



УКРАЇНА

(19) UA (11) 71015 (13) C2  
(51) 7 C21C5/56, C21C7/00, C22C33/06

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

### (54) СПОСІБ ЛЕГУВАННЯ СТАЛІ

1

2

(21) 2002010211

(22) 08.01.2002

(24) 15.11.2004

(46) 15.11.2004, Бюл. № 11, 2004 р.

(72) Кравцов Владлен Васильович, Купін Володимир Миколайович

(73) Кравцов Владлен Васильович, Купін Володимир Миколайович

(56) RU 2051180 C1, 27.12.1995

SU 1044641 A, 30.09.1983

RU 2031137 C1, 20.03.1995

RU 2140994 C1, 10.11.1999

SU 1094349 A1, 27.03.1996

(57) 1. Спосіб легування сталі, що включає продування розплаву, введення в розплав рудних матеріалів, які містять оксиди легуючих елементів, і регулювання температури розплаву, який **відрізняється** тим, що введення в розплав рудних матеріалів, які містять оксиди легуючих елементів, виконують послідовно, за зростанням питомого ендотермічного ефекту відновлення, регулювання температури розплаву виконують шляхом ступінчастого підвищення температури розплаву в міру введення рудних матеріалів, які містять оксиди легуючих елементів, за залежністю:

$$T_i = T_{ст} + \frac{k_i \Delta H_i}{n_i A_i},$$

де зазначену температуру розплаву підтримують після введення оксиду і-того легуючого елементу протягом часу, який визначають за залежністю:

$$\tau_i = \frac{\Delta H_i}{n_i \cdot A_i} \cdot \frac{m \cdot a_i}{100 \cdot N},$$

де:

$T_i$  - температура розплаву при введенні оксиду і-того легуючого елементу, °C;

$T_{ст}$  - початкова температура розплаву, °C;

$k_i$  - коефіцієнт пропорційності, який враховує кінетику відновлення і-того легуючого елементу, (кг \* °C) / МДж;

$\Delta H_i$  - питомий ендотермічний ефект відновлення і-того легуючого елементу, МДж / Кмоль;

$n_i$  - стехіометричний коефіцієнт за реакцією відновлення і-того легуючого елементу;

$A_i$  - атомна маса і-того легуючого елементу;

$\tau_i$  - час підтримання температури розплаву, встановленої при введенні оксиду і-того легуючого елементу, с;

$m$  - маса розплаву, кг;

$\alpha_i$  - процентний вміст і-того легуючого елементу в розплаві, %;

$N$  - теплова потужність сталеплавильного агрегату, МДж / с;

$a$  величину тиску над розплавом встановлюють вище величини тиску насичених парів найбільш леткого легуючого елементу.

2. Спосіб легування сталі за п.1, який **відрізняється** тим, що величину тиску над розплавом встановлюють шляхом регульованого дроселювання відхідних газів.

Винахід належить до чорної металургії, а саме, до способів обробки розплавленого металу і може бути використаний при легуванні сталей.

В сучасних процесах легування сталей з використанням оксидів легуючих елементів існує проблема більш повного витягу легуючих елементів з початкового матеріалу з причини їх нераціонального відновлення, що відбувається в умовах одночасного їхнього застосування, що спричиняє винос легуючих елементів шлаковим розплавом, і неможливості повного утримання вже відновлених ле-

гуючих елементів в розплаві в силу їх легких властивостей. Зазначену проблему вирішують різними способами, зокрема, розташуванням легуючої шихти в агрегаті, керуванням режимом продувки металу, регулюванням температури розплаву в сталеплавильному агрегаті, застосуванням матеріалів, що містять легуючі елементи тощо. Однак проблема, в повній мірі, залишається не вирішеною.

Так є відомим спосіб легування сталі за заявою Російської Федерації № 95100020, МКВ

(13) C2

(11) 71015

(19) UA

C21C7/00, пріоритет від 05.01.1995, що включає обробку металу шлаком, введення в розплав оксидів легуючих елементів, а саме оксидів марганцю і кремнію і додаткове введення оксидної суміші з відновлювачем, що містить кремній. Марганець відновлюють кремнієм, алюмінієм, розчиненим в металі і витримують сталь в ковші під шлаком, утвореним після відновлення марганцю, що дозволяє підвищити якість легованої сталі за рахунок збільшення місткості марганцю, зниження місткості алюмінію і неметалевих включень на основі глинозему.

Загальними ознаками відомого способу і рішення, що заявляється є введення в розплав оксидів легуючих елементів.

