



УКРАЇНА

(19) UA (11) 45898 (13) A

(51) B C22B9/02, C22B21/06

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДВИДАЄТЬСЯ ПІД
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ
ВЛАСНИКА
ПАТЕНТУ

(54) СПОСІБ РАФІНУВАННЯ СТАЛІ В ПРОМІЖНИХ РОЗЛИВНИХ КОВШАХ

1

2

(21) 2001106964

(22) 12 10 2001

(24) 15 04 2002

(46) 15 04 2002, Бюл. № 4, 2002 р.

(72) Бойко Володимир Семенович, Ларіонов Олександр Олексійович, Єфімов Віктор Олексійович, Климанчук Владислав Владиславович, Шебанич Едуард Миколайович, Фентісов Ігор Миколайович, Дюк Євген Пилипович, Єфімов Гаррі Вікторович, Якін Михайло Миколайович, Бочек Анатолій Павлович, Лавріншин Сергій Антонович, Акупов Валерій Володимирович, Побегайло Андрій Володимирович, Губко Ігор Григорович, Токий Анатолій Миколайович, Єфімова Вероніка Гарієвна

(73) МАРІУПОЛЬСЬКИЙ МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ ІМЕНІ ІЛЛІЧА

(57) Спосіб рафінування сталі в проміжних розливних ковшах, що включає пропускання її через перегородку з каналами і продувку інертним газом знизу, який відрізняється тим, що зазначені операції виконують послідовно, причому спочатку забезпечують перетікання сталі, дотримуючись співвідношення $F/F_1=11 \div 17$, в якому

F - площа перерізу потоку сталі в проміжному розливному ковші,

F_1 - загальна площа перерізу перетічних каналів, а потім - продувають її інертним газом із швидкістю подачі $0,14 \div 0,23 \text{ м}^3/\text{хв}$ на 1 м^2 площі перерізу потоку сталі в проміжному розливному ковші

Винахід відноситься до галузі металургії та ливарного виробництва і може бути використаний при розливанні рідких металів через проміжні розливні пристрої

В теперішній час для зниження забруднення сталі від неметалевих включень та підвищення її якості, при заливці рідкого металу з ковша, його пропускають через отвори в перегородках проміжних розливних пристроїв, продувають інертними газами. В результаті змінюється як швидкість, так і напрям руху рідкої сталі і, таким чином, забезпечується вплив на умови видалення неметалевих включень

Відомий спосіб видалення неметалевих включень із сталі, яка проходить через проміжний ківш у кристалізатор, потоком пазирів інертного газу, який піднімає включення в шар рідкого шлаку на поверхні металу в ковші (пат. Великобританії В22Д, 11/10№ 13111166) Вдування газу проводять шляхом подачі його знизу і розподіляють поперек усієї ширини проміжного ковша

Недоліком цього способу являється низька ефективність видалення неметалевих включень в широкому розмірному інтервалі (10–1000 мкм) тому, що потік металу за наявних швидкостей витяжки заготовок, маючи велику турбулентність і швидкість, в кристалізатор попадає самим корот-

ким шляхом. В схемі же розливання нема технічних рішень для їх регулювання. Таким чином спосіб забезпечує тільки мінімальний час знаходження рідкого металу в проміжному ковші, а цей показник являється визначним в ефективному протіканні процесу рафінування, який складається із стадій випливання включень та асиміляції їх шлаковим шаром

Крім цього, час знаходження одиничного об'єму потоку металу в зоні продувки із-за великої швидкості його протікання на цій ділянці, незначний (обмежений), а параметри продувки не регламентуються

Вказані причини призводять до того, що ефективність способу обмежується видаленням тільки макровключень (60–100 мкм), які в основній кількості складають не більше 20 %

Видалення включень менших розмірів може бути успішним при обробці потоку металу, який має мінімальну кінетичну енергію (швидкість) з оптимальними витратами газу на одиницю його площі поперечного перерізу. Не дотримання параметрів призводить до утворення хвиляподібної поверхні ванни рідкого металу, збільшення площі поверхні реагування сталі з навколишнім середовищем і додатковому окислюванню її з утворенням окисних включень

