



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **87412** (13) **C2**

(51) МПК (2009)

**C21C 7/00**

**C21C 7/06**

**C21C 5/00**

**C21C 5/04** (2009.01)

**C21C 5/28**

**C21C 5/52** (2009.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

**(54) СПОСІБ ВИРОБНИЦТВА НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ КИПЛЯЧОЇ СТАЛІ**

1

2

**(21)** а200804809

**(22)** 14.04.2008

**(24)** 10.07.2009

**(46)** 10.07.2009, Бюл.№ 13, 2009 р.

**(72)** МАТВІЄНКОВ СЕРГІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ, ПРАХНІН ВЯЧЕСЛАВ ЛЕОНІДОВИЧ, ШЕБАНИЦЬ ЕДУАРД МИКОЛАЙОВИЧ, ФЕНТІСОВ ІГОР МИКОЛАЙОВИЧ, ОМЕЛЬЯНЕНКО МИКОЛА ІВАНОВИЧ, ГАПОНОВ БОРИС ПЕТРОВИЧ, КУРАКІН ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, ГОДИНСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ, КОМАР СЕРГІЙ МИХАЙЛОВИЧ, КОВАЛЬ СЕРГІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, КЛАДІТІ ГЕОРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ, ЧИЧКАРЄВ ЄВГЕН АНАТОЛІЙОВИЧ, СТЕФАНЕЦЬ АРТЕМ ВИКТОРОВИЧ

**(73)** ВІДКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "МАРІУПОЛЬСЬКИЙ МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ ІМ. ІЛЛІЧА"

**(56)** SU, 971 892, A, 07.11.1982

SU, 1 375 657, A1, 23.02.1986

RU, 95110950, A, 10.04.1997

RU, 2 156 812, C1, 27.09.2000

RU, 2 265 064, C2, 10.06.2005

GB, 309 971, A, 18.04.1929

CS, 238 707, B1, 16.03.1987

US, 4 014 683, A, 29.03.1977

JP, 62-120418, A, 01.06.1987

**(57)** 1. Спосіб виробництва низьковуглецевої киплячої сталі, який включає виплавку напівпродукту із вмістом вуглецю до 0,12 мас. %, випуск його в ківш, розкиснення в ковші феромарганцем та подальше розливання у виливниці, який **відрізняється** тим, що на початку випуску напівпродукту з сталеплавильного агрегату в ківш вводять вуглецевмісний матеріал фракцією 3-15 мм в кількості, яку визначають окисленістю сталі та вмістом вуглецю в ній по формулі:

$$g_c \left( 0,075 \cdot \frac{(a_{[O]} - a_{\text{опт}})}{K_{\text{со}}} + \frac{[C]_{\text{зад}} - [C]_{\text{факт}}}{K_{\text{сс}}} \right) \cdot \frac{100 \cdot G}{C_{\text{пр}}},$$

де  $g_c$  - кількість вуглецевмісного матеріалу, який присаджують в ківш, кг,

$a_{[O]}$  - фактично виміряна активність кисню в металі (окисленість сталі) в печі перед випуском, ррт;

$a_{\text{опт}}$  - оптимальна активність кисню в металі (окисленість сталі) в печі перед випуском, ррт,

$[C]_{\text{зад}}$  - заданий вміст вуглецю в готовій сталі, мас. %,

$[C]_{\text{факт}}$  - фактичний вміст вуглецю в металі перед випуском, мас. %,

$K_{\text{со}}$ ,  $K_{\text{сс}}$  - емпіричні коефіцієнти, які характеризують засвоєння вуглецю, %,

$G$  - маса металу в ковші, т,

$C_{\text{пр}}$  - вміст вуглецю у вуглецевмісному матеріалі, мас. %,

при цьому розкиснення сталі в ковші проводять після введення вуглецевмісного матеріалу феромарганцем, витрата якого забезпечує в готовому металі співвідношення вмістів  $[Mn] / [C] = 4-5$ .

