

Винахід відноситься до галузі чорної металургії і може бути використаним при розливанні сталі.

Відомий спосіб одержання виливків [патент Росії №2016071, МПК C21C1/00] шляхом уведення інокуляторів і модифікаторів у сталерозливний ківш і ливарну форму. Інокулятором є ультрадисперсний порошок металу або його з'єднання. Модифікацію виконують коксом, силікокальцієм, кріолітом і ферросиліцієм. Додавання модифікаторів здійснюють у кількості 0,15-0,45кг/т.

Недоліком цього способу одержання виливків є низька ефективність модифікації та інокуляції. Вони викликані застосуванням речовин із питомою вагою меншою, ніж питома вага розплаву. Збільшена витрата модифікаторів і інокулятора (0,15-0,45%) пояснюється вільним, а не примусовим уведенням їх у розплав. Тому спосіб здійснюється в ковші і ливарній формі.

Відомий спосіб отримання виливків [Патент Росії №2025213, МПК B22D27/20] за яким у виливницю додають модифікатор і інокулятор. У метал додають Fe-Mn, Si-Ca і залізний порошок ПЖ-2К. Рівномірність розподілення речовин, які додаються у виливницю, досягається спеціальним завихренням металу (утворенням воронки у розплаві) при розливанні. Цим стабілізують фізико-механічні властивості металу в об'ємі виливка.

Незважаючи на спеціальні технологічні прийоми для підвищення рівномірності розподілу речовин, які додаються, спосіб має деякі недоліки. На початку розливання існує час на утворення ("розгону") воронки металу. При реалізації способу існують нестационарні режими введення речовини в струмінь. Тому, рівномірність розподілу модифікатора та інокулятора в ці моменти розливання буде гірше, ніж у стаціонарному режимі існування воронки. Отже, і фізико-механічні властивості цих порцій металу будуть іншими, ніж в цілому у виливку.

Незважаючи на примусове введення речовини в струмінь спосіб передбачає високу витрату інокулятора (1,38-1,47%). Це вимагає додаткового підвищення температури сталі перед розливанням. У наслідок цього одержує додатковий розвиток процес ліквідації, витрачаються енергоносії на необхідне підвищення температури сталі.

Відомий спосіб виготовлення виливків [Патент Росії №2022687, МПК B22D7/12] за яким здійснюють одночасне додавання модифікатора та інокулятора в нижню частину виливниці після її заповнення розплавом. Модифікатор і інокулятор додають таким чином, щоб забезпечити першочергове проведення процесу модифікації з наступним інокулюванням розплаву. Це досягається тим, що у виливницю речовина додається в капсулі, прикріпленій до штанги. Зовнішня оболонка капсули виконана з легкоплавкого матеріалу, усередині капсули знаходяться відходи жароміцної сталі. У проміжку між ними розміщений модифікатор - силікокальцій. Витрата інокулятора на процес становить 0,9-1,1кг/т.

Недоліками способу є:

- фрагментарність уведення модифікатора та інокулятора, а саме після наповнення виливниці розплавом;
- нерівномірність розподілу модифікатора та інокулятора в розплаві через їхнє фрагментарне введення;
- існуючий градієнт фізико-механічних властивостей розплаву через нестационарність процесу модифікації й інокуляції. Зниження температури розплаву після закінчення розливання йде безупинно (безупинно йде кристалізація розплаву), а додавання модифікатора та інокулятора здійснюється тільки наприкінці розливання;
- висока витрата речовини інокулятора 0,9-1,1кг/т розплаву;
- нерациональна послідовність введення в розплав модифікатора та інокулятора (спочатку модифікатор, а потім інокулятор). Взаємодія модифікатора (Si-Ca) - реакція екзотермічна. Зниження температури за рахунок інокулятора не підсилює взаємний ефект, а, отже, викликає збільшену витрату речовин на процес.

Найбільш близьким по технічній сутності є спосіб лиття виливків [Патент Росії №2101126, МПК B22D7/02, B22D19/16], що передбачає установку по висоті виливниці металевого стрижня, який виконано зі сплаву заліза та марганцю (стали Гадфільда із середнім змістом Mn 13,0%).

Недоліком способу є те, що модифікатор і інокулятор (Mn і Fe) надходять у сталь одночасно. Модифікатор і інокулятор мають близькі фізико-хімічні властивості (група Fe у таблиці Менделєєва). Дія модифікатора - марганцю поширюється тільки на сульфідні включення. Односпрямованість впливу модифікатора є недоліком способу.

Марганець і залізо утворюють близький до ідеального (термін фізичної хімії) розчин. Марганець взаємодіє з киснем без істотного теплового ефекту. Отже, процес модифікації не підсилюється процесом інокуляції. Це і є недоліком способу.

Задача винаходу - підвищити ефективність виготовлення виливків сталі за рахунок досягнення більшої однорідної структури сталі та отримання більш високого ступеня модифікації неметалевих оксидів, шляхом спеціального поєднання властивостей речовин реагентів і попереднього здійснення процесу інокуляції, який посилює процес модифікації.

