



УКРАЇНА

(19) UA (11) 26193 (13) U
(51) МПК (2006)
C22B 9/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ БЕЗПЕРЕРВНОГО РАФІНУВАННЯ СТАЛІ В ПРОМІЖНИХ РОЗЛИВНИХ КОВШАХ

1

2

(21) u200704339

(22) 19.04.2007

(24) 10.09.2007

(46) 10.09.2007, Бюл. № 14, 2007 р.

(72) Діюк Євген Пилипович, Носоченко Олег Васильович, Кислиця В'ячеслав Володимирович, Ісаєв Олег Борисович, Ганошенко Ігор Володимирович, Лепіхов Леонід Сергійович, Крутіков Василь Петрович

(73) Діюк Євген Пилипович, Носоченко Олег Васильович, Кислиця В'ячеслав Володимирович, Ісаєв Олег Борисович, Ганошенко Ігор Володимирович, Лепіхов Леонід Сергійович, Крутіков Василь Петрович

(57) Спосіб безперервного рафінування сталі в проміжних розливних ковшах, що включає пропус-

кання її через розподільчу перегородку з каналами різного напрямку відносно вертикальної осі перегородки для проходження металу та продувку інертним газом знизу, який **відрізняється** тим, що перетікання рідкої сталі зі зміною напрямку проходження окремих занурених струменів виконують одночасно, дотримуючись співвідношення $F_r F_n = 0,50 \div 0,65$, в якому: F_r - загальна площа перерізу горизонтальних каналів; F_n - загальна площа перерізу нахилених каналів, через які здійснюється перетікання сталі в напрямку до відкритої поверхні, а продувку інертним газом проводять в зоні на відстані $7 \div 11$ ефективних діаметрів каналів від перегородки з інтенсивністю $0,20 \div 0,40 \text{ м}^3/\text{хв}$.

Запропонована корисна модель відноситься до галузі металургії і може бути використаний при розливанні металевих розплавів через проміжні розливні пристрої.

В теперішній час для видалення неметалевих включень із сталі та підвищення її якості, рідкий метал, підведений в проміжний ківш, пропускають через розподільчі канали різного напрямку його перегородок в поєднанні з продувкою інертними газами. Ці дві складові процесу рафінування призводять як до зміни напрямку руху, так і швидкості занурених струменів розплаву в проміжних розливних пристроях, чим в сполученні досягають швидко-силових характеристик течій, які забезпечують найбільш сприятливі умови видалення неметалевих включень та асиміляції їх шлаковим шаром, а в результаті - високий ступень рафінування.

Відомий спосіб видалення неметалевих включень із сталі [пат. Японії КЛ.В22Д, 11/10 №58-27020] згідно якого в проміжному ковші, розділеному двома перегородками, кожна з яких має по декілька перетічних каналів з різним напрямком, на три камери: приймальну та камери перемішування і сплиття неметалевих включень, через які послідовно, формуючи в кожній з них струмені різного напрямку, пропускають рідку сталь. В ре-

зультаті включення, які знаходяться в металі, коагулюють та укрупнюються, а потім спливають та виділяються в шлак. Такий спосіб хоч і має дієву, з точки зору видалення включень, гідродинамічну схему проходження розплаву, однак вона не є достатньо раціональною по ефективності процесу вцілому по причинам:

1. Не має конкретних параметрів, як-то: довжина реакційних камер, кількість і площа перерізу каналів та їх співвідношення, які є вирішальними в створенні течій з необхідними швидко-силовими характеристиками та керуванні процесу вцілому. Невизначеність їх призведе до виникнення надлишкової турбулентності потоків, оголенню та повторному окисленню зеркала металу з утворенням додаткових включень.

2. Схема з послідовним перетіканням розплаву через окремі реакційні камери з почерговим формуванням занурених струменів різного напрямку при збільшенні шляху проходження в контакт з вогнетривами футеровки потребує жорсткого виконання температурного режиму, оскільки за час дворазового перетоків відбуваються суттєві втрати тепла, що буде причиною "заростання каналів" та порушення процесу. Підвищення температури початкового розплаву для запобігання небажаних явищ призведе до посиленого ерозійно-

(19) UA (11) 26193 (13) U

корозійного зносу вогнетривів, насиченню металу екогенними включеннями.