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що величину окисленості металу визначають розрахунком за наслідками експрес-аналізу вмісту вуглецю та вимірювання температури металу відповідно до формули:

$$\ln a_{[O]} = m_0 + m_1 \cdot T^{-1} + m_2 \ln [C],$$

де  $a_{[O]}$  - розрахункова активність кисню в металі (окисленість сталі) в печі перед випуском, ррт,

$T$  - абсолютна температура металу в печі, К,

$[C]$  - фактичний вміст вуглецю в металі по даних експрес-аналізу, мас. %,

$m_0$ ,  $m_1$ ,  $m_2$  - емпіричні коефіцієнти.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що вміст вуглецю в металі визначають розрахунком по вимірних величинах окисленості та температури металу відповідно до формули:

$$\ln [C] = n_0 + n_1 \cdot T^{-1} + n_2 \ln a_{[O]},$$

де  $[C]$  - розрахунковий вміст вуглецю в металі перед випуском, мас. %,

$T$  - абсолютна температура металу в печі, К,

$a_{[O]}$  - фактично виміряна активність кисню в металі (окисленість сталі) в печі перед випуском, ррт,

$n_0$ ,  $n_1$ ,  $n_2$  - емпіричні коефіцієнти.

**C2** (13)

**87412** (11)

**UA** (19)

Винахід відноситься до чорної металургії, зокрема, до виробництва киплячих сталей, і може бути використано на металургійних підприємствах.

Відомий спосіб одержання зливоків киплячої сталі, що включає розкиснення металу в печі, випуск його в ківш, визначення концентрацій кисню і вуглецю в металі, розкиснення в ковші і розливання металу в зливки з хімічним закупорюванням або без нього, у якому, з метою підвищення однорідності зливоків за вмістом вуглецю, кисню і неметалічних включень, розкиснення металу в ковші при розливанні зливоків без хімічного закупорювання припиняють після досягнення добутку концентрацій вуглецю та кисню  $[C] \cdot [O] = 0,0040-0,0045$ , а при розливанні зливоків з хімічним закупорюванням - після досягнення добутку концентрацій вуглецю та кисню  $[C] \cdot [O] = 0,0030-0,0034$  розкиснення припиняють (А. с. № 978892, С21С7/06).

До основних недоліків відомого способу відноситься те, що він не враховує вплив температури металу в ковші та вміст марганцю в металі на умови кипіння і формування безпузирчастої скоринки в зливку, а також можливість застосування інтенсифікаторів кипіння при розливанні киплячої сталі в крупні зливки.

Найбільш близьким до способу, що заявляється, та прийнятий за прототип, є спосіб виробництва киплячої сталі, який включає виплавку напівпродукту із вмістом вуглецю 0,03-0,06% (до 0,12%), випуск його в ківш, розкиснення в ковші феромарганцем і подальше розливання у виливниці, при цьому під час випуску під струмінь металу, з метою підвищення його якості, вводять алюміній, кількість якого при вмісті вуглецю в металі перед випуском 0,06% складає 20г/т сталі та збільшується на 10г/т на кожні 0,01% знижень концентрації вуглецю, а у виливниці під час розливання рівномірно присаджують порошкоподібні вуглецеві матеріали в кількості 0,006-0,06% від маси зливка, при цьому відношення кількості алюмінію, введеного в ківш, до кількості введеного у виливницю вуглецевого матеріалу підтримують в співвідношенні 1:(3-12) (А.с.№1375657, С21С7/06).

