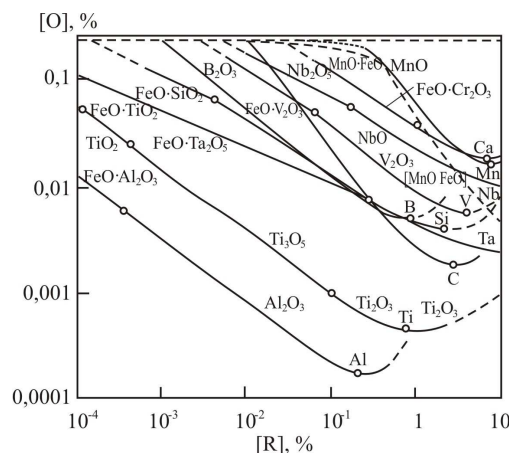


Рис. 2. Ізотерми вмісту кисню в залізі в залежності від змісту елемента-розкислювача при 1600°C

Таким чином, наведені залежності параметрів взаємодії від температури

свідчать, що раскислювальна здатність елементів-розкислювачів підвищується з пониженням температури.

Процес розкислення кремнієм феросиліцію в загальному вигляді може бути представлений реакцією

$$(\text{SiO}_2) = [\text{Si}] + 2[\text{O}],$$

$$\lg K' = \lg \frac{[\text{Si}] \cdot [\text{O}]^2}{a_{\text{SiO}_2}} = -\frac{32104}{T} + 12,65.$$

Температурна залежність істинної константи рівноваги цієї реакції від температури представлена виразом

$$\lg K_{\text{Si}} = \lg \frac{[\text{O}]^2 (f_{\text{O}}^{\text{Si}})^2 [\text{Si}] f_{\text{Si}}^{\text{Si}}}{a_{\text{SiO}_2}} = -\frac{24180}{T} + 8,83.$$

При низькому вмісті кремнію ($\leq 2,2 \cdot 10^{-3} \%$, 1600°C) продуктами розкислення заліза можуть бути рідкі силікати заліза. Мінімальний вміст кисню при екстремальній концентрації кремнію 6% дорівнює $2,7 \cdot 10^{-3}\%$.

Таким чином, при плавленні шматка феросиліцію в рідкій сталі в приповерхневих шарах з вмістом кремнію до 6% розчинність кисню знижується, а понад 5-7% Si різко зростає і при 100% Si (точка С на ізотерме кисню в системі Fe-Si-O, (рис. 3) відповідає граничній розчинності кисню в кремнії при 1600°C . Розчинність кисню в розплаві системи Fe-Si-O в залежності від температури описується рівнянням

$$\lg[\text{O}] = -8100/T + 4,80 \quad (1678 - 1973 \text{ K}).$$

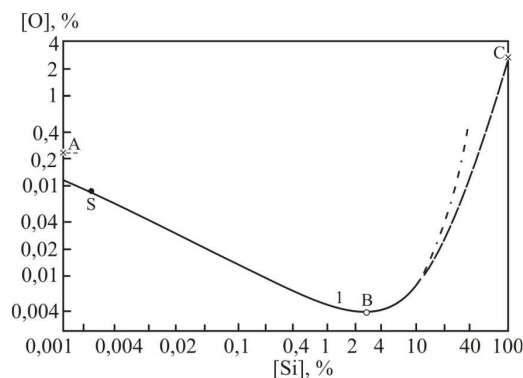
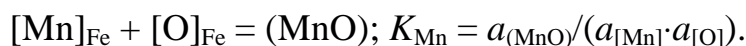
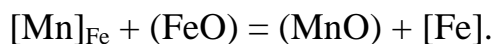


Рис. 3. Ізотерма вмістів кисню в системі Fe-Si-O при 1600°C

Процес раскислення заліза марганцем у загальному вигляді може бути описаний реакцією



При низьких концентраціях марганцю в сталі продуктом реакції є не чистий оксид марганцю MnO, а складні оксидні розплави системи $\text{FeO}_x\text{-MnO}$. Марганець активно взаємодіє з закисом заліза і цей процес описується реакцією



