

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00753581 (Т)

ДЕРЖАВНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

На правах рукопису

БОЧКА Сергій Володимирович

РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОДУВКИ СТАЛІ У КОВШІ
АРГОНОМ ЧЕРЕЗ ПЕРЕМІШУВАНУ ФУРМУ

Спеціальність 05.16.02 "Металургія чорних металів"

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ, 1996

AB 35.002

Робота виконана на кафедрі металургії сталі
Державної металургійної академії України

Науковий керівник:
доктор технічних наук, професор Охотський В.В.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук Віхлевщук В.А.

кандидат технічних наук Брагінець Ю.Ф.

Провідна установа: металургійний комбінат
"Криворіжсталь"

Захист відбудеться "25" 06 1996 р. в 12 годин 30 хвилин
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 03.11.03 по присудженню
вченого ступеню в галузі металургії чорних металів при Державній
металургійній академії України за адресою:

320635, м. Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці
Державної металургійної академії України

Автореферат розісланий "24" 05 1996 р.

Вчений секретар спеціалізованої
ради, канд. техн. наук, доцент

Ю.С.Паніотов


М. В. Стефаніка
АН України

Загальна характеристика роботи

Актуальність роботи. Серед процесів позапичної доводки сталі у ковші одним з найбільш розповсюджених є продувка її інертним газом. Головним призначенням продувки є перемішування металу для прискорення розчинювання феросплавів і вирівнювання хімічного складу та температури металу по його об'єму у ковші.

Побічними результатами продувки є очищення сталі від неметалевих включень і газів, реакції у системі метал-шлак, які мають як позитивні (усунення сірки), так і негативні (рефосфорація, окислення деяких легуючих елементів) наслідки.

Окрім цього продувка металу у ковші за рахунок перемішувачої дії спливаючих пазирів інертного газу змінює структуру рідкої сталі, збільшуючи її рідкотекучість і розливаємість, що дає можливість знизувати температуру металу перед розливанням без погіршення характеристик останньої і техніко-економічних показників процесу виробництва сталі у цілому.

Для продувки використовуються стаціонарні дуттьові пристрої: пористі елементи у днищі або боковій стінці ковша і фурми, які занурюються у метал згори. Останні розміщуються вертикально або похило у різних позиціях відносно центра ковша, частіше всього ексцентрично.

При нерухомому положенні під час продувки, тобто стаціонарному характері дуттьових пристроїв, у результаті продувки виникає рух металу по визначеним циркуляційним контурам. При цьому мають місце зони з різною інтенсивністю перемішування, в тому числі застійні зони. В цьому випадку частина металу у ковші не підпадає безпосередньому механічному впливу спливаючих пазирів інертного газу, що знизує ефективність продувки. В зв'язку з цим актуальними уявляються дослідження, які присвячені підвищенню ефективності продувки, зокрема, через занурюючу згори фурму, і спрямовані на розробку технології обробки сталі у ковші аргонном через фурму, яка перемішується у процесі продувки, яка отримала назву технології продувки сталі у ковші аргонном через перемішувачу фурму.

Мета роботи:

- 1) вивчити гідродинамічні процеси у ковші при продувці перемішувачою фурмою;
- 2) розробити технологію продувки сталі у ковші аргонном через фурму, яка перемішується у процесі продувки;

3) дослідити вплив продувки через перемішувану фурму на результати обробки сталі у ковші;

4) дослідити процес утворення скрапу у сталерозливальному ковші;

5) скласти напівемпіричні моделі процесу утворення скрапу у ковші.

Наукова новизна.

Виповнений теоретичний аналіз гідродинамічних процесів у ковші при перемішуваній фурмі.

В результаті фізичного моделювання встановлено, що при продувці інертним газом через перемішувану фурму інтенсифікуються гідродинамічні процеси у ковші, при цьому час повного перемішування ванни скорочується.

Запропонований механізм процесу утворення скрапу у сталерозливальному ковші. Досліджено вплив деяких технологічних параметрів на зміну маси скрапу у ковші за плавку. Отримані напівемпіричні моделі процесу утворення скрапу.

Досліджено вплив продувки у ковші аргоном через перемішувану фурму на рідкотекучість сталі.

Практична цінність роботи.

Розроблена і випробувана у промислових умовах технологія обробки сталі у ковші аргоном через фурму, яка перемішується в процесі продувки.

При реалізації розробленої технології в умовах киснево-конвертерного цеху Дніпровського металургійного комбінату досягнуто покращення техніко-економічних показників в одному або декількох з наступних напрямків:

- тривалість осереднювальної продувки аргоном при досягненні необхідних результатів знижено у 1,5 - 2,0 рази;

- зменшена кількість ковшів зі скрапом на 20% і знижена середня маса скрапу у ковші;

- кількість брака металу у прокаті по поверхневим дефектам зменшено у 1,5 рази;

- покращені механічні властивості сталі;

- забезпечена нормальна розливка сталі з температурою на 10°C нижчою, ніж звичайно.