Відомий спосіб сприяє підвищенню якості сталі, але має ряд недоліків. До них відносяться значне винесення порошкоподібних вуглецевих матеріалів під час розливання, великі коливання ступеню засвоєння вуглецю при введенні під струмінь в ході розливання крупних зливоків зверху, а також те, що окиснення металу при одному і тому ж вмісті вуглецю може бути різною і залежить від ряду факторів, зокрема, температури сталі, вмісту в ній марганцю та інших. Тому введення в ківш алюмінію, витрата якого не враховує вміст кисню в конкретній плавці, не дозволяє отримати оптимальну окисненість металу, таку, яка забезпечує достатньо інтенсивне його кипіння у виливницях і, відповідно, мінімальний витратний коефіцієнт при прокатці зливоків. А присадки порошкоподібних вуглецевих матеріалів у виливницю не дозволяють отримати зливки, однорідні

за вмістом вуглецю в об'ємі, що приводить до різної інтенсивності кипіння металу, погіршення макроструктури зливоків і збільшення витратного коефіцієнта при їх прокатці.

В основу винаходу поставлена задача - досягнення однорідної щільної макроструктури зливоків, за рахунок одержання оптимального і відповідного заданому вмісту вуглецю, кисню та марганцю в металі, зменшення числа зливоків з незадовільною поверхнею (з надмірно опуклою, рівною або вгнутою поверхнею з перерозкисненого та погано прокиплого металу), який характеризуються підвищеною головною обрізною і, як наслідок, зниженими витратними коефіцієнтами при прокатці, зниження браку і відсортювання прокату по поверхневих дефектах, а також економія розкиснювачів для хімічного закупорювання.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі виробництва низьковуглецевої киплячої сталі, який включає виплавку напівпродукту із вмістом вуглецю до 0,12%, випуск його в ківш, розкиснення в ковші феромарганцем та подальше розливання у виливниці, згідно винаходу, на початку випуску із сталеплавильного агрегату в ківш вводять вуглецевмісний матеріал фракцією 3...15мм в кількості, яку визначають окисленістю сталі та вмістом вуглецю в ній, по формулі:

$$g_C = \left( 0,075 \cdot \frac{[a_{[O]} - a_{\text{опт}}]}{K_{CO}} + \frac{[C]_{\text{зад}} - [C]_{\text{факт}}}{K_{CC}} \right) \cdot \frac{100 \cdot G}{C_{\text{пр}}}$$

де  $g_C$  - кількість вуглецевмісного матеріалу, який присаджують в ківш, кг;

$a_{[O]}$  - фактично виміряна активність кисню в металі (окисленість сталі) в печі перед випуском, ppm,

$a_{\text{опт}}$  - оптимальна активність кисню в металі (окисленість сталі) в печі перед випуском, ppm;

$[C]_{\text{зад}}$  - заданий вміст вуглецю у готовій сталі, мас %;

$[C]_{\text{факт}}$  - фактичний вміст вуглецю в металі перед випуском, мас %;

$K_{CO}$ ,  $K_{CC}$  - емпіричні коефіцієнти, які характеризують засвоєння вуглецю, у разі його зв'язку з надмірним киснем у металі і доведення вмісту вуглецю до потрібного значення, %;

$G$  - маса металу в ковші, т;

$C_{\text{пр}}$  - вміст вуглецю у вуглецевмісному матеріалі, мас %,

при цьому розкиснення сталі в ковші проводиться після введення вуглецевмісного матеріалу феромарганцем, витрата якого забезпечує в готовому металі співвідношення вмістів  $[Mn] / [C] = 4-5$ .

А величину окисленості металу визначають розрахунком за наслідками експрес-аналізу вмісту вуглецю та вимірювання температури металу відповідно до формули:

$$\ln a_{[O]} = m_0 + m_1 \cdot T^{-1} + m_2 \cdot \ln[C],$$

де  $a_{[O]}$  - розрахункова активність кисню в металі (окисленість сталі) в печі перед випуском, ppm;

$T$  - абсолютна температура металу в печі, К;

[C] - фактичний вміст вуглецю в металі по даним експрес-аналізу, мас %;

$m_0, m_1, m_2$  - емпіричні коефіцієнти.