Температура залежності константи рівноваги реакції має вигляд

$$\lg K_{\text{Mn}} = x_{\text{MnO}} / (x_{\text{FeO}} \cdot [\% \text{Mn}])$$

$$\lg K_{\text{Mn}} = 7572/T - 3,599.$$

Залежність активності кисню від концентрації марганцю до 4% визначається за виразом

$$\lg a_{[\text{O}]} = -0,962 \lg [\% \text{Mn}] - 1,354.$$

Дослідження методом електрорушійної сили розчинності кисню в розплавах системи Fe-Mn-O при вмісті 0,01-2,0% Mn, а також в інтервалі концентрацій марганцю 2,0-87,6% (рис. 4) мають важливе значення при аналізі процесу розчинності марганцю і кисню в зонах, прилеглих до шматків феромарганцю в процесі його плавлення в рідкому металі при розкисненні і легуванні підшипникової сталі ферромарганцем.

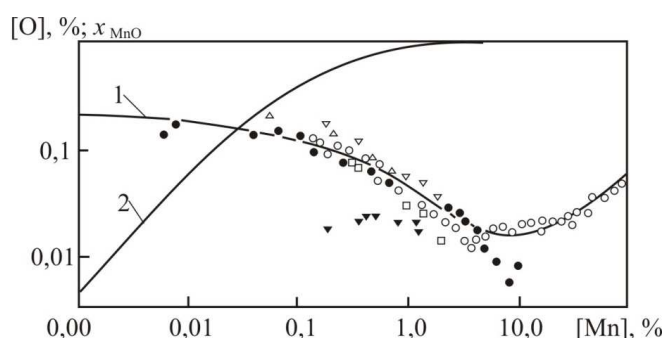
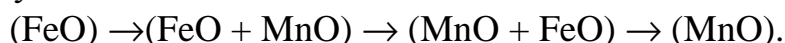


Рис. 4. Розчинність кисню у системі Fe-Mn (1) та молярна доля x_{MnO} (2) в оксидній фазі FeO-MnO при 1600°C

Досліджуючи зміну складу окисних фаз, що знаходяться в рівновазі з розплавом Fe-Mn-O при підвищенні вмісту в ньому марганцю і встановили, що ці фази формуються в наведеній нижче послідовності:



Діаграма фазової рівноваги в системі FeO-MnO має вигляд сочевиці (рис. 5). Температура ліквідус (солідус) пропорційно підвищується від температури плавлення FeO 1370°C до температури плавлення MnO 1875°C.

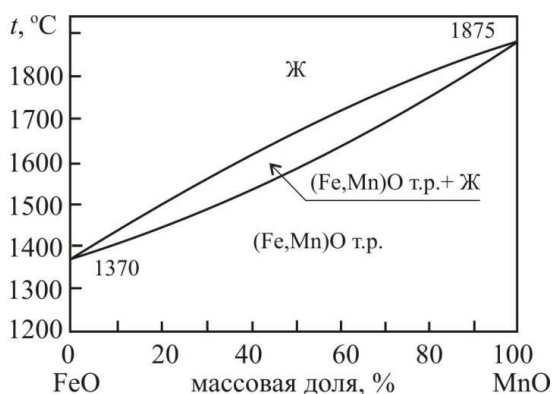


Рис. 5. Діаграма стану системи MnO-FeO

Встановлено, що спільне розкислення сталі кремнієм і марганцем

забезпечує нижчий рівноважний вміст в металі кисню при меншій забрудненості сталі неметалевими включеннями. При цьому акцентувалася увага на необхідність управління процесом розкислення таким чином, щоб відношення вмісту марганцю і кремнію знаходилося як 2:1.

Сінергітичний ефект підвищення розкислювальної здатності кремнію і марганцю при їх одночасній присутності в сталі пояснюють в основному двома факторами: зниженням активності a_{MnO} і a_{SiO} в продуктах розкислення у вигляді силікатів марганцю і їх легкоплавкістю, що ілюструється фазовою рівновагою в системі MnO-SiO_2 (рис. 7).