Встановлено, що при продувці аргоном через перемішувану фурму, в порівнянні з продувкою через стаціонарну фурму, ступінь осереднення металу у ковші збільшується.

Особистий вклад автора дисертації в розробку наукових положень і досягнення практичних результатів заключається в тому, що він самостійно підготував і провів дослідження та експерименти у промислових умовах і на лабораторній установці, самостійно узагальнив і пояснив їх результати, запропонував механізм і отримав моделі процесу утворення скрапу у сталерозливальному ковші.

Методи дослідження. В дисертаційній роботі використані результати досліджень і експериментів, які були проведені в промислових умовах і на лабораторній установці. При опрацюванні результатів досліджень широко використовувалися методи математичної статистики.

Реалізація результатів роботи. Результати роботи реалізовані в умовах киснево-конвертерного цеху Дніпровського металургійного комбіната ім. Дзержинського (ДМК). Реалізація результатів роботи можлива також в конвертерних цехах, які устатковані установками для продувки сталі у ковші інертним газом через занурювальну згори фурму.

Апробація роботи. Матеріали дисертації докладалися і обговорювалися на сумісному науковому семінарі кафедр металургії сталі та теорії металургійних процесів Державної металургійної академії України, на VIII-й Міжнародній науково-технічній конференції "Теорія і практика кислородно-конвертерних процесов", жовтень, 1994 р.

Публікації. Основні результати роботи викладані у 3 наукових публікаціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, семи розділів і висновків, викладена на 144 сторінках, включаючи 110 сторінок машинописного тексту, 29 малюнків, 5 таблиць, додатків та списку використаної літератури із 103 найменувань робіт вітчизняних та зарубіжних авторів.

Основний зміст роботи.

1. Стан питання.

В огляді літератури стисло розглянуті існуючі технології продувки сталі у ковші інертним газом та продувальні пристрої. Аналіз цих технологій показав, що існує необхідність підвищення ефективності роботи продувальних фурм, занурюваних у ковшову ванну згори. Серед наукових досліджень і патентів з цього питання не вдалося виявити які-небудь матеріали щодо переміщення фурми в процесі продувки. Разом з тим існує спосіб з обертанням ковша навколо верти-

кальної вісі при продувці через занурювану згори нерухому (стаціонарну) фурму. Проте при реалізації цього способу виникнуть технічні важкості щодо забезпечення обертання ковша, які можна уникнути при переміщенні продувальної фурми.

Для дослідження і контролю процесів перемішування металу у ковші при продувці інертним газом дуже часто використовується тривалість перемішування, яка вимірюється різними методами як на діючому агрегаті, так і на моделях. У відомих джерелах всі ці дослідження проведені для стаціонарної продувки через пористий елемент у днищі ванни або через фурму, яка занурюється у ванну згори. У зв'язку з цим виникає необхідність дослідження процесів перемішування сталі у ковші при продувці через перемішувану фурму.

Рядом дослідників встановлені зміни рідкотекучості, механічних і інших властивостей сталі після продувки у ковші інертним газом, які пояснюються зміною структури металу у процесі продувки. Разом з тим вплив способів продувки на ступінь зміни структури і, отже, властивостей сталі, залишається і зараз недослідженим. Це дає змогу розглядати рідкотекучість як характеристику структури металу в рідкому стані і використовувати її в якості способу контролю зміни останньої при різних способах продувки у ковші інертним газом, зокрема, через нерухому і перемішувану фурми.

Стисло розглянуті зміни теплового стану сталі у ковші після випуску із конвертера, які приводять до утворення скрапа у сталеворозливальному ковші.

2. Теоретичний аналіз гідродинамічних процесів у ковші при перемішуваній фурмі.

При розгляданні гідродинамічних процесів, які виникають у ковші при переміщенні фурми, виходили з того, що продувальна фурма для подавання аргону у ковшову ванну має циліндричну форму і, таким чином, її переміщення під час продувки, є випадком поперечного руху циліндра у рідині або, що теж саме, поперечного обтікання рідиною циліндра.

Для цих умов отримано вираз для розрахунку витрат рідини у сліді за перемішуваною фурмою.

При переміщенні фурми за час продувки металу у ковші аргон виникає рух рідини у сліді за фурмою, який спрямований у туж сторону, що і рух фурми. По мірі переміщення фурми в металі у сліді за нею витрата рідини збільшується. Рух рідини за фурмою спрямова-

ний поперек руху рідини від барботажу. Такий рух буде інтенсифікувати перемішування ванни.

При розгляді гідродинамічних процесів при барботажі прийняли, що у випадку нерухомої фурми барботаж відбувається з, так званого, точкового джерела, в якості якого може розглядатися вихідний переїз сопла. При переміщенні сопла процес стає аналогічним барботажу з лінійного джерела, закономірності якого описані в літературі.