Обробка металу шлаком, відповідно до зазначеного способу, а також додаткове введення оксидної суміші з відновлювачем, що містить кремній дозволяє підвищити якість легованої сталі за рахунок збільшення місткості марганцю, зниження місткості алюмінію і неметалевих включень на основі глинозему, однак одночасне введення в розплав оксидів легуючих елементів, що мають різний питомий ендотермічний ефект і різну температуру відновлення, і сумісне їх відновлення в розплаві веде до виведення частки легуючих елементів з об'єму металу шлаковим розплавом, що тягне за собою додаткові витрати легуючого матеріалу.

Є також відомим спосіб легування сталі за заявкою Російської Федерації №95100956, МКВ: C21C5/04, пріоритет від 03.02.1995, що включає продувку розплаву, введення в розплав оксидів легуючих елементів, регулювання температури розплаву, вистилання подири ванни дрібним скрапом, завантаження карбюраторі, завантаження частки скрапу і завантаження решти шихти. В розплаві утворюють дві або більше зон перегріву і "холодну" зону, причому холодну зону утворюють у середині ванни, а карбюратор завантажують в зони, що розташовані між зонами перегріву і холодною зоною. Оксиди легуючих елементів і розкислюючі елементи завантажують на карбюратор, над карбюратором завантажують шлакоутворюючі, що дозволяє узгодити оптимальні умови прогріву і плавлення шихти з процесами відновлення легуючих елементів і сприяє процесу насичення розплаву вуглецем.

Загальними ознаками відомого способу і рішення, що заявляється є продувка розплаву, введення оксидів легуючих елементів в розплав і регулювання температури розплаву.

Технологічний порядок завантаження шихтових матеріалів по зонах печі відомого способу дозволяє сприяти процесу насичення розплаву вуглецем, однак одночасне введення в розплав оксидів легуючих елементів, що мають різний питомий ендотермічний ефект і різну температуру відновлення, і сумісне їх відновлення в розплаві спричиняє винос частки легуючих елементів з об'єму металу шлаковим розплавом, що веде до додаткових витрат легуючого матеріалу.

За прототип прийнято спосіб легування сталі за патентом Російської Федерації № 2051180, МКВ C21C5/56, пріоритет від 18.09.90, що включає продувку розплаву газом, що містить кисень з багаторазним збільшенням маси шлакового розплаву за

рахунок його стартової частини, введення в розплав сумісно з газом, що вдувають, рудних матеріалів, що містять оксиди легуючих елементів і регулювання температури розплаву. Разом з залізистим концентратом в стартовий шлаковий розплав вдувають відповідну кількість рудних матеріалів, що містять оксиди легуючих елементів. Рідку ванну створюють із стартових розплавів сталі і хімічно рівноважного з нею сталеплавильного шлаку. При цьому в ванні створюють технологічні окислювальну і відновлювальну зони, через які по замкнутому контуру пересувають по поверхні розплаву сталі стартовий шлаковий розплав шляхом динамічного впливу на нього струменями факелу горіння палива в газі, що містить кисень. Тепло, необхідне для проведення процесу відновлення, передають в зону відновлення за допомогою шлакового розплаву, шляхом перегріву розплаву відносно температури рідкої сталі. Після перегріву шлакового розплаву, його масу з зони відновлення знову спрямовують до зони окислення для проведення чергового технологічного циклу, виключаючи тим самим витрату тепла на виготовлення стартового шлакового розплаву, що використовують в якості теплогенератора, який пересувають в циркуляційному режимі по замкнутому технологічному контуру, що дозволяє знизити витрати палива при отриманні сталі за рахунок двозонного технологічного процесу.

Загальними ознаками прототипу і способу, що заявляється є продувка розплаву, введення в розплав рудних матеріалів, які містять оксиди легуючих елементів і регулювання температури розплаву.

Рішення по прототипу дозволяє виключити витрати тепла на виготовлення стартового шлакового розплаву за рахунок створення в агрегаті двозонного технологічного циклу легування сталі, однак при одночасному і сумісному відновленні в розплаві легуючих елементів, що мають різний питомий ендотермічний ефект і різну температуру відновлення, частка легуючих елементів переходить з об'єму металу до шлаку, а частка - за рахунок їх летучих властивостей - до атмосфери, разом з газами, що відходять, що приводить до додаткових витрат легуючого матеріалу.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалення способу легування сталі шляхом оптимізації процесу відновлення кожного легуючого елементу, з тим, щоб забезпечити більш повний витяг легуючих елементів з рудних матеріалів і зниження виведення легуючих елементів з розплаву, що дозволяє здійснювати легування сталі з мінімальними витратами рудної сировини і, тим самим, знизити собівартість легованої сталі.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі легування сталі, що включає продувку розплаву, введення в розплав рудних матеріалів, які містять оксиди легуючих елементів, і регулювання температури розплаву, згідно до винаходу, введення в розплав рудних матеріалів, які містять оксиди легуючих елементів, виконують послідовно, за зростанням питомого ендотермічного ефекту відновлення, регулювання температури розплаву виконують шляхом ступінчастого підвищення температури розплаву в міру введення рудних