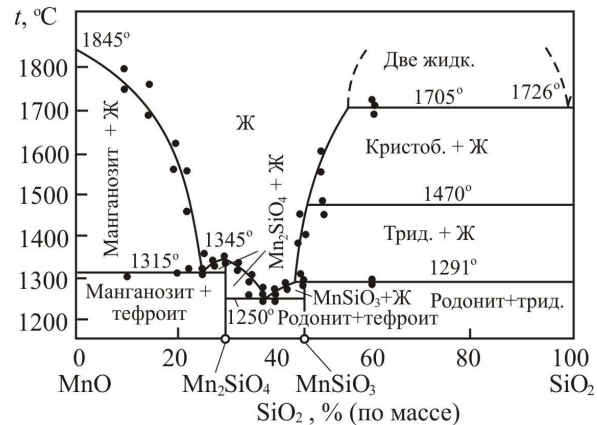


Рис. 7. Діаграма стану MnO-SiO_2

Головний висновок, який впливає з даних проаналізованої роботи і має безпосереднє відношення до теорії розкислення підшипникової сталі ШХ15 і особливо ШХ15СГ, полягає в наступному, що підвищення розкислювальної здатності кремнію при наявності в розчині марганцю обумовлено не тільки зменшенням активності SiO_2 в продуктах розкислення в силікатній фазі системи MnO-SiO_2 , але і взаємодією кремнію і марганцю з утворенням асоціатів в рідкому залзі

Паратрами оптимізації були Y_1 – зміна вмісту кремнію в металі після обробки на УПК (%); Y_2 – зміна вмісту марганцю в металі після обробки на УПК(%).

Для порівняльної характеристики впливу легуючих елементів ФХ800, ФМн78, ФС65, МнС17 на вміст кремнію та марганцю в металі були обрані підшипникові електросталі ШХ15 та ШХ15СГ-В. Використовуємо повний факторний експеримент по методу Бокса – Уілсона.

Остаточний вигляд ошуканих функцій.

[Si]:

$$\Delta b = -0.02 + 0.17 \cdot m_{\text{МнС17}} + 0.08 \cdot m_{\text{ФС65}} - 0.06 \cdot m_{\text{МнС17}}^2 - 0.01 \cdot m_{\text{ФС65}}^2 + 0.03125 \cdot m_{\text{МнС17}} \cdot m_{\text{ФС65}}$$

[Mn]:

$$\Delta b = 0,12 - 0,13 \cdot m_{\text{МнС17}} - 0,03 \cdot m_{\text{ФМн78}} + 0,06 \cdot m_{\text{МнС17}}^2 + 0,01 \cdot m_{\text{ФМн78}}^2 - 0,0175 \cdot m_{\text{МнС17}} \cdot m_{\text{ФМн78}} ;$$

Отримана адекватна модель дозволяє розрахувати значення параметра оптимізації для будь-якої крапки вивченого факторного простору.

Графічні залежності вмісту [Si] від питомої витрати МнС17 та ФС65 та [Mn] від питомої витрати МнС17 та ФМн78 на графіках(рис. 8-9).

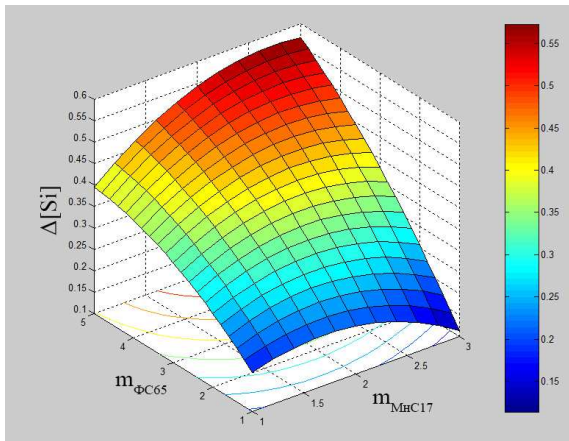


Рис. 8. Залежність зміни вмісту Si в підшипниковій електросталі при обробці на УКП від питомої витрати m_{MnC17} та m_{FC65} .

