



УКРАЇНА

(19) UA (11) 18172 (13) U  
(51) МПК (2006)  
C21C 7/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ ПОЗАПІЧНОЇ ОБРОБКИ СТАЛІ

1

2

(21) u200609131

(22) 18.08.2006

(24) 16.10.2006

(46) 16.10.2006, Бюл. № 10, 2006 р.

(72) Астахов Микола Миколайович, Комар Віктор  
Володимирович(73) Вишняков Олексій Євгенович, Вишняков Юрій  
Євгенович, Бородіна Олена Альбертівна(57) 1. Спосіб позапічної обробки сталі, що вклю-  
чає випуск розплаву зі сталеплавильного агрегата  
в ківш, подачу в ківш у процесі випуску розплаву  
шлакоутворюючих матеріалів, присадку вапна і  
продувку розплаву нейтральним газом, який відрі-зняється тим, що одночасно з присадкою вапна  
здійснюють подачу композиції для оптимізації  
шлакового розплаву, що включає, мас. %:

карбід кремнію SiC	5-15
оксиди лужноземельних металів	
$K_2O+Na_2O$	1-3
металевий алюміній Al <sub>met</sub>	15-30
металевий кремній Si <sub>met</sub>	5-15
оксид алюмінію Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37-74.

2. Спосіб за п.1, який відрізняється тим, що ком-  
позицію подають у кількості 0,2-0,4 маси вапна при  
вологості не більше 2%.

Корисна модель відноситься до чорної мета-  
лургії, конкретно до сталеплавильного виробницт-  
ва і може бути використана для підвищення ефек-  
тивності позапічної обробки сталі.

Чорна металургія є галуззю важкої промисло-  
вості, яка виробляє чорні метали, а саме чавун,  
сталь, прокат, доменні феросплави, металеві по-  
рошки чорних металів і ін. Чорна металургія охоп-  
лює весь процес від видобутку і підготовки сиро-  
вини, палива і допоміжних матеріалів до випуску  
прокату чорних металів і їх сплавів.

В даний час чорна металургія є однією з базо-  
вих галузей промисловості багатьох країн, однак  
при цьому залишається досить матеріалоемним  
виробництвом, а обладнання, що використовуєть-  
ся в даній галузі, достатньо швидко стає неприда-  
тним внаслідок агресивного впливу факторів ви-  
робництва. У зв'язку з розвитком нових галузей  
техніки потрібна була сталь, що має високу чисто-  
ту. Наприклад, у жароміцних сталях, що широко  
застосовуються в ракетобудуванні, неприпустима  
навіть незначна домішка свинцю або сірки. Для  
забезпечення високої якості одержуваного продук-  
ту в металургії використовують шлакоутворюючі  
матеріали, що дозволяють очистити розплав залі-  
за від небажаних або шкідливих домішок, а також  
сприяють прискоренню процесів шлакоутворення і  
скороченню часу виплавки сталі. Однак найчасті-  
ше шлакоутворюючі матеріали, що використову-  
ються в даний час, внаслідок недосконалості їх

хімічного і фракційного складу мають обмежену  
здатність підвищення якості одержуваного продук-  
ту. При їх застосуванні зберігаються агресивні фа-  
ктори виробництва, що негативно впливає на ре-  
сурс роботи обладнання, а витрати на  
виробництво сталі залишаються досить високими.  
Тому часто одночасно зі шлакоутворюючими ма-  
теріалами додатково використовують композиції  
для оптимізації шлакового режиму виплавки сталі,  
що у металургії являють собою матеріали, пере-  
важно мінерального походження, які сприяють  
утворенню шлаку, збільшенню швидкості його  
утворення, а також регулюванню його складу, зок-  
рема зв'язуванню порожньої породи або руди про-  
дуктів розкислення металу.