Підвищення ефективності процесу знижує витрату речовин на виконання інокуляції та модифікації. У свою чергу це підвищує стабільність фізико-хімічних властивостей в об'ємі виливка і зменшує енерговитрати на нагрівання сталі.

Поставлена задача вирішується тим, що до заливання розплаву у виливницю розміщують модифікатор і інокулятор. У процесі заливання форми здійснюють спочатку інокуляцію а потім модифікацію, при цьому спорідненість до кисню використаної речовини модифікатора не менш ніж у 10 разів перевищує цей показник для речовини інокулятора.

У процесі заливання розплав спочатку взаємодіє з інокулятором. При розплавлюванні інокулятора відкривається доступ до модифікатора. Модифікатор починає взаємодіяти з розплавом при температурі більш низькою, ніж та, із якою розплав надійшов у форму.

Суттєвими ознаками способу, що заявляється, спільними із суттєвими ознаками найближчого аналога є те, що до заливання розплаву в ливарну форму в ній розміщують модифікатор і інокулятор.

Речовина модифікатора має спорідненість до кисню не менш ніж у 10 разів перевищуючу цей показник для речовини інокулятора. При виробництві виливків спочатку здійснюють інокуляцію, а потім модифікацію розплаву. Це відрізняє даний спосіб від способу по найближчому аналогу.

У процесі заливання розплав спочатку взаємодіє з інокулятором. У результаті цієї взаємодії інокулятор спочатку нагрівається розплавом у результаті їх контакту, а потім розплавляється. При розплавлюванні інокулятора відкривається доступ до модифікатора. Модифікатор починає взаємодіяти з розплавом при температурі нижчою, ніж та, із якою розплав надійшов у форму. Частина теплової енергії затрачується на нагрівання й розплавлювання інокулятора.

З аналізу розкислювальної здатності різних елементів [Раскисление и вакуумная обработка стали. Часть 1. Термодинамические и кинетические закономерности. Кнопель Г. Пер. с нем. Г.Н.Еланского. Изд-во «Металлургия» 1923г. с.312, Рис.39 (стр.93)] випливає, що в рівновазі з 0,1% Mn знаходиться 0,1% кисню. Спорідненість до кисню в марганцю зі зниженням температури з 1700 до 1550°C збільшується в 1,84 рази (стор.35).

При цій же концентрації іншого модифікатора наприклад, Si, Ti, Al рівноважна концентрація кисню відповідно складає 0,01, 0,007 і 0,0001% (стор.93).

Зміна спорідненості кремнію до кисню при зниженні температури від 1700 до 1550°C відповідно складе від 0,055% до 0,016% чи в порівнянних умовах з марганцем - 3,43 рази. Для титана цей показник для тих же умов складе 13,3 рази.

Посилення ефективності дії модифікатора при зниженні температури (Mn - у найближчому аналогу 1,84 рази, даний спосіб, наприклад, - Ti 13,3% або на 722,82%) дозволяє для отримання ефективності найближчого аналогу знизити витрату речовини модифікатора не менш ніж у 7 разів.

Застосування для модифікації речовини зі спорідненістю до кисню більше, ніж у марганцю дозволяє отримати додатковий ефект щодо найближчого аналогу - модифікація оксидів металів у який спорідненість до кисню менше. Іншими словами всі оксиди будуть відновлені до оксиду речовини модифікатора.

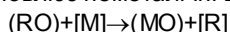
Для реалізації способу внутрішню поверхню форми (яка буде знаходитися в контакті з розплавом) покривають модифікатором і інокулятором. Покриття форми роблять напилюванням. Першим на форму напилюють модифікатор. Далі модифікатор, що знаходиться на поверхні форми, покривають речовиною - інокулятором. Речовиною - інокулятором можуть бути метали групи заліза з таблиці Менделєєва. Наприклад Fe, Mn, Cr, Ni чи їхні суміші.

Шар, захищений інокулятором, складається з металів чи їхніх комбінацій зі спорідненістю кисню як мінімум у 10 разів більше, ніж у матеріалу захищаючого шару - інокулятора. Наприклад Si, Ti, Ca і т.д.

При контакті розплаву з оболонкою-інокулятором остання нагрівається, а потім розплавляється. Після розплавлювання оболонки-інокулятора відкривається доступ розплаву до модифікатора.

При послідовності процесу: - інокуляція, а потім модифікація спочатку відбувається зниження температури в результаті асиміляції розплавом інокулятора з групи заліза. Через близьку будову кристалічних ґрат інокулятора із залізом розплаву, плавлення інокулятора супроводжується його рівномірним розподілом у загальному обсязі розплаву.

Неметалічні включення, що знаходяться в сталі, будуть знаходитися в збільшеному об'ємі розплаву за рахунок розплавленого інокулятора, а отже їх локальна й об'ємна концентрація знижуються. Розплавлювання інокулятора супроводжується зниженням температури сталі. Модифікатор починає надходити в сталь і взаємодіяти з неметалічними включеннями. Через високу спорідненість модифікатора (M) до кисню він відновлює неметалічні включення (RO) по реакції:



Через більш низьку температуру протікання цієї реакції модифікація вище, ніж у попередній реакції рафінування розплаву від кисню. Тому на неї затрачається менша вага модифікатора.