матеріалів, які містять оксиди легуючих елементів, за залежністю:

$$T_i = T_{\text{CT}} + \frac{k_i \Delta H_i}{n_i A_i},$$

зазначену температуру розплаву підтримують після введення оксиду і-того легуючого елементу протягом часу, який визначають за залежністю:

$$\tau_i = \frac{\Delta H_i}{n_i \cdot A_i} \cdot \frac{m \cdot \alpha_i}{100 \cdot N},$$

де:

$T_i$  - температура розплаву при введенні оксиду і-того легуючого елементу;

$T_{\text{CT}}$  - початкова температура розплаву;

$k_i$  - коефіцієнт пропорційності, враховуючий кінетику відновлення і-того легуючого елементу;

$\Delta H_i$  - питомий ендотермічний ефект відновлення і-того легуючого елементу;

$n_i$  - стехіометричний коефіцієнт по реакції відновлення і-того легуючого елементу;

$A_i$  - атомна вага і-того легуючого елементу;

$\tau_i$  - час підтримання температури розплаву, встановленої при введенні оксиду і-того легуючого елементу;

$m$  - маса розплаву;

$\alpha_i$  - процентний вміст і-того легуючого елементу в розплаві;

$N$  - теплова потужність сталеплавильного агрегату,

а величину тиску над розплавом встановлюють вище величини тиску насичених парів найбільш леткого легуючого елементу.

Перераховані ознаки складають сутність винаходу і забезпечують досягнення технічного результату: більш повний витяг легуючих елементів з рудних матеріалів і зниження виносу легуючих елементів з об'єму металу.

Доцільно величину тиску над розплавом встановлювати шляхом регульованого дроселювання газів, що відходять.

Причинно-наслідковий зв'язок істотних ознак винаходу і технічного результату, що досягається, виявляється в наступному. Особливістю рішення, що заявляється є те, що продувка розплаву, введення в розплав рудних матеріалів, що містять оксиди легуючих елементів, за зростанням питомого ендотермічного ефекту відновлення легуючих елементів, ступінчасте підвищення температури розплаву, в міру введення рудних матеріалів, що містять оксиди легуючих елементів з підтриманням заданої температури після введення рудного матеріалу, що містить оксид і-того легуючого елементу в розплав за зазначеними залежностями і встановлення над розплавом тиску вище величини тиску насичених парів найбільш леткого легуючого елементу, дозволяє в процесі легування сталі створити оптимальні умови для відновлення кожного легуючого елементу і утримання відновлених легуючих елементів в розплаві за рахунок керування технологічними режимами температури і тиску в сталеплавильному агрегаті, що забезпечує більш повний витяг легуючих елементів з рудних матеріалів і зниження виносу легуючих елементів з розплаву.

Нижче наводиться опис способу, що заявляється з наведенням конкретних прикладів його

виконання.

Спосіб легування сталі включає продувку розплаву, введення в розплав рудних матеріалів, що містять оксиди легуючих елементів, за зростанням питомого ендотермічного ефекту відновлення легуючих елементів, ступінчасте підвищення температури розплаву, в міру введення рудних матеріалів, що містять оксиди легуючих елементів за залежністю:

$$T_i = T_{\text{CT}} + \frac{k_i \Delta H_i}{n_i A_i},$$

підтримання зазначеної температури розплаву після введення оксиду і-того легуючого елементу протягом часу, який визначають за залежністю:

$$\tau_i = \frac{\Delta H_i}{n_i \cdot A_i} \cdot \frac{m \cdot \alpha_i}{100 \cdot N},$$

де:

$T_i$  - температура розплаву при введенні оксиду і-того легуючого елементу;

$T_{\text{CT}}$  - початкова температура розплаву;

$k_i$  - коефіцієнт пропорційності, враховуючий кінетику відновлення і-того легуючого елементу;

$\Delta H_i$  - питомий ендотермічний ефект відновлення і-того легуючого елементу;

$n_i$  - стехіометричний коефіцієнт по реакції відновлення і-того легуючого елементу;

$A_i$  - атомна вага і-того легуючого елементу;

$\tau_i$  - час підтримання температури розплаву, встановленої при введенні оксиду і-того легуючого елементу;

$m$  - маса розплаву;

$\alpha_i$  - процентний вміст і-того легуючого елементу в розплаві;

$N$  - теплова потужність сталеплавильного агрегату,

і встановлення тиску над розплавом вище величини тиску насичених парів найбільш леткого легуючого елементу.