Найбільш розповсюдженими в даний час є  
шлакоутворюючі матеріали, у якості яких засто-  
совують вапно, плавиковий шпат або боксит, а також  
марганцевмісні речовини. Однак зазначені матері-  
али не є універсальними, а існуючі методи їх вико-  
ристання не можуть забезпечити задану стабіліза-  
цію ходу виплавки сталі в будь-якому відомому  
способі. Їх застосування для реалізації того чи  
іншого способу залежить від технологічних умов  
протікання процесу виплавки сталі. Крім того, ви-  
користання зазначених матеріалів не дозволяє  
цілком використовувати рафінувальний потенціал  
шлакової фази, що і приводить до підвищеної ви-  
трати вапна і плавикового шпату.

(13) U  
18172  
(11)  
(19) UA

Виходячи з цього, у сучасній металургії є актуальна потреба в композиціях для оптимізації шлакового режиму виплавки сталі, що будуть мати такий хімічний і фракційний склад, при якому мінімізується агресивний вплив компонентів композиції на металургійне обладнання, і підвищується якість одержуваних продуктів за рахунок більш глибокого очищення розплаву заліза від небажаних домішок. Крім того, для цілей зниження матеріальних витрат на виробництво сталі переважним є використання однієї універсальної композиції, придатної для оптимізації шлакового режиму виплавки для різних способів виробництва сталі.

Якість одержуваного кінцевого продукту в різних процесах виробництва сталі визначається типом використовуваних шлакоутворюючих матеріалів, а також застосовуваних композицій для оптимізації шлакоутворюючого режиму виплавки сталі, їх складом і фізико-хімічними властивостями. При позапечній обробці сталі в сталерозливному ковші в ході випуску металу зі сталеплавильних агрегатів найчастіше використовують такі шлакоутворюючі матеріали як вапно, плавиковий шпат, а також вторинний кусковий алюміній. При такому наборі шлакоутворюючих матеріалів відсутня можливість ефективного регулювання процесів шлакоутворення, що значно впливає на загальні термодинамічні і теплообмінні процеси рафінування сталі по вмісту сірки та інших неметалічних включень. Виходячи з цього, у сучасній металургії є актуальна потреба в композиціях для оптимізації шлакового режиму виплавки сталі, що будуть мати такий хімічний і фракційний склад, при якому мінімізується агресивний вплив компонентів композиції на металургійне обладнання, підвищується якість одержуваних продуктів за рахунок більш глибокого очищення розплаву заліза від небажаних домішок, а також забезпечується можливість ефективного регулювання процесів шлакоутворення.

Відома композиція для оптимізації шлакового режиму виплавки сталі, що включає оксид алюмінію  $Al_2O_3$  [патент України №18705, 1997р.]. Крім оксиду алюмінію зазначена композиція включає плавиковий шпат  $CaF_2$ , оксид кальцію (вапно)  $CaO$ , оксид кремнію  $SiO_2$ , залізо  $Fe$ , вуглець  $C$ , сірку  $S$ , фосфор  $P$  і оксид титана  $TiO_2$ .

Основними недоліками зазначеної композиції є відносно високий вміст фосфору, що виключає можливість її використання при виробництві тугоплавких сплавів через "забруднення" сплаву фосфором. Суміш також не забезпечує високого ступеня витягу тугоплавких елементів. Крім того, суміш містить у собі велику кількість різних компонентів, що значно підвищує її вартість і складність її виготовлення і застосування.

Відомий спосіб позапечної обробки сталі, що включає випуск розплаву зі сталеплавильного агрегату в ківш, подачу в ківш у процесі випуску розплаву шлакоутворюючих матеріалів, присадку вапна і продувку розплаву нейтральним газом [патент РФ №2138563, 1999р.]. Крім того, у процесі випуску розплаву в ківш здійснюють також подачу феросплавів, навугледьовувача і розкиснювача. У якості розкиснювача використовують гранульований алюміній з витратою 0,4-2,0кг/т металу. Шла-

коутворюючі матеріали включають вапно і плавиковий шпат із загальною витратою 4,2-15,0кг/т металу і співвідношенням компонентів 3,5/1-4,5/1.