(13) A

(11) 45898

(19) UA

Спосіб очистки розплавленого металу від неметалевих включень (пат. США кл. C21B, 3/04 № 4573864), хоча і має можливість за допомогою перегородки, в якій зроблені переточні канали, гальмувати швидкість потоку при перепусканні металу і, таким чином, за рахунок агрегації (злиття, з'єднання) частинок домішок з послідовним їх спливанням на поверхню, очищати рідкий метал. Однак він не забезпечує ефективного і стабільного рафінування від неметалевих включень тому, що, по-перше, не регламентується швидкісний режим струменів, витікаючих з каналів перегородки, який має найбільш суттєвий вплив на процес випливання включень (недостатність часу проходження тому що великі швидкості не дозволяють неметалевим включенням впливати на поверхню). Виконання в загальному вигляді співвідношення $S_1 \geq S_2$ (S_1 - загальна площа перерізу отворів перегородки, S_2 - переріз випускного отвору), впливає тільки на стабільність процесу розливання. По-друге, цим способом можливе тільки обмежене спонтанне спливання і видалення частинок домішок на поверхню металу із-за незначних швидкостей самочинного спливання.

Крім цього, видалення дрібних включень цим способом проблематично, тому що такі включення, маючи великі сили взаємодії з металом, можуть бути видалені за рахунок створення додаткової підйомної сили для їх сплиття, наприклад, продувкою інертним газом, при якій створюється висока ступінь адгезії на поверхні розділу пазир - включення.

Коагуляція твердих частинок в сталі не досягає значного розвитку і може взагалі не протікати після їх зіткнення в умовах перемішувального металу внаслідок точечного характеру поверхневого контакту, обумовленого шершавістю їх поверхні.

Найбільш близьким до описуваного винаходу із відомих по технічній суті, є спосіб рафінування сталі по пат. США кл. C21C, № 4667939, включаючий пропускання сталі через канали перегородки, розташовані в її нижній частині. Така схема процесу рафінування не є максимально раціональною з точки зору ефективності процесу в цілому по причинам

1. Сумісництва як в одній зоні проміжного розливного пристрою, так і в часі дії, двох різних по суті, з погляду гідродинаміки, важелів очистки сталі від неметалевих включень, що відрізняються механізмами їх видалення. Так для видалення спливання частинок розміром 30 мкм і більше, достатньо забезпечити подовження часу перебування одиничної порції металу в проміжному розливному пристрої за рахунок зниження швидкостей занурених струменів при перетіканні потоку рідкої сталі через канали перегородки, а для більш дрібних, які мають межфазне гальмування більше Архімедових сил - створити допоміжну підйомну силу для їх спливання пазирями газу що вдмухується.

Одночасне накладання двох стадій видалення включень призводить до їх взаємного гальмування і, таким чином, ефект проявляється не в повній мірі. Розподілом же роботи кожного із важелів по окремим активним зонам, розташованих в проміжному розливному пристрої і, таким чином, органі-

зацією процесу рафінування в послідовному режимі, флотаційний ефект в кожній із зон рафінування може бути ініційований в найвищому ступені.

2. Відсутність оптимальних параметрів процесу перетікання металу, характеризуються значеннями швидкості занурених струменів і, таким чином, потоку рідкої сталі, що впливає з каналів перегородки, так і режиму продувки, який визначається витратами газу.

Це обмежує можливість керування процесом рафінування тому що тільки взаємозв'язок оптимальних значень вказаних параметрів може практично забезпечити універсальність та високу ефективність процесу в цілому. Цей зв'язок в загальному вигляді може бути представлений виразом

$$V_0 = 0,9 \cdot W \cdot \sqrt{\frac{H}{\delta}}$$

V_0 - дозволена швидкість протікання газу,

W - швидкість потоку металу,

H - висота потоку металу,

δ - товщина прохідного перерізу, який подає газ.

Не дотримання оптимальних значень параметрів проведення процесу рафінування, визначаючих та забезпечуючих його стабільність і ефективність, призводить до порушення швидкісних режимів розповсюдження потоку рідкої сталі, утворенню екстремальної турбулентності, що сприяє вторинному окисненню і забрудненню сталі включеннями із шару шлаку, який присутній на поверхні рідкої сталі в проміжному розливному пристрої і служить для асиміляції неметалевих включень.