3. Відсутність продувки значно зменшує ефект рафінування, особливо від дрібних включень ендегенного типу, частка яких в розплаві складає більш ніж 60% і видалення яких можливе тільки за рахунок створення пухирами газу додаткової підйомної сили для їх сплиття.

У способі [пат. Великобританії, кл. B22D 11/10 №13111166] видалення неметалевих включень із сталі, яка протікає через проміжний ківш в напрямку до кристалізатора, здійснюється потоками пухирів інертного газу, які сходяться навколо вихідного отвору.

Недоліком цього способу є низька ефективність видалення включень внаслідок того, що потік металу за наявності швидкостей витяжки безперервно литих заготовок ($\sim 0,35 \text{ м}^3/\text{хв.}$), маючи велику турбулентність та швидкість як на підході до зони, так і в зоні продувки, знаходиться обмежено малий час, в одночас цей показник є визначальним в ефективному протіканні процесу рафінування, який складається із стадій впливання включень та асиміляції їх шлаковим шаром. Крім цього, не регламентуються такі основні параметри продувки як, межі зони та інтенсивність, що може зводити на нівець досягнення, регулювання та підтримку необхідних (збалансованих) швидко-силових характеристик струменів в зоні барбатажу, а в результаті забезпечення газонасиченого циркуляційного потоку без оголення джеркала металу та затягування шлаку, кратність обміну якого відповідає найбільш високому ступеню рафінування. Вказані причини призводять до того, що ефективність способу обмежується видаленням тільки макровключень, які в основній кількості складають не більше 20-25%.

Найбільш близьким прототипом до запропонованої корисної моделі щодо технічної суті та досягаемого результату, є спосіб рафінування сталі по [пат. США кл. C21C, 5/48 №4667939], що включає пропускання її через ряд прохідних отворів у вогнетривкій панелі проміжного розливного пристрою, а також продувку газом, подачу якого здійснюють через газопроникаючу ділянку панелі, яка виконана в її нижній частині. Така схема рафінування, маючи необхідно-дієві важелі очистки сталі від неметалевих включень, не може в повній мірі забезпечувати високу ефективність процесу в цілому, оскільки:

1. Невизначеність параметрів стадії пропускання сталі відносно кількості, загальної площі та напрямку прохідних отворів, а в результаті швидкостей занурених струменів і, таким чином, потоку металу, що виходить із отворів, так і режиму продувки, який визначається витратами інертного газу, значно обмежує як можливість керування, так і забезпечення високої ефективності процесу рафінування в цілому.

2. Поєднання двох різних, з точки зору гідродинаміки, важелів видалення із сталі неметалевих включень в одній зоні проміжного розливного ковша не є технологічно виправданим із-за неможливості в межах цієї зони створення і розподілу струменів та потоків з швидко-силовими харак-

теристиками флотаційний ефект яких буде ініційований в максимальному ступені. Недотримання, як оптимальних значень параметрів, так і їх взаємозв'язку, призводить до розбалансованості швидкісних режимів розповсюдження потоків розплаву, утворення екстремальної турбулентності. Це сприяє вторинному окисненню та забрудненню сталі додатковими включеннями із шару шлаку на її поверхні.

В основу запропонованої корисної моделі поставлена мета створення безперервного способу рафінування сталі в проміжних розливних ковшах шляхом формування та розподілу занурених гідродинамічних потоків розплаву різних напрямків з швидко-силовими характеристиками, які забезпечують врівноважені і ефективні умови видалення неметалевих включень.