У цьому способі відсутня можливість ефективного регулювання процесів шлакоутворення, які значним чином впливають на загальні термодинамічні і теплообмінні процеси рафінування сталі по вмісту сірки і неметалічних включень.

Найбільш близьким аналогом композиції, що заявляється, є композиція для оптимізації шлакового режиму виплавки сталі, що включає карбід кремнію  $SiC$ , металевий алюміній  $Al_{met}$  і оксид алюмінію  $Al_2O_3$  [патент України №18995, 1997р.]. Крім того, зазначена композиція містить оксид кремнію  $SiO_2$ .

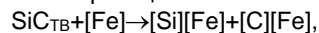
При використанні цієї композиції рівень в'язкості шлаку залишається досить високим, що у свою чергу приводить до погіршення умов плавлення композиції і зниженню ефективності шлакового режиму виплавки сталі.

В основу корисної моделі поставлена задача створення способу позапечної обробки сталі, у якому за рахунок застосування композиції для оптимізації шлакового режиму виплавки буде забезпечено удосконалення шлакового режиму позапечної обробки сталі в сталерозливному ковші, а також будуть забезпечені оптимізація хімічного складу суміші шлакоутворюючих матеріалів, підвищення рафінувального потенціалу розплавленої шлакової фази і прискорення активізації основних хімічних компонентів шлакового розплаву.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб позапечної обробки сталі включає випуск розплаву зі сталеплавильного агрегату в ківш, подачу в ківш у процесі випуску розплаву легуючих добавок, розкиснювачів, шлакоутворюючих матеріалів, присадку вапна і продувку розплаву нейтральним газом, при цьому одночасно з присадкою вапна здійснюють подачу композиції для оптимізації шлакового розплаву, що включає, мас. %:

карбід кремнію $SiC$	5-15
оксиди лужноземельних металів $K_2O+Na_2O$	1-3
металевий алюміній $Al_{met}$	15-30
металевий кремній $Si_{met}$	5-15
оксид алюмінію $Al_2O_3$	37-74.

Присутній у композиції для оптимізації шлакового режиму виплавки сталі карбід кремнію  $SiC$  при розплавлюванні композиції взаємодіє з рідким залізом по реакції:



с асиміляцією кремнію і вуглецю розплавленим металом сталевих ванн.

Зазначена особливість взаємодії карбіду кремнію впливає на механізм розподілу кисню між металевою і шлаковою фазами і регулює швидкість зневугледьовування металевої ванни, а також блокує процес переокислювання металу в період окислювання вуглецю. Наявність карбіду кремнію в композиції створює також достатній розкиснювальний ефект. Зниження вмісту карбіду кремнію в композиції нижче 5% недоцільно, оскільки на початку окисного періоду плавки спостерігається активізація окислювання заліза до  $FeO$ . Підвищення вмісту карбіду кремнію в композиції понад 15% також є недоцільним, оскільки це приводить до

блокування процесу окислювання вуглецю. Це може викликати необхідність введення додаткових окислювачів, приводить до перегріву сталевих ванн і негативно діє на футерівку печі, а також збільшує час виплавки сталі, що у свою чергу приводить до збільшення витрат на виробництво сталі.

Металевий алюміній являє собою власне алюміній у технічно чистому виді. Алюміній розкиплює рідкий розплав, тобто видаляє кисень, а наявність оксиду алюмінію сприяє як прискоренню засвоєння вапна, так і асиміляції неметалічних включень, що у свою чергу сприяє зниженню вмісту шкідливих домішок, наприклад сірки і кисню в сталі. За рахунок вибору різних співвідношень алюмінію та оксиду алюмінію можна регулювати процес шлакоутворення. Зниження вмісту алюмінію в композиції нижче 15% недоцільно, оскільки приводить до зниження рафінувальних властивостей шлаку, тобто до зниження здатності шлаку до очищення розплаву від небажаних або шкідливих домішок. Крім того, при вмісті металевого алюмінію менш ніж 15% не досягається істотного прискорення шлакоутворення через недостатнє надходження тепла реакції окислювання алюмінію в зону активного шлакоутворення. Підвищення вмісту алюмінію в суміші понад 30% також є недоцільним, оскільки приводить до протікання процесу шлакоутворення з піротехнічним ефектом, підвищення температури шлаку в реакційній зоні, що у свою чергу приводить до тимчасового уповільнення протікання основних сталеплавильних процесів і зниженню рафінувальної здатності шлакового розплаву.