Приклад конкретного виконання:

Плавки сталі марки СтЗсп виплавляли в 300 тонній мартенівській печі скрап-рудним процесом. Для інтенсифікації застосовували технічно чистий кисень. Кисень подавали через три склепінних фурми, що мають по п'ять дуптових отворів.

Сталь розкислювали під час випуску в сталерозливальний ківш. Під струмінь додавали послідовно: Fe - Mn, 75% Fe - Si і чушковий алюміній.

Витрата розкислювачей забезпечувала середньомарочне вміщення Mn і Si у сталі - (0,48-0,65%) і (0,17-0,37%) відповідно. Концентрація алюмінію в сталі коливалася від 0,01 до 0,05%.

Сталь розливали сифонним способом і зверху. Маса виливка становила 9,2т. Перед початком розливання на внутрішню поверхню виливниці наносили шар модифікатора. Для цього на чавунну виливницю напилювали шар хімічно чистого алюмінію (98,8% алюмінію) або титану. На шар модифікатора наносили шар інокулятору - заліза. У досліді 4 модифікатором був титан. У досліді 5 і 6 як модифікатор використовували алюміній. Для реалізації найближчого аналога використовували сталь Гадфільду. Стрижень, що встановлювали у виливницю до початку розливання (дослід 1) одержували методом лиття.

Виливки з дослідних плавок прокатували на заготовки перерізом 80х80мм і 170х170мм. Для дослідження структури сталі від заготовок відбирали подовжні та поперечні темплети. Структуру сталі досліджували на оптичному мікроскопі й на електронному "Камскін". Аналоги і найближчий аналог здійснювали в окремих дослідіх.

Результати дослідження представлені в таблиці.

Таблиця

Результати дослідних плавок

| № | марка | Структура сталі заготівки |       |          |                     |                        |                        | Примітки          |
|---|-------|---------------------------|-------|----------|---------------------|------------------------|------------------------|-------------------|
|   |       | Розмір зерна. Бал         |       | Сульфід  |                     | Оксиди                 |                        |                   |
|   |       | Поверхня                  | Центр | Поверхня | Центр               | Поверхня               | Центр                  |                   |
| 1 | СтЗсп | 8,0*-7,0**                | 5,0   | Окремі   | Окремі<br>+ланцюжки | Скупчення<br>ланцюжків | Скупчення<br>ланцюжків | Найближчий аналог |

|   |     |         |         |                   |                     |                     |                     |  |
|---|-----|---------|---------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--|
| 2 | -«- | 7,0-8,0 | 4,0-3,0 | Ланцюжки          | Скупчення ланцюжків | Скупчення ланцюжків | Скупчення ланцюжків | Діюча технологія***                      |
| 3 | -«- | 8,0-8,5 | 4,0-3,0 | Окремі + ланцюжки | Окремі              | Окремі              | Окремі              | Аналог:<br>1 Модифікація<br>2 Інокуляція |
| 4 | -«- | 8,5     | 5,5-5,0 | Окремі            | Окремі              | Окремі дрібні       | Окремі дрібні       | Інокуляція + модифікація                 |
| 5 | -«- | 8,5-8,2 | 5,5-5,0 | Окремі            | Окремі              | Окремі              | Окремі дрібні       | Інокуляція + модифікація                 |
| 6 | -«- | 8,5-8,3 | 5,5-5,0 | Окремі            | Окремі              | Окремі дрібні       | Окремі дрібні       | Інокуляція + модифікація                 |

\* - перша цифра вказує перевагу розміру зерна в перерізі прокату

\* - \*\* - характеризує діапазон зміни зерна в перерізі прокату

\*\*\* - структура сталі заготовок без модифікації та інокуляції

Аналіз отриманих даних дослідних плавок дозволяє відзначити, що реалізація найближчого аналогу (дослід №1) подрібнює структуру сталі. У результаті розмір зерна в поверхневому шарі заготовки знижується з 7,0 до 8,0 бала (щодо дослід №2).

Реалізація прототипу істотно поліпшила форму сульфідних включень в об'ємі заготовки. Оксидні включення в порівнянні з металом отриманим за існуючою технологією залишилися без зміни.

Реалізація аналога (дослід №3) показала, що структура сталі в об'ємі заготовки залишається нерівномірною. Розмір зерна в поверхневому шарі заготовки 8,0-8,5, а в центрі 4,0-3,0 бал. При цьому сульфідні й оксидні включення стали більш дрібними (а, отже, менш шкідливими), чим у металі, отриманому за технологією аналога і найближчого аналога. Це пояснюється тим, що спорідненість до кисню в матеріалі модифікатора вище, ніж в інокулятора. Змінивши порядок операцій: спочатку інокуляція, а потім модифікація (досліди №№4-6), установили, що розмір зерна в об'ємі заготовок зменшується, рівномірність зерна перевищує показники найближчого аналогу. Це свідчить про більш високий ступінь модифікації, чим у способі за найближчим аналогом. Дрібнодисперсність сульфідних і оксидних включень також вище, ніж у аналога, найближчого аналога й технології, що раніше існувала.