Поставлена задача вирішується тим, що перетікання рідкої сталі зі зміною напрямку проходження окремих занурених струменів виконують одночасно, дотримуючись співвідношення $F_r:F_n = 0,50 \div 0,65$, в якому:

F_r - загальна площа перерізу горизонтальних каналів;

F_n - загальна площа перерізу нахилених каналів, через які здійснюється перетік сталі в напрямку до відкритої поверхні, а продувку інертним газом проводять в зоні на відстані $7 \div 11$ ефективних діаметрів каналів від перегородки з інтенсивністю $0,20 \div 0,40 \text{ м}^3/\text{хв.}$

По-перше, оптимальний в межах $0,50 \div 0,65$ діапазон співвідношень розподільчих каналів в перегородці, формуючих одночасно занурені струмені різного напрямку з врахуванням врівноваженої їх роботи, забезпечує досягнення найбільш рівномірного як розподілу поступаючого розплаву, так і збалансованих швидко-силових характеристик течій, спрямованих до відкритої поверхні проміжного ковша та співпадаючих з напрямком сплиття і, таким чином, максимального сприятливих, стабільних і ефективних умов видалення неметалевих включень на першій стадії рафінування. По-друге, таке співвідношення занурених струменів, трансформованих каналами різного напрямку, які розташовані в одній вертикальній площині, гарантує виключення короткої циркуляції та хвилеутворення на відкритій поверхні, а також створення високоефективної гідродинамічної ситуації для проведення другої стадії видалення неметалевих включень шляхом продувки сталі інертним газом. Це стає можливим і дієвим за рахунок здійснення її на ділянці проміжного ковша, границі якої обмежені відстанню від перегородки в 7-11 діаметрів формуючо-перетічних каналів і в якій знаходиться зустрічна зона змішування та взаємного проникнення поступаючих струменів різного напрямку, градієнт швидкостей яких ($7-10 \text{ см/с}$) сприяє зіткненню, укрупненню та подальшому ефективному сплиттю неметалевих включень в шар асиміляційного шлаку. Таким чином, за наявності конкретних параметрів стадій перетікання та продувки, з яких складається процес рафінування, а в результаті і оптимальних швидко-силових характеристик як окремих занурених струменів, так і потоку металу в цілому,

створюється раціональна і максимально ефективна гідродинамічна структура потоків в об'ємі сталі проміжного ковша та інтенсифікується масообмін процесів в системі метал-газ-шлак, які загалом сприяють стабільно високому ступеню видалення неметалевих включень. Порівняльні дані на вибір оптимальних параметрів процесу рафінування приведені в таблиці. Промислові випробування запропонованого способу безперервного рафінування сталі від неметалевих включень проводили на діючих проміжних ковшах машин безперервного розливання місткістю 43 тони конверторного цеху металургійного комбінату „Азовсталь”. Окремими експериментами провели перевірку в межах всього розглянутого інтервалу значень параметрів процесу: співвідношення $F_r:F_n$ (при зміні загальних площ перетічних каналів в інтервалі $154\div 518\text{см}^2$, інтенсивності продувки $12\div 20\text{м/год.}$ та відстані зони продувки від перегородки $350\div 910\text{мм}$. Розливання серій плавов показало, що проведення рафінування з дотриманням оптимальних значень параметрів його окремих стадій (див. табл. вар. 2-4) створюється максимально ефективна і зрівноважена структура потоків в об'ємі сталі проміжного ковша, швидкості яких в зоні змішування та взає-

мовпливу становлять $7,10\div 8,45\text{см/с}$. Це забезпечує необхідний час проходження сталі як до зони продувки, так і перебування в ній, що в підсумку гарантує роботу двох складових процесу в повній мірі. Приведені параметри процесу рафінування дають змогу його здійснення без оголення поверхні сталі в проміжному ковші. На протязі промислової перевірки встановлено, що процес рафінування забезпечує просте регулювання параметрів струменів різного напрямку і потоку в цілому, а також і наступної продувки при одночас стабільному режимі розливання серії плавов впродовж 7-8 годин. Металографічні дослідження показали, що запропонована технологія рафінування має стабільний вплив на видалення неметалевих включень. Спосіб рафінування дозволяє в сталях марок 09-10Г2ФБ, 13Г1СУ, ASTM-A-36 знизити вміст включень на 63-75%, підвищити відносне подовження в 1,1-1,3 рази, ударну в'язкість при від'ємних температурах на 15-20%, зменшити кількість дефектів на листовому прокаті в 2-3 рази, а його відбраковування по дефектам, які виявляються ультразвуковим контролем на 30-40%. Очікуваний економічний ефект може скласти 3-4 грн/т сталі.