Вміст у композиції оксиду алюмінію менш ніж 37% не забезпечує зниження в'язкості шлаку до значень, при яких відбувається істотне прискорення шлакоутворення. При вмісті оксиду алюмінію понад 74% в'язкість шлаку не тільки не знижується, але навіть підвищується за рахунок насичення шлаку тугоплавким глиноземом ( $Al_2O_3$ ).

Таким чином, включення до складу композиції для оптимізації шлакового режиму виплавки сталі металевого алюмінію  $Al_{met}$  і оксиду алюмінію  $Al_2O_3$  у встановлених межах дозволяє забезпечити високу швидкість протікання реакцій шлакоутворення з одночасним підтриманням рідкорухливості шлакового розплаву в умовах тривалого періоду часу і широкого діапазону температур процесів виплавки сталі, що дозволяє забезпечити ефективність металургійних процесів і знизити виробничі витрати.

Металевий кремній  $Si_{met}$  широко застосовується в металургії як одна з основних розкиснюючих і легуючих добавок. Металевий кремній - це кремній технічної чистоти (96-99% Si), що одержується у рудовідновних електропечах відновленням кварциту вуглецевими відновниками (деревне вугілля, нафтовий кокс і ін.). Присутність у суміші металевого кремнію  $Si_{met}$  у зазначених межах дозволяє стабілізувати вплив на шлако-металевий розплав металевого алюмінію  $Al_{met}$  за рахунок чого підвищується загальний технологічний ефект від використання композиції. Зниження вмісту кремнію нижче 5% є недоцільним, тому що приводить до прискорення реакції окислювання металевого

алюмінію  $Al_{met}$  і зниження рафінувального потенціалу шлакової фази. Збільшення вмісту кремнію понад 15% є недоцільним, оскільки може привести до уповільнення реакції окислювання металевого алюмінію  $Al_{met}$  і зниження рафінувального потенціалу шлакової фази.

Для одержання рідкорухливого шлаку до складу композиції введені легкоплавкі компоненти: оксид натрію та оксид калію в кількості 1-3% мас. Зниження вмісту в композиції оксидів натрію і калію нижче 1% приводить до небажаного збільшення в'язкості шлаку, погіршенню умов плавлення композиції і зниженню ефективності шлакового режиму виплавки сталі. Введення в композицію більш 3% оксидів натрію і калію приводить до зниження температури розплаву в зоні реакції і зниженню ефективності його обробки шлакоутворюючими матеріалами, що містять композицію для оптимізації шлакового режиму виплавки сталі.

Для виключення виникнення пожежонебезпечних ситуацій при виготовленні, збереженні і транспортуванні композиції необхідно, щоб її вологість не перевищувала 2%.

Оптимальність зазначеного вище співвідношення компонентів у композиції була підтверджена багаторазовими експериментами, виконаними як у лабораторних, так і у виробничих умовах.

Переважним є виконання композиції для оптимізації шлакового режиму виплавки сталі з наступним фракційним складом компонентів, %:

20,0мм і менше	≥90
більш 20,0мм	решта.

Такий діапазон фракційних складів компонентів композиції пояснюється фізико-хімічними законами ефективності їх використання і засвоєння при проведенні основних технологічних процесів виплавки сталі. Відхилення фракційного складу у бік збільшення вмісту дрібнодисперсних часток недоцільно, тому що вимагає додаткових витрат, але не дає помітного ефекту. Збільшення вмісту великодисперсних часток приводить до збільшення часу наведення шлаку, тобто також є не виправданим.