При чому вміст вуглецю в металі визначають розрахунком по вимірних величинах окисленості та температури металу відповідно до формули:

$$\ln [C] = n_1 + n_1 \cdot T^{-1} + n_2 \cdot \ln a_{[O]},$$

де [C] - розрахунковий вміст вуглецю в металі перед випуском, мас %;

T - абсолютна температура металу в печі, К;

$a_{[O]}$  - фактично виміряна активність кисню в металі (окисленість сталі) в печі перед випуском, ppm;

$n_0, n_1, n_2$  - емпіричні коефіцієнти.

Активність кисню в металі (окисленість сталі) в печі перед випуском визначається, як правило, прямим виміром за допомогою спеціальних приладів, а фактичний вміст вуглецю в цей же період - методом експрес-аналізу проби металу на квантометрі. Одночасно термopарою занурення (або приладом для виміру окисленості) визначається і температура металу в печі.

У випадку, якщо окисленість сталі або вміст вуглецю у ній визначати прямим виміром не вдається, вказані параметри можуть бути обчислені по одній з приведених вище емпіричних формул.

Остаточне розкиснення металу проводиться в ковші після присадки вуглецевмісного матеріалу за рахунок введення в метал феромарганцю або брикетів на його основі в кількості, яка забезпечує співвідношення вмісту марганцю та вуглецю в готовій сталі в межах  $[Mn] / [C] = 4-5$ .

Загальними з найбільш близьким аналогом істотними ознаками запропонованого способу є виплавка напівпродукту із вмістом вуглецю до 0,12%, випуск його в ківш, розкиснення у ковші феромарганцем та наступне розливання сталі у виливницю.

Відмінним від найбільш близького аналогу істотними ознаками є присадка в ківш вуглецевмісного матеріалу визначеної фракції і в кількості, яка суворо дозується, залежно від окисленості металу в печі перед випуском, вмісту в ньому вуглецю та його температури. При цьому вказані параметри можуть визначатись як прямим виміром, так і по емпіричних формулах, згідно опису винаходу, а витрата розкиснювача в ківші (феромарганцю або брикетів на його основі) вибирають з умови забезпечення співвідношення вмісту марганцю та вуглецю в готовій сталі в межах  $[Mn] / [C] = 4-5$ .

Між істотними ознаками запропонованого способу та технічним результатом, який досягається, є причинно-наслідковий зв'язок.

Присадка вуглецевмісного матеріалу визначеної фракції в ківш в кількості, яка суворо дозується, з урахуванням окисленості металу в печі перед випуском, вмісту в ньому вуглецю та його температури, а також регламентована присадка розкиснювача в ківш з урахуванням необхідного вмісту вуглецю та марганцю в готовій киплячій сталі значно стабілізує її окисленість і вміст в ній основних хімічних елементів. Це істотно покращує умови кипіння сталі у виливницях після розливання, що сприяє досягненню однорідної щільної макроструктури зливків, зменшенню числа зливків з незадо-

вільною поверхнею і зниженню об'ємів додаткової головної обрізи прокату, зниженню витратних коефіцієнтів при прокатці, браку та відсортовування прокату по поверхневих дефектах, а також економії розкиснювачів (алюмінію, феросиліцію та інших) для хімічного закупорювання.

Запропонований спосіб виробництва здійснено при виплавці низьковуглецевої киплячої сталі марки 08кп в стаціонарній основній мартенівській печі ємністю 650т.

У кінці виплавки перед випуском із печі вимірюють окисленість та температуру металу з використанням датчиків окисленості типу "Celox", а також визначають вміст вуглецю в металі експрес-аналізом проби, яку відібрали із печі. При цьому фактично визначені значення основних початкових параметрів металу склали:

а) активність кисню (окисленість)  $a_{[O]} = 530$  ppm;

б) вміст вуглецю в металі  $[C] = 0,06\%$ ;

в) температура металу  $T = 1630^\circ\text{C}$  (1903К).