Отримано вираз для розрахунку співвідношення витрат рідини на виході з ванни при продувці через перемішувачу і стаціонарну фурму. Розрахунки показали, що при витраті аргону через фурму $1 \text{ м}^3/\text{хв}$, у випадку перемішувачої фурми витрата рідини на виході з ванни буде більшою, ніж при стаціонарній, якщо швидкість переміщення фурми перевищує 23 см/с .

Виведено вираз для розрахунку співвідношення витрат рідини, які забезпечуються спливанням одиничних пазирів і при точковому джерелі барботажа. При існуючій витраті аргону через фурму $1 \text{ м}^3/\text{хв}$, це співвідношення складає біля $0,9$. Таким чином, якщо в наслідок переміщення фурми відбудеться перехід від барботажа групою пазирів, які взаємодіють між собою, до барботажа одиничними пазирями, то інтенсивність перемішування практично не зміниться.

3. Моделювання продувки ванни з використанням нахиленої і перемішувачої фурми.

Для дослідження процесів перемішування у ковші було проведено холодне моделювання продувки ванни інертним газом з використанням стаціонарної нахиленої і перемішувачої фурми.

Модель ковша виконана у масштабі $1:8$ в порівнянні з натурою.

При цьому рідка сталь моделювалась водою, а газова фаза - киснем.

В якості критерія моделювання була вибрана подібність на натурі і на моделі газорідного потоку, який уявляє собою барботажна зона, вираженого його відносною довжиною. Таким чином, витрата дуття на моделі визначалася виходячи з припущення щодо необхідності додержання сталості відношення глибини занурювання фурми до діаметру утворених пазирів на моделі і на натурі. За цих умов витрата дуття склала $100 \text{ см}^3/\text{с}$.

При моделюванні процесу продувки через перемішувачу фурму перемішування фурми здійснювали її відхиленням від вертикальної вісі і поворотом тримача, на якому закріплена фурма, навколо його опори.

Швидкість переміщення фурми на моделі визначалася із сталості співвідношення витрат рідини у барботажній зоні і у сліді за фурмою на натурі і на моделі і складала 21,5 см/с.

Кут нахилу до вертикальної вісі стаціонарної фурми на моделі, як і в натурних умовах ДМК ім. Дзержинського, складав 19° .

На протязі експериментів визначались параметри перемішування ванни сталерозливального ковша при продувці через стаціонарну нахилену і перемішувану фурми. При цьому вплив на перемішування таких факторів, як витрата дуття, розташування фурми відносно центра ковша і по висоті, не вивчався, оскільки ці питання достатньо повно розглянуті в літературі.

Для вивчення перемішування використовувався кондуктометричний метод, який складається в реєстрації зміни електропровідності водяного розчину при вводиті в нього сильного електроліту. В якості електроліту застосовувався 10% розчин NaCl у воді, 150 г якого подавались у різні точки поверхні ванни. Датчик встановлювався поблизу стінки моделі у чотирьох місцях на висоті 100 мм від дна.

Кожне з місць встановки датчика характеризувалось відстанню від датчика до сопла фурми. При перемішуваній фурмі - розрахованою середньою за цикл переміщення відстанню від датчика до сопла фурми.

При кожному положенні датчика послідовне введення електроліту здійснювалось у п'яти різних місцях, які характеризуються найкоротшою відстанню до датчика.

Зняття кривої відклику здійснювалось потенціометром КСП-4 при швидкості протяжки стрічки 30 мм/хв.

Фіксувались тривалість періоду досягнення на кривій відклику стабільної горизонтальної ділянки τ^* , яка уявляє собою тривалість повного змішування електроліту, величина потенціалу U^* , яка характеризує середню концентрацію електроліту в розчині, а також тривалість інерційного періоду τ_{in} і максимальна амплітуда коливань кривої відклику U_{max} .

Встановлено, що середні величини тривалості повного змішування, інерційного періоду і максимальної амплітуди коливань при перемішуваній фурмі у 1,5 рази менші, ніж при нахиленій. При цьому криві відклику при продувці через нахилену і перемішувану фурми мають різний характер.

В обох випадках продувки з віддаленням міста введення електроліту від датчика максимальна амплітуда коливань, яка характери-

зується відношенням U_{\max}/U^* , зменшується, а тривалість інерційного періоду, яка уявляє собою час від моменту введення електроліту до моменту реєстрації його датчиком, збільшується, причому при нахиленій фурмі більш значно, що свідчить про меншу швидкість циркуляційних потоків.

З віддаленням датчика від сопла фурми, а, отже, і від джерела перемішування, швидкості циркуляційних потоків у місці встановки датчика зменшується, завдяки чому величина U_{\max}/U^* при обох способах продувки збільшується, причому при нахиленій фурмі це збільшення більш значне. Зміна тривалості інерційного періоду при цьому відповідає точності вимірювання.

Вказані показники характеризують динаміку процесу змішування і не мають практичного застосування. Разом з тим вони дозволять зробити висновок про те, що при продувці через перемішувану фурму перемішування ковшової ванни покращується.