Таблиця

Порівняльні дані з вибору оптимальних параметрів рафінування сталі в проміжних ковшах

| Варіант | Параметри процесу рафінування | | | Характеристики режимів рафінування сталі, очікувані результати |
|---------|-------------------------------|---|---|--|
| | $F_r:F_n$ | Інтенсивність продувки, $\text{м}^3/\text{хв.}$ | Відстань до зони продувки (кількість ефективних діаметрів каналу) | |
| 1 | 0,40 | 0,15 | 5 | <p>Швидкісно-силові характеристики при такому співвідношенні невідношені і зміщені в сторону нахилених занурених струменів, об'єм та робота котрих завелика, а горизонтальних – недостатня. В цьому випадку поступаючи з сталерозливочного ковша об'єм рідкого металу з надмірною енергією будуть переорієнтовані в жорсткі занурені струмені, швидкість яких складає $\sim 10,9\text{ см/с}$ і направлені до шлакового шару на відкритій поверхні проміжної ємкості з виникненням хвилювального руху, що призведе до оголення дзеркала розплаву від захисного шлаку та його повторного окислення з утворенням додаткових неметалевих включень.</p> <p>Загальна енергія потоку, створюваного горизонтальними струменями достатня лише частково для зміни напрямку та послаблення дії нахилених течій, а по мірі розповсюдження, розширення і взаємного проникнення струменів різного напрямку створюється зустрічна вихрова зона, швидкість потоку розплаву в котрій знижується лише до $9,1\text{ см/с}$. Наявність в цьому варіанті розбалансованості в швидкісно-силових характеристиках занурених струменів різного напрямку із-за незначного зниження осередненої швидкості, призводить і до скорочення часу проходження рідкого металу в зоні перетoku, а в результаті – до незначного ефекту видалення неметалевих включень на 1-й стадії рафінування.</p> <p>Продувка, яка проводиться за вказаними параметрами, а це : відстань до зони введення інертного газу, яка відповідає початковій ділянці занурених струменів де їх швидкість найбільша та інтенсивність відповідна пухляковому режиму обробки розплаву, не забезпечує належний ступінь рафінування. При таких витратах інертного газу на продувку швидкість руху газонасиченого розплаву в зоні барботажу падає до значень $15-21\text{ см/с}$. Це призводить до значного зменшення об'єму циркуляційного потоку, а в результаті кратності обміну тільки в межах $1,5-2,0$, що не гарантує забезпечення найбільш високого ступеня рафінування. Таким чином, не додержанням збалансованості швидкісно-силових характеристик занурених струменів, а також потоків в зоні барботажу на окремих стадіях рафінування, не досягаються максимально можливі показники способу видалення неметалевих включень з розплаву. Ступінь рафінування в цьому випадку складає не більше як $18-20\%$.</p> |
| 2 | 0,50 | 0,20 | 7 | <p>Такі межі співвідношення каналів, розташованих в одній вертикальній площині і, таким чином формуючих водночас занурені струмені різного напрямку, по-перше, забезпечують як найбільш рівномірний розподіл об'ємів рідкої сталі, так і оптимальні з точки зору гідродинаміки швидкісно-силові характеристики об'ємних течій, спрямованих до відкритої поверхні проміжної ємкості.</p> <p>Ці важелі є вирішальними в підтримці стабільності процесів флотації неметалевих включень та їх активної асиміляції шлаковим шаром. Таким чином спрацьовує I стадія рафінування сталі від неметалевих включень за рахунок забезпечення нахиленими зануреними струменями виникнення гідродинамічних потоків металу, які проходять через нахилени канали, утворюючи сприятливі умови: напрямом спливання неметалевих включень співпадає з траєкторією розповсюдження та розширення струменів, яка має в такому разі максимальну довжину гальмування, а значить і більш тривалий час проходження з врахуванням зниження швидкості в 2-2,2 рази в напрямку границі метал-шлак в проміжному ковші.</p> <p>Реакційна зона в районі контакту зі шлаковим покривом має її оптимальні значення ($\sim 4,3\text{см/с}$), що сприяє ефективному видаленню включень.</p> <p>Загальна площа каналів, які формують та спрямовують занурені струмені в горизонтальному напрямку є достатньою і</p> |