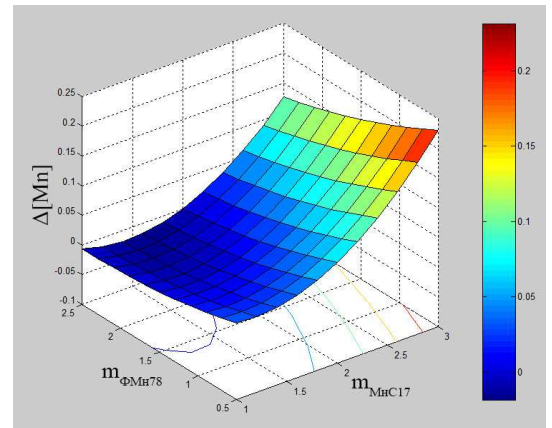


Рис. 9. Залежність зміни вмісту Mn в підшипниковій електросталі при обробці на УКП від питомої витрати m_{MnC17} та m_{FMn78} .

Розроблені регресійні моделі зміни вмісту легуючих елементів по ходу обробки підшипникової електросталі ШХ15 і ШХ15С-Г на УКП дозволяють прогнозувати зміст Si, Mn в сталі по ходу обробки.

У зв'язку з тим, що по сформованій практиці на ПАТ НЗФ з чотирьох марок феросилікомарганцю по ДСТУ 3548-97 (МнС12, МнС17, МнС22 і МнС25, феросплав МнС17 (15-20%Si, 65%Mn, 2,5%С), представляв технологічний і економічний інтерес проведення широкомасштабних дослідно-промислових експериментів і оцінка ефективності виплавки сталі ШХ15СГ-В, ШХ15 із застосуванням МнС17 (табл. 3).

Таблиця 3-

Хімічний склад феросилікомарганцю МнС17 (ДСТУ 3548-97), використаного при проведенні дослідно-промислових плавки сталі ШХ15СГ-В

№ партії	Масова доля елементів, %							
	C	Mn	Si	P	S	Ti	Al	Ca
	1,82	73,1	16,6	0,25	0,015	0,22	0,020	0,025
Норми ДСТУ 3548-97	н.б. 2,5	н.м. 65	15,0 20,0	н.б. 0,10(А) 0,60(Б)	н.б. 0,03	не регламентується		

У період промислового освоєння технології виплавки сталі ШХ15СГ-В в печі ДСП-60 плавки проводили за двома варіантами, відрізняючися в основному присадками феросилікомарганцю МнС17 в піч (варіант 1) і в ківш (варіант 2). Решта технологічні операції плавки сталі за варіантами 1 і 2 виконували у відповідності з технологічною інструкцією.

Всього проведено 36 плавки сталі марки ШХ15СГ-В, у тому числі 24 плавки за варіантом 1 (з присадкою МнС17 в піч) і 12 плавки за варіантом 2

(з присадкою MnC17 в ківш).

За першим варіантом виплавку металополупродукту проводили за наступним режимом. Після скачування шлаку окисного періоду спочатку вводили у ванну печі ферросилікомарганець MnC 17, а потім ферохром ФХ800 на нижній межі марочного змісту 0,9% і 1,3% Cr. Метал випускали з печі при температурі 1620-1640°C з відсіченням пічного шлаку.

Особливість проведення плавки по 2-му варіанту полягала в наступному. Після скачування шлаку окисного періоду з печі метал попередньо раскисляють, як і по діючій технології, ферросилієм з розрахунку на 0,15% Si з подальшим легуванням ферохромом ФХ800 і випуском металополупродукту з температурою 1640-1660°C в ківш з одночасною присадкою ТШМ та кускового феросиліцію ФС65. За обома варіантами розкислення алюмінієм робилося в ковші і на початку випуску плавки з розрахунку 1,0-1,5 кг / т в ковші.