Зміна величини тривалості повного змішування електроліту τ^* при нахиленій фурмі відбувається в доволі широких межах: від 45 до 80 с. При перемішуваній фурмі τ^* змінюється від 40 до 50 с. Середні величини τ^* для обох видів продувки складають, відповідно, 61,3 і 41,5 с.

Тривалість повного змішування як при нахилній, так і при перемішуваній фурмі практично не залежить від місця введення електроліту.

З віддаленням датчика від сопла фурми величина τ^* при нахиленій фурмі збільшується. При перемішуваній фурмі тривалість повного змішування не залежить від місця встановки датчика.

Отримані на моделі тривалості повного змішування при продувці через нахилену та перемішувану фурми були перераховані для натурних умов 250 т ковша киснево-конвертерного цеху ДМК. Розрахунки різними методами: по кількості циклів перемішування і при умові $H_0 = idem$, показали, приблизно, однакові результати. Тривалість продувки аргоном з інтенсивністю $60 \text{ м}^3/\text{год}$ для повного змішування металу у ковші на натурному об'єкті - 250 т сталерозливальному ковші складала: для нахиленої фурми - 3 хв; для перемішуваної фурми - 2 хв.

Таким чином, фізичне моделювання продувки металу у ковші інертним газом показало, що при переміщені фурми інтенсифікуються гідродинамічні процеси у ковші, при цьому тривалість повного змішування ванни скорочується в 1,5 рази.

4. Модель процесу утворення скрапу у сталерозливному ковші.

В роботі запропоновано наступний механізм процесу утворення скрапу. Очевидно, що затвердіння металу на футеровці ковша і утворення скрапу можливе, якщо тепловідвід від межі розділу металу з футеровкою перевищує тепловідвід до неї з об'єму металу. Зовнішній теплоперенос від межі контакту поверхні футеровки з металом у футеровку ковша здійснюється, в першому наближенні, у відповідності з закономірностями нестационарної теплопровідності у напівнескінчене середовище при сталій температурі на межі розділу, з інтенсивністю:

$$Q_{\text{зовн}} = \frac{\lambda}{(\pi a \tau)^{1/2}} (t_{\text{гр}} - t_{\text{ф}}), \text{ Вт/м}^2, \quad (1)$$

де λ , a - коефіцієнти теплопровідності і температуропровідності вогнетривів футеровки ковша, відповідно, $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$ і $\text{м}^2/\text{с}$; $t_{\text{ф}}$ - початкова температура футеровки, К ; $t_{\text{гр}}$ - гранична температура, К ; τ - тривалість контакту футеровки ковша зі сталлю, с .

Якщо температура на межі контакту рідкого металу з затверділим скрапом у ковші дорівнює температурі солідус, то питома інтенсивність внутрішнього теплопереносу від рідкого металу дорівнює:

$$Q_{\text{внутр}} = \alpha_{\text{внутр}} (t - t_{\text{сол}}), \text{ Вт/м}^2, \quad (2)$$

де $\alpha_{\text{внутр}}$ - коефіцієнт внутрішнього теплопереносу, $\text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$; t - температура металу, К ; $t_{\text{сол}}$ - температура солідус сталі, К .

Відповідно розрахункам, величина $Q_{\text{зовн}}$ з часом зменшується і при $\tau > 10$ хв, $Q_{\text{зовн}}$ стає практично сталою. В той же час величина $Q_{\text{внутр}}$ змінюється у залежності від гідродинамічної обстановки у ковші, збільшуючись при інтенсивному перемішуванні металу. Крім випуску це має місце при продувці металу аргонном. При гравітаційному перемішуванні металу, викликаному різницею температур сталі на межі її контакту з футеровкою або скрапом і в об'ємі ванни, $Q_{\text{внутр}}$ буде меншим, ніж при механічному перемішуванні. Співвідношення $Q_{\text{зовн}}$ і $Q_{\text{внутр}}$, таким чином, може бути різним: $Q_{\text{зовн}} \gg Q_{\text{внутр}}$, що і визначає темп нарощування або усунення шару твердого металу. При цьому кількість тепла, яке іде на розплавлення скрапу, або від недостатку якого утворюється скрап, дорівнює:

$$\Delta H = (Q_{\text{зовн}} - Q_{\text{внутр}}) F \tau, \text{ Дж}, \quad (3)$$

де F - площа поверхні, через яку здійснюється теплоперенос, м^2 .

Для того, щоб в'яснити, коли, головним чином, відбувається утворення скрапу у сталерозливному ковші, технологічна схема

"випуск із конвертера - розливання" була розділена на періоди, на протязі яких, гідродинамічна обстановка у ковші приблизно однакова. В цьому випадку зміна маси скрапу у ковші за кожен період ΔC_1 , відповідно запропонованому механізму процесу утворення скрапу, дорівнюватиме:

$$\Delta C_1 = (q_{\text{іззовн}} - q_{\text{внутр}}) \frac{F \tau_1}{L}, \text{ кг}, \quad (4)$$

де τ_1 - тривалість періоду, с; L - прихована теплота твердіння сталі, Дж/кг.