| | | | | |
|----------|------|--------------------|----|---|
| 3 | 0,55 | 0,30 | 9 | <p>забезпечує рух течій в підшлаковому шарі сталі з швидкістю ~6см/с та розвиток з оновленням поверхні взаємодії метал-шлак в результаті перемішування. Це призводить до активної асиміляції НВ, які виносяться нахиленими струменями, а в підсумку зниження кількості включень на 25-30%.</p> <p>Досягненням швидкісно-силових характеристик об'ємних течій різного напрямку цих варіантів в сполучі гарантується ліквідація застійних зон та коротка циркуляція металу, а також хвилюподібний рух на відкритій поверхні, що забезпечує стабільні умови рафінування.</p> <p>По-друге, оптимальним співвідношенням досягається також створення найбільш ефективної гідродинамічної ситуації для проведення 2 стадії видалення неметалевих включень шляхом продувки сталі інертним газом. Це стає можливим за рахунок її здійснення в зоні, границі якої обмежені відстанню від перегородки в 7-11 ефективних діаметрів формуючо-перетічних каналів. Границі зони продувки відповідають сумі довжин початкової та основної ділянок в напрямі розповсюдження занурених струменів. Цими границями, які залежать від діаметру каналів, також обмежується зустрічна зона змішування та взаємного проникнення поступаючих струменів різного напрямку, градієнт швидкостей яких сприяє зіткненню і об'єднанню неметалевих включень між собою та їх укрупненню. Цій зоні (зоні продувки) характерне як суттєве зниження швидкості проходження рідкої сталі з 11,8-14,3 см/с до 3,3-4,5 см/с, так і максимальний об'ємний дебіт струменів (досягається в перерізі, який відповідає значенню 0,6 довжини розповсюдження). Тут також розміщується і центр вихрових зон течій струменів. Продувка інертним газом такого потоку розплаву, що володіє мінімальною кінетичною енергією з інтенсивністю в приведених межах забезпечує пузирковий режим продування, який є найбільш сприятливим для видалення неметалевих включень, оскільки істотно збільшує поверхню контакту газової фази з рідким металом. При цьому створюється зона барботажу шириною ~0,37 рівня металу, в якій швидкість руху газонасиченого розплаву має значення 32-34 см/с, що дозволяє за час нахождения в її межах протікаючих об'ємів металу з багатого меншою швидкістю пронизувати його суцільною пузиревою завісою багатаразово. Кратність обміну об'ємів рідкого металу, які поступають в зону барботажу (активну зону флотації неметалевих включень) пропорційна відношенню їх швидкостей. Об'ємна швидкість циркуляційного потоку розплаву в зоні барботажу визначена згідно формули: $V=(1-\varphi)AU_p$, де: φ – коефіцієнт газонасиченості, A – площа зони барботажу, U_p – швидкість протікання розплаву.</p> <p>При додержанні вище приведених параметрів рафінування забезпечується кратність обробки 4-5.</p> <p>В результаті керування потоками розплаву в проміжному розливному пристрої досягається створення найбільш сприятливих умов, які інтенсифікують процеси адгезії на поверхні розділу пузир-включення та транспортування останніх до відкритої поверхні проміжної ємкості з подальшою асиміляцією включень шлаковим шаром.</p> <p>Загальне зниження вмісту неметалевих включень, завдяки впровадженню зазначених параметрів рафінування складо 63-75%.</p> |
| 4 | 0,65 | 0,40 | 11 | <p>При таких параметрах процесу швидкісно-силові характеристики нахилених занурених струменів зміщені в бік зниження і не є достатніми з точки зору створення стало-направлених об'ємних течій в напрямку до відкритої поверхні металу. В цьому випадку за рахунок зниження швидкості течій хоча і підвищується ефективність видалення неметалевих включень у зоні перетoku, але не забезпечується активний підйом поступаючих об'ємів забрудненого включеннями розплаву на максимальну висоту в проміжній ємкості і, таким чином, доставки їх до поверхні розділу метал-шлак, оскільки не досягається потрібна швидкість протікання занурених струменів в напрямку розповсюдження.