Спосіб здійснюють таким чином. Стартовий розплав, в склад якого входять залізо і шлакоутворюючі флюси, продувають інертним газом, що забезпечує барботування розплаву і насичують розплав відновлювачем, в якості якого використовують вуглець, шляхом вдування в розплав вугільного порошку за допомогою інертного газу. Для отримання певної марки сталі з використанням декількох легуючих компонентів, в насичений вуглецем розплав за допомогою нагнітання інертного газу диспергують перший рудний матеріал, що містить оксид легуючого елементу, який має найменший питомий ендотермічний ефект відновлення. В міру введення зазначеного матеріалу в розплав, підвищують температуру розплаву до величини, що забезпечує відновлення введеного легуючого елементу і підтримують зазначену температуру розплаву протягом часу, необхідного для його відновлення. Величину температури розплаву для відновлення введеного легуючого елементу і час її підтримання вираховують по зазначеним вище залежностям. При цьому над розплавом шляхом регульованого дроселювання газів, що відходять, враховуючи нагнітання інертного газу, встановлюють величину тиску вище величини тиску насичених парів при відновленні найбільш леткого з усіх легуючих елементів, які мають бути введені і під-

тримують зазначену величину тиску протягом всього циклу. Після завершення відновлення першого легуючого елементу, який має найменший питомий ендотермічний ефект відновлення, в розплав вводять рудний матеріал, що містить оксид легуючого елементу, який має наступний за зростанням питомий ендотермічний ефект відновлення і виконують зазначені вище технологічні операції.

Далі виконують введення в розплав решту рудних матеріалів, які містять оксиди легуючих елементів за таким самим принципом.

Нижче наводяться таблиці, в яких представлені конкретні приклади технологічного процесу легування для отримання марок сталі: 10ХСНД (Таблиця 1) і 10Г2С1 (Таблиця 2) в 100-тонному агрегаті при тепловій потужності  $N=90\text{Мдж/с}$

Таблиця 1

| Оксиди легуючих елементів, в порядку їх введення в розплав | $\Delta H_i$ , Мдж/Кмоль | $n_i$ , відносна одиниця | $A_i$ , кг | $k_i$ , кгС°/Мдж | $T_i$ , С° | $\tau_i$ , сек. | Величина тиску насичених парів легуючих елементів, МПа | Величина тиску над розплавом протягом всього циклу, МПа (const.) |
|--|--------------------------|--------------------------|------------|------------------|------------|-----------------|--|--|
| 1. CuO   | 49                       | 2                        | 63,5       | 10               | 1454       | 5               | 0,20   | 0,45   |
| 2. NiO   | 152                      | 1                        | 58,7       | 10               | 1476       | 29              | 0,25   |  |
| 3. MnO   | 287                      | 1                        | 55,0       | 10               | 1500       | 56              | 0,30   |  |
| 4. Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                          | 780                      | 2                        | 52,0       | 10               | 1525       | 83              | 0,40   |  |
| 5. SiO <sub>2</sub>  | 635                      | 1                        | 28,0       | 10               | 1700       | 274             | 0,35   |  |

Таблиця 2

| Оксиди легуючих елементів, в порядку їх введення в розплав | $\Delta H_i$ , Мдж/Кмоль | $n_i$ , відносна одиниця | $A_i$ , кг | $k_i$ , кгС°/Мдж | $T_i$ , С° | $\tau$ , сек. | Величина тиску насичених парів легуючих елементів, МПа | Величина тиску над розплавом протягом всього циклу, МПа (const.) |
|--|--------------------------|--------------------------|------------|------------------|------------|---------------|--|--|
| 1. MnO   | 287                      | 2                        | 55,0       | 10               | 1500       | 112           | 0,30   | 0,40   |
| 2. SiO <sub>2</sub>  | 635                      | 1                        | 28,0       | 10               | 1700       | 274           | 0,35   |  |

Порівняльний з прототипом аналіз дозволяє зробити висновок, що спосіб легування сталі, який пропонується, відрізняється тим, що базується на принципово новому технологічному рішенні проблеми подачі в розплав і відновлення в розплаві легуючих елементів, які містяться в рудних матеріалах, пов'язаної з запобіганням втрати частки легуючих елементів. Це рішення полягає в тому,

що керування технологічними режимами температури і тиску в сталеплавильному агрегаті в процесі легування сталі дозволяє створити оптимальні умови для відновлення кожного легуючого елементу і утримання відновлених легуючих елементів в розплаві, що забезпечує більш повний витяг легуючих елементів з рудних матеріалів і зниження виводу легуючих елементів з розплаву.