На підставі даного виразу, а також з використанням відомих виразів розрахунку коефіцієнта внутрішнього теплопереносу для рівних гідродинамічних умов у ковші, була складена емпірична модель процесу утворення скрапу.

Масив виробничих даних плавок поточного виробництва ДМК був опрацьований на ПЕОМ у відповідності з розробленою моделлю. В результаті було отримано рівняння регресії, яке пов'язує зміну маси скрапу у ковші за плавку з можливими змінами її на тих етапах технологічної схеми, які були, відповідно з результатами опрацювання, вірогідними.

При середніх величинах перемінних, що входять у отриману напівемпіричну модель, на етапі випуску маса скрапу у ковші збільшується на 81% від зміни маси скрапу за плавку, на етапі передачі на розливання - на 17%.

Для визначення впливу різних факторів на зміну маси скрапу у ковші за плавку масив виробничих даних був опрацьований по статистичній моделі полінома 2-го ступеню.

Аналіз цього рівняння показав, що найбільше зменшення маси скрапу відбувається в період продувки металу у ковші аргоном. Присадки у ковш розкислювачів і легуючих незначно впливають на утворення скрапу і це відбувається у відповідності з їх тепловими ефектами: добавки, які нагрівають сталь, зменшують масу скрапу і, наомак. Присадки ж у ковш сталюї стружки, яку використовують в якості охолодника, зменшують масу скрапу.

Визначені оптимальні значення деяких параметрів, при яких маса утвореного скрапу мінімальна.

Таким чином, аналіз отриманих рівнянь показав, що основна маса скрапу в сталерозливальному ковші утворюється під час випуску сталі з конвертера. Очевидно, це пов'язано з недостатнім прогрівом футеровки ковшів, а також з використанням ковшів зі скрапом, яке

має місце на ДМК, що значно збільшує $Q_{зовн}$ на початку випуску. Збільшення маси скрапу відбувається також при витримці металу у ковші після закінчення позапічної доводки під час передачі плавки на розливання.

Зроблені висновки відповідають результатам хімічного аналізу проб скрапу, відібраних в киснево-конвертерному цеху ДМК. Проба, відібрана з поверхні скрапини, яка торкається футеровки дна ковша, мала склад, близький до складу металу, який випускається з конвертера. Проба, яка була відібрана з поверхні, що торкається з рідким металом, мала хімічний склад готової сталі, плавка якої знаходилася перед цим у даному ковші.

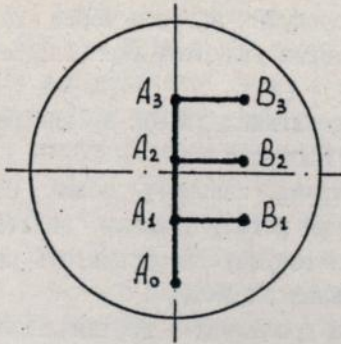
5. Результати обробки сталі у ковші при продувці аргоном через перемішувану фурму.

Дослідження проводилися в умовах киснево-конвертерного цеху Дніпровського металургійного комбінату. Виплавка сталі в цьому цеху здійснюється у двох 250 т конвертерах. Для позапічної обробки і доводки сталі служать дві установки продувки інертним газом через фурму, яка занурюється у метал згори на глибину 3,0 - 3,5 м і відхиляється від вертикальної вісі на кут 19° , з витратою 50 - 70 м³/год, і установка комплексної доводки сталі по складу і температурі.

Осереднювальна продувка аргоном киплячої сталі триває 3-5, напівспокійної - 3-5, спокійної - 5-8, низьколегованої і рейкової - 8-10 хвилин.

При розробці схеми переміщення фурми у процесі продувки брали до уваги необхідність вилучення механічних ударів фурми об стінки ковша, а також запобігання розмивання барботажною зоною футеровки ковша при наближенні до неї фурми. З урахуванням цього відстань від фурми до стінки ковша повинна бути більше радіуса зони барботажу, який при глибині занурювання фурми 3,0-3,5 м складає 0,56 - 0,65 м.

Виходячи з цього і, враховуючи взаємне розміщення фурми і сталерозливного ковша на сталевозі, була розроблена схема переміщення фурми, яка представлена на мал. 1. Переміщення здійснюється у автоматичному режимі з використанням існуючих пристроїв повороту фурми і зміни кута її нахилу до вертикальної вісі. Геометрія схеми в одиницях довжини та часу переміщення фурми приведена у таблиці 1.



Мал. 1. Схема переміщення фурми.

Веручи до уваги, що тривалість циклу автоматичного переміщення фурми при продувці сталі у ковші складає 80-85 с, і результати фізичного моделювання, був встановлений наступний регламент осереднювальної продувки аргоном через переміщувану фурму: киплячі і напівспокійні марки сталі - 1-2; спокійні марки - 2-3;

Таблиця 5.1.