У цьому способі композиція для оптимізації шлакового режиму виплавки сталі забезпечує підвищення ефективності використання рафінувального потенціалу шлакової фази, зниження загальної витрати вапна і виключає необхідність додаткового використання в складі шлакоутворюючої суміші плавикового шпату і кускового вторинного алюмінію. Зазначена композиція по ходу технологічного процесу вводиться разом зі шлакоутворюючим матеріалом. По ходу випуску металу на його дзеркалі формується високоактивний рафінувальний шлак, який за рахунок кінетичної енергії падаючого струменя металу захоплюється і змішується з основною його масою в сталеразливному ковші і, по мірі його наповнення, здійснює рафінувальну дію на сталь, формуючи до закінчення випуску плавки на дзеркалі металу в ковші шар рідкорухливого рафінувального шлаку, що асимілює неметалічні продукти реакцій взаємодії активних елементів металу, розкиснювачей і легуючих елементів, а також процесів рафінування металу по сірці.

Експериментально встановлено, що найбільш оптимальний ефект при реалізації способу з використанням зазначеної композиції досягається при введенні композиції в кількості 0,2-0,4 маси вапна при вологості не більш 2%.

Реалізація способу позапічної обробки сталі ілюструється наступним прикладом.

Приклад. Позапічна обробка сталі

Здійснюють випуск розплаву зі сталеплавильного агрегату в ківш. У процесі випуску розплаву здійснюють подачу в ківш шлакоутворюючих матеріалів та металургійного вапна. При цьому одночасно з присадкою вапна на дзеркало металу здійснюють завантаження композиції для оптимізації шлакового режиму позапічної обробки сталі в кількості 1,5-3,0кг/т сталі (30-40% маси вапна). Зазначена композиція включає, мас. %:

карбід кремнію SiC	5
оксиди лужноземельних металів	
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	1,5
металевий алюміній Al <sub>met</sub>	20
металевий кремній Si <sub>met</sub>	6
оксид алюмінію Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	67,5.

Компоненти композиції, що завантажуються, мають вологість близько 1,5% при наступному фракційному складі:

20,0мм і менше	92,5%
більш 20,0мм	решта.

Таким чином, двокомпонентна тверда шлакоутворююча суміш, що включає металургійне вапно і композицію для оптимізації шлакового режиму виплавки сталі міститься в бункер з феросплавами в першу чергу. Після наповнення сталерозливного ковша металом на 1/7-1/6 його висоти здійснюють присадку феросплавів з бункера, при цьому вапно разом із зазначеною композицією надходить у метал в останню чергу. У випадку механізованої подачі феросплавів у ківш вапно разом із зазначеною композицією подають відразу ж після присадки феросплавів по єдиному тракту. Далі здійснюють продувку розплаву нейтральним газом за встановленою технологією.

Кількість композиції, що вводиться, варіювали з розрахунку від 1,45 до 3,25кг/т сталі (30 - 40% маси вапна).

Таблиця 1

Показники використання композиції для позапічної обробки сталі в ковші на випуску зі сталеплавильного агрегату (чисельник без використання композиції / знаменник з використанням композиції)