</p> <p>Нахилені занурені струмені затухають, в результаті скорочується тривалість їх проходження до відкритої поверхні, а значить і час на флотацію НВ, так і не досягнув сприятливих умов. За цієї причини реакційна площа взаємодії з шлаковим шаром зменшується, стадія процесу видалення-асиміляції включень покривним шлаком обмежується невеликою ділянкою контактної поверхні цього шару через уповільнений по ходу протікання рух течій, не дивлячись на максимально інтенсивне перемішування горизонтальними струменями (їх швидкість досягає 8,1-11,5 см/с) шару металу, який контактує зі шлаком. Таким чином 1-ша стадія видалення неметалевих включень спрацює не в повній мірі, а тільки частково.</p> |
| 5 | 0,75 | 0,50 | 13 | <p>При таких параметрах процесу швидкісно-силові характеристики нахилених занурених струменів зміщені в бік зниження і не є достатніми з точки зору створення стало-направлених об'ємних течій в напрямку до відкритої поверхні металу. В цьому випадку за рахунок зниження швидкості течій хоча і підвищується ефективність видалення неметалевих включень у зоні перетoku, але не забезпечується активний підйом поступаючих об'ємів забрудненого включеннями розплаву на максимальну висоту в проміжній ємкості і, таким чином, доставки їх до поверхні розділу метал-шлак, оскільки не досягається потрібна швидкість протікання занурених струменів в напрямку розповсюдження.</p> <p>Нахилені занурені струмені затухають, в результаті скорочується тривалість їх проходження до відкритої поверхні, а значить і час на флотацію НВ, так і не досягнув сприятливих умов. За цієї причини реакційна площа взаємодії з шлаковим шаром зменшується, стадія процесу видалення-асиміляції включень покривним шлаком обмежується невеликою ділянкою контактної поверхні цього шару через уповільнений по ходу протікання рух течій, не дивлячись на максимально інтенсивне перемішування горизонтальними струменями (їх швидкість досягає 8,1-11,5 см/с) шару металу, який контактує зі шлаком. Таким чином 1-ша стадія видалення неметалевих включень спрацює не в повній мірі, а тільки частково.</p> |
| Прототип | | Не регламентуються | | <p>Наступна продувка з додержанням вказаних параметрів, хоча і проводиться за зоною, межі якої виходять за сумарну відстань розповсюдження нахилених струменів, а значить характеризується значно меншими швидкостями ніж в варіантах 2-4, не спрацює з максимальною ефективністю. Це пояснюється тим, що швидкість підйому газонасиченого розплаву в зоні продувки (барботажу) збільшується з зростанням витрат газу, оскільки росте питома під'ємна сила, а кінетична енергія іжектваного газу має незначний вплив на процес перемішування. При такій інтенсивності, з одного боку, досягається достатня кратність обробки, яка має суттєвий вплив на ефект рафінування, а з другого – такі витрати інертного газу не є оптимальними, оскільки призводять до нестабільності процесу флотації неметалевих включень через виникнення підвищеної турбулентності і, як наслідок, оголенню дзеркала металу (з його додатковим окисленням) та затягуванню часток покривного шлаку.</p> <p>Сполучення параметрів режиму рафінування не співпадає з їх оптимальними значеннями, тому ступенів рафінування за таких умов складає тільки 25-30%.</p> |
| | | | | <p>Зведення в одній зоні двох різних механізмів видалення неметалевих включень не є технологічно обгрунтованим та виправданим, оскільки призводить до не керованості процесу в цілому, а відсутність конкретних параметрів для керування потоками сталі виключає можливість уникнення появи екстремальної турбулентності, оголення поверхні металу від асиміляційного шлаку та його додаткового окислення. Крім цього також неможливо ініціювати їх зрівноважену роботу, а в підсумку – сприятливий флотаційний ефект видалення і наступної асиміляції включень покривним шлаком. Вказане призводить до суттєвих обмежень в одержанні стабільних результатів у видаленні неметалевих включень.</p> |