Геометрія схеми переміщення в одиницях довжини і часу переміщення фурми.

N п/п	Пункти переміщення фурми	Відстань, м	Швидкість, м/с	τ , с
1.	A ₀	0	0	6
2.	A ₀ - A ₁	0,6 - 0,8	0,17 - 0,19	4 - 5
3.	A ₁ - B ₁	0,5 - 0,7	0,50 - 0,70	1
4.	B ₁	0	0	15
5.	B ₁ - A ₁	0,5 - 0,7	0,50 - 0,70	1
6.	A ₁	0	0	3
7.	A ₁ - A ₂	0,6 - 0,8	0,17 - 0,19	4 - 5
8.	A ₂ - B ₂	0,5 - 0,7	0,50 - 0,70	1
9.	B ₂	0	0	15
10.	B ₂ - A ₂	0,5 - 0,7	0,50 - 0,70	1
11.	A ₂	0	0	3
12.	A ₂ - A ₃	0,6 - 0,8	0,17 - 0,19	4 - 5
13.	A ₃ - B ₃	0,5 - 0,7	0,50 - 0,70	1
14.	B ₃	0	0	15
15.	B ₃ - A ₃	0,5 - 0,7	0,50 - 0,70	1
16.	A ₃ - A ₀	1,8 - 2,1	0,34 - 0,36	5 - 7
Тривалість одного циклу				80 - 85

низьколеговані і рейкові марки сталі - 3-4 циклу переміщення. При цьому тривалість осереднювальної продувки аргоном через перемішувачу фурму була у 1,5-2,0 рази менша існуючої для продувки через стаціонарну нахилену фурму.

В результаті проведення 180 дослідних плавок з використанням нової технології було встановлено наступне.

При переміщенні фурми на поверхні ванни у ковші виникають хвилі. Проте це не визивало виплески металу і шлаку, вилітаючих за межі ковша, що дозволило зберегти існуючу інтенсивність продувки, 50-70 м³/год, що була на порівняльних плавках.

Ефективність перемішування на дослідних і порівняльних плавках оцінювали по різниці концентрацій елементів в пробах, відібраних у кінці доводки і в середині розливки сталі. Беручи до уваги, що на доводці проба відбирається пробовідбірником на глибині 300-700 мм від рівня ванни, а на розливці - із струмини витікаючого металу, тобто приблизно із середньої частини ковша, то дана різниця концентрацій ілюструє неровномірність складу сталі по висоті ковша. Зі збільшенням тривалості продувки аргоном різниця концентрацій елементів зменшується, причому для вуглецю і марганцю на дослідних плавках вона зменшується декілька інтенсивніше, ніж на порівняльних, для інших елементів на дослідних та порівняльних плавках вона зменшується приблизно однаково.

Відбір проб у ході розливання низьколегованих марок сталі показав, що різниця концентрацій у них елементів складає 1-3 відн.% при перемішуванні і 3-5 відн.% при стаціонарній нахиленій фурмі. Це свідчить про те, що, не дивлячись на зменшення тривалості осереднювальної продувки у 1,5-2,0 рази, ступінь осереднення сталі у ковші на дослідних плавках збільшилась.

Встановлено, що частка ковшів, у яких після закінчення розливання був скрап, зменшилась на 20%. Середня маса скрапу на заскраплених ковшах зменшилась з 2,11 т на порівняльних до 1,76 т на дослідних плавках, тобто на 16,5%.

Результати огляду ковшів контролерами ВТК були виражені у балах: "козел" - 8; скрапина - 4; сітка металу - 1; чистий ковш - 0 балів. Зміна маси скрапу у ковші ΔC , бали, визначалась як різниця між кінцевим після розливання і вихідним станом ковша.

Залежність зміни маси скрапу у ковші від тривалості продувки аргоном показує, що при звичайній технології продувки існує тенденція до збільшення маси скрапу у ковші після чергової плавки.

Про це говорить позитивна величина ΔC для найбільш розповсюджених киплячих і напівспокійних марок сталі, тривалість продувки яких складає 3-5 хв. Збільшення тривалості продувки аргонном зменшує цю тенденцію для нахиленої фурми і при 8 хв. продувки маса скрапу у ковші до і після плавки стає практично однаковою.

При продувці через перемішувану фурму навіть при малій її тривалості маса скрапу у ковші після плавки практично не збільшується, а при $\tau_{Ar} > 5$ хв. значно зменшується.

При тривалості перебування сталі на доводці до 25 хв. маса скрапу у ковші на звичайних плавках не збільшується, а більше 25 хв. починає помітно зростати. На дослідних плавках на всьому діапазоні тривалості перебування металу на доводці маса скрапу у ковші до і після плавки залишається однаковою.