В основу винаходу поставлена мета створення універсального способу рафінування сталі шляхом організації розподілу силових та швидкісних характеристик потоків металу в проміжному розливному пристрої, забезпечуючого прискорене винесення і відділення неметалевих включень в широкому розмірному інтервалі.

Поставлена задача вирішується тим, що перетікання рідкої сталі та продувку її інертним газом виконують послідовно, причому, спочатку забезпечують перетікання сталі, додержуючись співвідношення $F/F_1 = 11-17$, F - площа перерізу потоку металу в проміжному пристрої, F_1 - загальна площа перерізу перетічних каналів, а потім - продувку її інертним газом із швидкістю подачі 0,14-0,23 м³/хв на 1 м² площі перерізу потоку металу в проміжному пристрої.

Розподіл протікання процесу рафінування сталі на дві стадії відповідно до важелів впливу кожної з них на вилучення неметалевих включень різних розмірів, з урахуванням оптимально вибраних параметрів, обумовлюючих значення силових та швидкісних характеристик потоків, дозволяє забезпечити послідовне ефективне вилучення включень в розмірному інтервалі 10-100 мкм. Спочатку, за рахунок зниження швидкостей занурених струменів і, в цілому, потоку металу і, таким чином, подовження часу перебування металу в районі дії переточних каналів, ефективно виносити і відокремлювати з металу поверхневим асимілю-

ючим шлаком великі включення (30–100 мкм), а потім - продувкою інертним газом досягається вилучення більш дрібних включень (30 мкм і менше) внаслідок адгезії їх до бульбашок інертного газу, тому що такі включення мають менші крайові кути змочування

Таким чином, розділяючи процес рафінування на стадії, створюються сприятливі умови для їх повного протікання, яке забезпечує максимальне очищення металу від неметалевих включень за рахунок додавання окремих ефектів

Порівняні дані по вибору оптимальних параметрів процесу рафінування приведені в таблиці

Промислові випробування запропонованого способу рафінування сталі від неметалевих включень проводили на діючих проміжних ковшах машин безперервного розливання місткістю 19 тонн конвертерного цеху меткомбінату ім. Ілліча. Окремими експериментами провели перевірку всього приведенного інтервалу значень як співвідношення F/F_1 (площу перетічних каналів змінювали в межах 250–550 см²), так і режимів продувки. Розливка серій плавов показала, що розподіл стадій рафінування при використанні оптимальних параметрів процесу рафінування в цілому, дозволяє поступаючий із сталі ковш метал найбільш рівномірно розподіляти на окремі занурені струме-

ні з формуванням об'ємних течій, які мають швидкості по ходу протікання потоку від 12,54–19,3 см/хв до 3,94–6,0 см/хв

Це забезпечує достатній час проходження до зони продувки в межах 16,04–23 с. Таким чином, проходять по стадійне вилучення включень в процесі перетоку - великих (100–30 мкм), а в зоні продувки - дрібних (30–10 мкм). Приведені параметри дають змогу вести процес рафінування без оголення поверхні ванни металу в проміжному ковші. В процесі промислової перевірки установлено, що цей процес забезпечує простоту регулювання як параметрів потоку, витікаючого з каналів перегородки так і наступної продувки, при одночасно стабільному режимі розливу усієї серії плавов (6–17 плавов). По результатам металографічних досліджень установлено, що технологія рафінування має сталий вплив на вилучення включень, застосування способу рафінування дозволяє кількість включень на сталях марок St-50, Асуд, 13Г1СУ, 10Г2ФБ знизити в 5–6 разів, підвищити механічні властивості (відносно подовження) на 104–15 %, знизити як кількість дефектів на листовому прокаті в 3–4 рази, так і відбраковку їх після ультразвукового контролю в 24–3 рази.