Під час випуску плавки з печі у два 350-тонні ковші, які прийняли по 325т металу, в кожен ківш присаджували вуглецевмісний матеріал (вугілля марки АШ фракції 5-10мм, яке містить 80% вуглецю, засвоєння якого складало відповідно 90 та 80мас % для процесів зв'язування надмірного кисню металу та доведення вмісту вуглецю до заданого значення 0,08мас %) в кількості, яку визначають по формулі:

$$g_c = \left( 0,075 \cdot \frac{(530 - 400)}{90} + \frac{0,08 - 0,06}{88} \right) \cdot \frac{100 \cdot 325}{80} = 44\text{кг}.$$

Контрольні розрахунки окисленості металу та вмісту в ньому вуглецю перевіряли по приведених в описі винаходу емпіричних формулах.

1. Розрахункова окисленість металу по фактичному значенню вмісту вуглецю склала:

$$\ln a_{[O]} = 21,111 - 31574 \cdot T^{-1} - 0,624 \cdot \ln [C] = 21,111 - 31574 \cdot 1903^{-1} - 0,624 \cdot \ln 0,06 = -6,275, \text{ звідки } a_{[O]} = 531\text{ppm}, \text{ що близько до результату прямого виміру.}$$

2. Розрахунковий вміст вуглецю по фактичному значенню окисленості металу склав:

$$\ln [C] = 8,684 - 13524 \cdot T^{-1} - 0,69 \cdot \ln a_{[O]} = 8,684 - 13524 \cdot 1903^{-1} - 0,69 \cdot \ln 530 = -2,751, \text{ звідки } [C] = 0,064\%, \text{ що близько до результату прямого виміру.}$$

Після присадки вугілля марки АШ у ківш присаджували по 1,6 тонни феромарганцю з розрахунку одержання в металі 0,32-0,40мас% Mn, що відповідало співвідношенню  $[Mn] / [C] = 4-5$ .

Подальші експерименти показали, що відхилення фактичних параметрів плавки від заданих новим способом умов приводять до зниження показників, які досягаються при цьому.

Використання вуглецевмісного матеріалу (зокрема, вугілля марки АШ або антрациту) фракції менш 3мм призводить до зниження його засвоєння і значного забруднення навколишнього середовища унаслідок підвищеного пилоутворення. При фракції цього матеріалу більш 15мм знижується швидкість його засвоєння металом, а це збільшує вилар вуглецю.

При відхиленні кількості присадки вуглецевмісного матеріалу в меншу або більшу від розрахо-

ваного по формулі значення приводить до відхилення окисленості сталі від оптимального значення, в відповідно, більшу або меншу сторону, що помітно знижує позитивний ефект, який досягається.

Якщо присадка розкиснювача (в даному випадку феромарганцю) в ківш не забезпечує в готовій сталі заданого співвідношення  $[Mn] / [C] = 4-5$ , кипіння сталі у виливницях не відповідає оптимальній інтенсивності, що погіршує поверхню зливків, збільшує головну обрізь прокату та витратний коефіцієнт металу на прокатному переділі.

Таким чином, оптимальний технологічний ефект, який виражається в досягненні однорідної щільної макроструктури зливків, зменшенні числа зливків з незадовільною поверхнею, оптимальній головній обрізі прокату та знижених витратних коефіцієнтах при прокатці, скороченні об'ємів браку та відсортовування прокату по поверхневих

дефектах, а також економії розкиснювачів для хімічного зачистування (по порівнянню до аналогічних характеристик прототипу), досягається повною мірою тільки при збігу фактичних параметрів виробництва низьковуглецевих киплячих сталей з ознаками запропонованого способу.

Очікуваний економічний ефект від впровадження запропонованого способу, який забезпечується за рахунок зниження витратних коефіцієнтів металу при прокатці унаслідок поліпшення якості зливків та зниження головної обрізі, браку на першому переділі, приросту об'єму виробництва зливків в мартенівському цеху та економії розкиснювачів для розкиснення сталі у ковші (феромарганцю або брикетів на його основі) та хімічного зачистування зливків киплячої сталі (алюмінію, феросиліцію та ін.), складає біля 1,5...2,5млн. грн. на рік.