Встановлено, що для стаціонарної нахиленої фурми при температурі сталі після доводки нижче 1560°C маса скрапу у ковші збільшується і тим сильніше, чим нижче температура. На плавках з переміщенням фурми навіть у діапазоні порівняльно низьких температур $1540-1550^{\circ}\text{C}$ маса скрапу у ковші після плавки практично не змінюється, а на більш гарячих плавках монотонно зменшується з ростом температури. Для $\Delta C = 0$, коли можливе порівняння впливу на утворення скрапу двох технологій, продувка через перемішувану фурму дозволяє підтримати цей вплив при температурі сталі на 10°C меншій, ніж при продувці через стаціонарну нахилену фурму.

В цілому у всьому діапазоні виробляемого сортамента сталей зменшення маси скрапу у ковші при використанні перемішуваної фурми на 0,5-3,0 бали перевищує результати продувки через стаціонарну нахилену фурму.

З використанням роз'ємного бруска з горизонтальним каналом визначена рідкотекучість сталі через 15-20 хв. від початку розливання. Довжина проби на рідкотекучість коливалась у межах 24-90 мм і в середньому складала 45 мм на порівняльних і 70 мм на дослідних плавках. При звичайній технології продувки аргонном рідкотекучість сталі менша на 10-40 мм, ніж при новій технології при однаковій температурі розливаемого металу. При продувці через перемішувану фурму та ж рідкотекучість досягається при температурі після доводки, по меншій мірі, на 10°C нижчій, ніж при продувці через стаціонарну нахилену фурму, що говорить про більш значну зміну структури металу на дослідних плавках.

Дослідження механічних властивостей сталі показали, що в по-

рівнянні зі звичайною технологією продувки, міцнісні властивості різних марок сталі, продутих аргонем через перемішувану фурму, збільшилися на 0,4-10,0 відн.%, а пластичні - змінилися на -2,3 - +4,1 відн.%. При цьому зміни складу готового металу на дослідних плавках в порівнянні зі звичайними не відбувається і, отже, вона не може служити причиною зміни механічних властивостей сталі.

Брак металу у прокаті по поверхневим дефектам сталеплавильного походження знизився з 0,617% при звичайній технології до 0,389% при новій технології, тобто у 1,5 рази.

Таким чином, встановлено, що використання розробленої технології продувки сталі у ковші аргонем через перемішувану фурму підвищує ефективність продувки, збільшує рідкотекучість сталі, зменшує масу скрапу у ковші після плавки і брак металу у прокаті, покращує механічні властивості сталі. Це відбувається за рахунок покращення перемішування металу у ковші, завдяки переміщенню барботажної зони в об'ємі ванни, що, можливо, збільшує ступінь впливу продувки на структуру сталі.

6. Рациональна технологія продувки сталі в ковші аргонем через перемішувану фурму.

Експлуатація розробленої технології показала вдалість вибору її основних положень. При цьому встановлена можливість без погіршення умов розливки і показників по браку металу у прокаті і заскрапленості ковшів, по крайній мірі, на 10°C знизити температуру сталі перед розливкою.

На плавках сталей марок ЗПС і БПС була випробувана робота з температурою у кінці доводки на 7-12°C нижчою звичайної при їх осереднювальній продувці через перемішувану фурму. При однаковій тривалості продувки і розливки збільшення кількості браку металу у прокаті і заскрапленості ковшеї не відбулося. Маса скрапу у ковші склала у середньому 1,94 т проти 2,11 т при продувці через стаціонарну нахилену фурму.

Таким чином, встановлено, що продувка сталі у ковші аргонем через перемішувану фурму дозволяє розливати метал з температурою на 10°C меншою, ніж при звичайній продувці, без погіршення техніко-економічних показників процесу виробництва сталі. Тим самим показана можливість такого ж зниження температури випуску металу з конвертера, що дозволяє зменшити частку рідкого чавуну у шихті кисневих конвертерів.

У главі 7 приведений техніко-економічний аналіз розробленої технології продувки сталі у ковші аргоном через перемішувану фурму в порівнянні з існуючою на ДМК технологією продувки через стаціонарну нахилену фурму. Економічний ефект від впровадження розробленої в дисертації технології склав при звичайній температурі сталі - 0,4572%, при пониженій температурі сталі - 0,4988% від середньої собівартості однієї тони сталі.

Висновки.

1. Проведено теоретичний аналіз гідродинамічних процесів у ковші при перемішуваній фурмі. Отримані вирази для розрахунку витрати ріднини у сліді за перемішуваною фурмою і співвідношення витрат ріднини на виході з ванни при продувці через перемішувану і стаціонарну фурми.

2. В результаті проведення фізичного моделювання продувки металу у ковші інертним газом встановлено, що при переміщенні фурми інтенсифікуються гідродинамічні процеси у ковші, при цьому тривалість повного змішування ванни скорочується у 1,5 рази.

3. Запропоновано механізм процесу утворення скрапу у сталерозливальному ковші. Вперше проаналізовано вплив різних факторів на зміну маси скрапу у ковші за плавку. Розроблені моделі процесу утворення скрапу у ковші. На підставі отриманих моделей встановлено, що утворення скрапу відбувається у періоди випуску з конвертера та витримки сталі в ковші після доводки, під час передачі плавки на розливання. Продувка аргоном зменшує масу скрапу. Розкислювачі і легуючі незначно впливають на масу скрапу.