Очікуваний економічний ефект може скласти 2,54–3,0 грн/т сталі

Таблиця

Дані на вибір оптимальних параметрів процесу рафінування

№ Варіанта	Параметри процесу рафінування		Характеристики режимів плинину металу, ефект, що досягається
	F/F_1	Інтенсивність продувки, м ³ /хв	
А	9	0,08	При таких параметрах процесу за рахунок зниження швидкості потоку хоча і підвищується ефективність стадії флотації неметалічних включень у зоні перетоку, однак швидкість доставки включень до поверхні розділу метал-шлак значно падає, а реакційна площа взаємодії з шлаковим шаром зменшується. Стадія процесу рафінування - асиміляція включень покривним шлаком у цьому випадку локалізується тільки невеликою контактною поверхнею цього шару через уповільнене переміщення, а значить не досягаються умови активної взаємодії поверхонь розділу метал-шлак. Це знижує "к.к.д." цієї складової частини процесу рафінування. Продувка з такою інтенсивністю не є активною з погляду досягаємої частоти зустрічей пухирців газу неметалічних включень, тому в підсумку одержують незначний ефект від рафінування (20–30 %)
В	11	0,14	Оптимальні межі по співвідношенню F/F_1 приводять до найбільш рівномірного розподілу об'єму рідкої сталі, що протікає через перегородку на окремі затоплені струмені і формування оптимальних, з погляду гідродинаміки, течій металу які мають мінімальні швидкості. Швидкість потоку, що переміщується в проміжному ковші, у цьому випадку знижується в порівнянні з початковою в 3,2–3,8 рази, що приводить до подовження часу перебування одиночної порції металу більш ніж у 3 рази, а цей фактор є вирішальним для сплиття і відділення в шлак основної маси включень розміром 30–100 мкм. У підсумку створюються самі сприятливі умови, що забезпечують ефективну флотацію включень
№ Варіанта	Параметри процесу рафінування		Характеристики режимів плинину металу, ефект, що досягається
	F/F_1	Інтенсивність продувки, м ³ /хв	
С	14	0,18	Зниження забруднення, що досягається, стали по великих включеннях усіх типів (оксиди, сульфідні та ін.) складає 3–4 рази. Наступна продувка інертним газом такого потоку, що володіє мінімальною кінетичною енергією з інтенсивністю 0,14–0,23 м ³ /хв дозволяє здійснювати активний винос за рахунок адгезії включень до пухирців газу неметалічних часток розміром до 30 мкм. Загальне зниження змісту включень, що досягається сполученням зазначених параметрів процесу рафінування і веденням його стадій у послідовному режимі склало 5–6 разів
Д	17	0,23	

Продовження таблиці

№ Варіанта	Параметри процесу рафінування		Характеристики режимів плинну металу, ефект, що досягається
	F F ₁	Інтенсивність продувки, м ³ /хв	
Е	20	0,35	Таке співвідношення (площа затоплених струменів на виході з каналів перегородки складає тільки 6,3 % площі потоку металу на вході в проміжний ківш) збільшує швидкість проходження до 22,3 см/с, а це приводить до загального скорочення часу рафінування як у зоні перетока з затоплених струменів, так і в зоні продувки. Мимовільне падіння швидкості на початковій і основній ділянках затоплених струменів при їхньому поширенні відбувається до значень, відповідно - 10,8 - 7,0 см/с у зоні продувки, а час перебування стали в зонах рафінування збільшується тільки в 1,2-1,9 рази. Недостатній час рафінування не дозволяє ефективно видаляти особливо дрібні включення (продувкою). Підвищення інтенсивності продувки, збільшуючи число зустрічей пухирець - включення, впливає не ефективно через виникнення підвищеної турбулентності і, як наслідок, оголенню дзеркала металу і затягуванню часточок покривного шлаку. У цьому випадку сумарний індекс забруднення стали по неметалічних включеннях знижується в 1,5-2 рази.
Прототип	Не регламентувати		Не дотримання основних технологічних параметрів процесу рафінування, а також регламентується поєднання двох різних механізмів вилучення неметалевих включень, в одній зоні призводить, з одного боку, до не керованості процесу в цілому і, таким чином, не вдається забезпечувати потрібні стабільні умови рафінування. А з другого не мають конкретних параметрів для керування потоками рідкої сталі в проміжному ковші, неможливо уникнути появи екстремальної турбулентності, оголення поверхні металу та його повторного окислення. Вказане призводить до обмежень в одержанні стабільних результатів у вилученні неметалевих включень в широкому інтервалі по їх розмірам, а значить і неможливість досягання максимального ефекту рафінування.

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»

вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна

(044) 216 – 32 – 71