Питома витрата феросилікомарганцю MnC17 у разі присадки його в піч (варіант 1) склав 13,82 кг / т рідкої сталі, що на 0,54 кг / т більше, ніж у випадку присадки в ківш (варіант 2). При цьому плавки за варіантом 2 супроводжувалися підвищеною витратою феросиліцію ФС65 (на 0,15 кг / т), (7,49 кг / т за варіантом 2 проти 7,34 кг / т за варіантом 1) (табл. 5).

Таблиця 5-

Порівняльні питомі витрати феросплавів при виплавці сталі ШХ15СГ-В за досліджувальною (варіант 1 і 2) та діючою технологіями

Феросплав	Питома витрата феросплавів, кг/т			
	MnC17			ФС65 и ФМн78
	1 варіант	2 варіант	середній	
Феросилікомарганець MnC17	13,82	13,28	13,55	-
Феросиліцій ФС65	7,34	7,49	7,42	12,4
Феромарганець ФМн78	0,77	0,26	0,53	12,9
Всього	21,03	21,93	21,5	25,3

Таким чином, виплавка сталі за варіантом 1 (присадка MnC17 в піч) характеризується дещо підвищеною загальною витратою феросплавів (21,93 кг / т) проте на 13,2% нижче в порівнянні з плавками діючої технології.

У третьому розділі розглянуто потенційно небезпечні та шкідливі чинники, що впливають на працівника лабораторії та проведений розрахунок вентиляційної установки.

Вентиляційні установки - пристрої, що забезпечують в приміщенні такий стан повітряного середовища, при якому людина відчуває себе нормально і мікроклімат приміщень не виявляє несприятливої дії на його здоров'ї.

Для забезпечення необхідного за санітарними нормами якості повітряного середовища необхідна постійна зміна повітря в приміщенні; замість видаляемого вводиться свіжий, після відповідної обробки, повітря. Загальнообмінна вентиляція - система, в якій повітрообмін, знайдений з умов боротьби з шкідливістю, здійснюється шляхом подачі і витяжки повітря з

всього приміщення.

Системи опалення та системи кондиціонування слід встановлювати так, щоб ні тепле, ні холодне повітря не направлялося на людей. Температура повітря в поверхні підлоги і на рівні голови не повинна відрізнятися більш, ніж на 5 градусів. У виробничих приміщеннях крім природної вентиляції передбачають приточно-витяжну вентиляцію (рис.10).