4. Розроблена технологія продувки сталі у ковші аргоном через фурму, яка переміщується у об'ємі ковша в процесі продувки. Швидкість переміщення фурми у поздовжньому напрямку - 0,17-0,19 м/с, у поперечному - 0,5-0,7 м/с. Тривалість циклу переміщення фурми складає 80-85 секунд, тривалість осереднювальної продувки різних марок сталі складає від 1 до 4 циклів переміщення, інтенсивність подавання газу - 50-70 м³/год.

5. Показано, що при зменшенні тривалості осереднювальної продувки аргоном через перемішувану фурму у 1,5-2,0 рази, в порівнянні з продувкою через стаціонарну нахилену фурму, ступінь осереднення сталі у ковші збільшується.

6. Відзначено, що при новій технології частка ковшів зі скрапом зменшується на 20% і знижується середня маса скрапу у ковші.

7. Встановлено, що при інших рівних умовах сталь, яка продута аргоном через переміщувану фурму, володіє більш високою рідкотікучістю, ніж продута через стаціонарну нахилену фурму, що свідчить про більш значну зміну структури металу.

8. Показано, що при використанні розробленої технології підвищуються механічні властивості сталі і зменшується брак металу у прокаті по поверхневим дефектам.

9. Встановлено, що при продувці аргоном через переміщувану фурму, зниження температури сталі перед розливанням на 10°C не приводить до збільшення заскrapленості сталерозливальних ковшів і кількості браку металу у прокаті. Тим самим показана можливість такого ж зниження температури випуску сталі з конвертера за умов її подальшої обробки аргоном за розробленою технологією.

10. Економічний ефект від впровадження розробленої в дисертації технології продувки сталі у ковші аргоном через переміщувану фурму в умовах ДМК ім. Держинського склав при звичайній температурі сталі - 0,4572%, при понижений температурі сталі - 0,4988% від середньої собівартості однієї тони сталі.

Основний зміст дисертації відображено у слідуючих роботах:

1. Охотский В.Б., Бочка С.В. Повышение разливаемости конвертерной стали // Теория и практика кислородно-конвертерных процессов: Тезисы докладов VIII Международной научно-технической конференции. Днепропетровск, 25-27 октября 1994 г. - Днепропетровск, 1994. - с. 99-101.

2. Образование скрапа в сталеразливочном ковше / Охотский В.Б., Бочка С.В., Харахулах В.С. и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1995. - № 3. - с. 14-16.

3. Охотский В.Б., Бочка С.В. О жидкотекучести конвертерной стали // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 1995. - № 3. - с. 76.

Бочка С.В. Разработка технологии продувки стали в ковше аргоном через перемещающуюся фурму. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 "Металлургия черных металлов". Государственная металлургическая академия Украины, Днепропетровск, 1996. Рукопись 144 с., 5 табл., 29 рис., библиогр. 103 назв.

Ключевые слова: сталь, ковш, аргон, продувка, фурма, перемещение, скрап, модель.

Посвящена проблеме повышения эффективности продувки стали в ковше инертным газом через погружаемую сверху фурму. В результате физического моделирования продувки металла в ковше инертным газом установлено, что при перемещении фурмы интенсифицируются гидродинамические процессы в ковше, при этом время полного смешения ванны сокращается. Предложен механизм процесса образования скрапа в сталеразливочном ковше. Получены модели процесса образования скрапа. Разработана технология продувки стали в ковше аргонном через перемещающуюся фурму, использование которой повышает эффективность продувки, увеличивает жидкотекучесть стали, уменьшает массу скрапа в ковше после плавки и брак металла в прокате, повышает механические свойства стали.

Bochka S.V. The Elaboration of the Argon Injection's Technology in the Ladle Through the Moving Lance. Master's thesis on the speciality 05.16.02 "Ferrous Metallurgy". State Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1996. Manuscript: pages-144, tables-5, figures-29, references-103.

Key words: steel, ladle, argon, injection, lance, movement, scrap, model.

It dedicates of the problem to increases efficiency of inert gases injection in the ladle through the lance, which has immersed from top. In consequence of the physical's model of inert gases injection in the ladle was determined, what if the lance is moving then hydrodynamic processes in the ladle intensificate and time of full mixing of the bath decreases. There was offered scrap's formation mechanism in the ladle. It had obtained models of scrap's formation process. There was elaborated of argon injection's technology in the ladle through the moving lance. The injection's efficiency from using this technology, fluid flow of steel are improving, scrap's weight in the ladle and defect of metall in rolling have decreased after melt. Mechanical properties of steel are improving.

Підписано до друку 17.05.96р.
Об'єм I п.а. Формат 60x80x16
Тираж 50 пр.Замовлення № 2735

Васильківська райдрукарня, вул. Леніна, 3

436900

AB 35.029