Витрати композиції, кг	Витрати вапна, кг	Витрати пла-вик. шпату, кг	Витрати кусково-го алюмінію, кг	Тем-ра металу на випуску, °C	Вміст S до обробки, %	Вміст S після обробки, %	Вилучено S, %
-/145	600/600	200/-	35/-	1650/1646	0,043/0,041	0,037/0,035	0,006/0,006
-/150	600/650	200/-	35/-	1640/1642	0,040/0,032	0,035/0,024	0,005/0,008
-/200	600/600	200/-	35/-	1640/1640	0,042/0,040	0,035/0,025	0,007/0,015
-/250	600/650	200/-	35/-	1640/1645	0,040/0,032	0,035/0,028	0,005/0,004
-/200	650/600	200/-	35/-	1644/1640	0,037/0,035	0,030/0,022	0,007/0,013
-/200	600/600	200/-	40/-	1640/1642	0,042/0,041	0,035/0,028	0,007/0,012
-/250	600/650	200/-	35/-	1648/1645	0,041/0,045	0,035/0,032	0,006/0,013
-/200	650/600	200/-	40/-	1640/1642	0,040/0,040	0,034/0,034	0,006/0,006
-/250	600/700	200/-	40/-	1636/1640	0,035/0,038	0,028/0,020	0,007/0,018
-/200	600/600	200/-	35/-	1648/1645	0,034/0,036	0,030/0,029	0,004/0,007
-/200	650/600	200/-	35/-	1644/1644	0,040/0,044	0,035/0,034	0,005/0,010
-/200	600/600	200/-	35/-	1636/1640	0,036/0,038	0,030/0,030	0,006/0,008
-/200	650/600	200/-	40/-	1648/1645	0,038/0,036	0,032/0,029	0,006/0,007
-/250	600/650	200/-	35/-	1636/1640	0,040/0,040	0,035/0,030	0,005/0,010
-/200	650/600	200/-	40/-	1640/1640	0,040/0,037	0,034/0,020	0,006/0,017
-/250	600/650	200/-	40/-	1644/1642	0,041/0,046	0,035/0,033	0,006/0,013
-/250	600/700	200/-	35/-	1644/1644	0,042/0,040	0,035/0,034	0,007/0,006
-/250	650/700	200/-	35/-	1644/1640	0,035/0,040	0,030/0,024	0,005/0,016
-/250	600/650	200/-	35/-	1640/1640	0,040/0,040	0,034/0,028	0,006/0,012
-/250	650/650	200/-	40/-	1644/1644	0,041/0,038	0,035/0,034	0,006/0,004
-/250	600/650	200/-	35/-	1648/1645	0,045/0,039	0,040/0,030	0,005/0,009
-/200	650/600	200/-	40/-	1640/1640	0,040/0,042	0,035/0,034	0,005/0,008
-/200	600/600	200/-	40/-	1640/1640	0,041/0,035	0,035/0,025	0,006/0,010
-/200	600/600	200/-	35/-	1640/1642	0,040/0,036	0,035/0,027	0,005/0,009
-/250	650/700	200/-	35/-	1640/1642	0,040/0,040	0,034/0,025	0,006/0,015
-/275	650/650	200/-	35/-	1648/1645	0,041/0,040	0,033/0,024	0,008/0,016
-/300	650/700	200/-	40/-	1640/1640	0,045/0,040	0,036/0,028	0,009/0,012
-/325	600/650	200/-	35/-	1640/1642	0,043/0,041	0,037/0,034	0,006/0,007

Аналіз отриманих даних показує, що при використанні композиції в складі шлакоутворюючої суміші для позапічної обробки сталі в ковші на випуску плавки зі сталеплавильного агрегату досягається значне, у порівнянні з традиційними шлакоутворюючими сумішами, збільшення ступеня десульфурзації металу. Включення до складу шлакоутворюючої суміші заявленої композиції,

за інших рівних умов позапічної обробки сталі в сталерозливному ковші, сприятливо впливає на зниження масової частки сірки в металі, що, при виконанні усіх вимог щодо параметрів композиції і оптимальній її витраті в межах, що заявляються, забезпечує зниження витрати плавикового шпату і кускового алюмінію, поліпшення якості сталі і зниження витрат на виробництво сталі. При цьо-

му найбільш помітно ефект застосування композиції виявляється при завантаженні приблизно 1,5-3,0 кг/т сталі (30-40% маси вапна).

Таким чином, корисна модель, що заявляється, за рахунок використання композиції для оптимізації шлакового режиму виплавки сталі з оптимально підібраним складом компонентів має

удосконалений шлаковий режим позапічної обробки сталі в сталерозливному ковші, а також оптимальний хімічний склад суміші шлакоутворюючих матеріалів, високий рафінувальний потенціал розплавленої шлакової фази і прискорену активізацію основних хімічних компонентів шлакового розплаву.