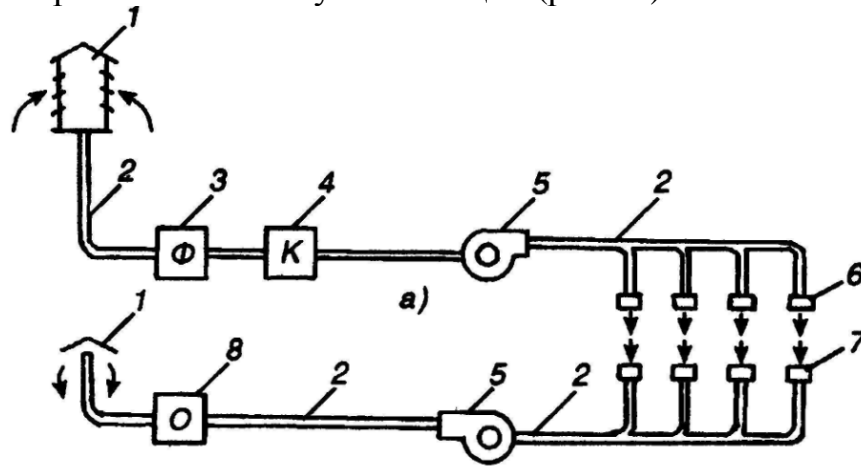


Рис. 10. Типова схема припливно-витяжної вентиляції:
1- повітрянtimer; 2 - повітропровід; 3 – фільтр; 4 – калорифер;
5 – вентилятор; 6 - припливний отвір; 7 - витяжний отвір; 8 - очисний пристрій.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень електрметалургійних процесів і термодинаміки фазових рівноваг у складній системі «підшипникова сталь – оксидно-фторидкальцієвий шлаковий розплав», досліджень типів і хімічного складу неметалевих включень в залежності від розкислювачів і режимів обробки металу на УКП і вакууматорі, розроблена ефективна наскрізна технологія виробництва сталі ШХ15СГ-В, ШХ15-В та інших марок. Ключовим положенням інноваційної технології є науково обґрунтоване використання комплексного розкислювача і легуючого – феросилікомарганцю МнС17 взамін феромарганцю ФМн75 і з обмеженим застосуванням феросиліцію ФС65 . Вирішення проблемної задачі стало можливим внаслідок системного аналізу взаємопов'язаних технологічних стадій: виплавка металу-напівпродукту в ДСП-60 , обробка сталі на УКП і вакуумування.

1. У роботи узагальнені і проаналізовані параметри діючої наскрізної технології виробництва сталі з використанням феромарганцю ФМн78 і феросиліцію ФС65 (з нерегламентованим вмістом кальцію 0,3-0,6%) на стадіях виплавки металу-напівпродукту в печі ДСП-60, позапічного рафінування сталі ШХ15СГ-В на УКП і при вакуумуванні. Встановлені фактори, що визначають забрудненість металу заготовок і сортового прокату п'яти розмірних груп за ГОСТ 801-78 глобулярними і оксидними

неметалевими включеннями, визначені основні напрямки дослідження та розробки інноваційної наскрізної технології одержання сталі з регламентованим і низьким вмістом глобулярних і оксидних неметалевих включень за оцінкою по ГОСТ 801-78 методами випробувань ASTM E-45 (метод А), DIN 50602 (метод К).

2. Проведено порівняльні дослідження впливу імпортного феросиліцію з низьким вмістом кальцію і алюмінію (0,08% кожного) та феросиліцію ФС65 (ДСТУ 4127-2002) з високим й нестабільним вмістом кальцію (0,3-0,6%) на забрудненість сталі ШХ15СГ-В глобулярними і оксидними неметалевими включеннями. За даними промислових плавок сталі в печі ДСП-60 встановлено, що в сталі, виплавленої із застосуванням імпортного феросиліцію, вміст глобулярних включень дещо знизився, але зросла кількість оксидних включень. При цьому чистота заготовок і сортового прокату по неметалевим включенням, отриманого із застосуванням низькокальцієвого імпортного феросиліцію, практично не змінилася.

3. Вперше виконані термодинамічні дослідження в системах Fe-Me (Mn, Si, Al, Ca) – $[O]_{Fe}$ в залежності від вмісту елементів-розкислювачів у металевому розплаві. Обґрунтована ефективність розкислення металу-напівпродукту в ДСП-60 феросилікомарганцем, що обмежує утворення в металі оксидних фаз MnO і SiO₂ – первинних продуктів реакцій розкислення сталі, які виникають при роздільному вводиті феромарганцю ФМн78 і феросиліцію ФС65 у сталь.

4. Розглянута технологія підвищує вихід готових партій заготовок і сортового прокату з першого здавального контролю за неметалевими включеннями з 63-70% до 92-98%, а в окремих розмірних групах – до 100%. Досягнуто зниження питомої витрати феросплавів на 15%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ МАГІСТРАНТОМ РОБІТ

1. Карманова, А.А. Дослідження методів поліпшення якості підшипникової сталі методами позапічної обробки / А.А. Карманова, Ю.О. Белоконь // Збірник наукових праць магістрантів кафедри МЧМ. Випуск 11. – Запоріжжя: ЗДІА, 2015. – С. 80.

2. Карманова, А.А. Підвищення якості підшипникової сталі шляхом зниження забрудненості неметалевими включеннями / А.А. Карманова, Ю.О. Белоконь // Матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів (Актуальні задачі сучасних технологій). – Т1. – Тернопіль: ТНТУ, 2015. – С. 55.

3. Карманова, А.А. Дослідження методів поліпшення якості підшипникових сталей позапічними методами / А.А. Карманова, Ю.О. Белоконь // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молоді ВАТ «Запоріжсталь». – Т1. – Запоріжжя: Запоріжсталь, 2015. – С. 48.