



УКРАЇНА

(19) UA (11) 18171 (13) U
(51) МПК (2006)
C21B 13/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ЕЛЕКТРОДУГОВИЙ СПОСІБ ВИПЛАВКИ СТАЛІ

1

(21) u200609129

(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. Електродуговий спосіб виплавки сталі, що
включає завалку металошихти, плавлення, дове-
дення розплаву до необхідної температури, про-
ведення окисного і рафінувального періодів плав-
ки металу і випуск розплаву, який **відрізняється**

2

тим, що в рафінувальний період плавки на дзер-
кало металу в електродуговій печі подають компо-
зицію для оптимізації шлакового режиму виплавки,
що включає, мас. %:

карбід кремнію SiC	5-15
оксиди лужноземельних металів	
K ₂ O+Na ₂ O	1-3
металевий алюміній Al _{met}	15-30
металевий кремній Si _{met}	5-15
оксид алюмінію Al ₂ O ₃	37-74.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що ком-
позицію подають у кількості 4,5-5 кг/т сталі при
вологості не більше ніж 2%.

Корисна модель відноситься до чорної мета-
лургії, а саме конкретно до сталеплавильного ви-
робництва і може бути використана для підвищен-
ня ефективності виробництва сталі в основних
плавильних агрегатах.

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 базових галузей промисловості багатьох країн, однак при цьому залишається досить матеріалоемним виробництвом, а обладнання, що використовується в даній галузі, достатньо швидко стає непридатним внаслідок агресивного впливу факторів виробництва. У зв'язку з розвитком нових галузей техніки потрібна була сталь, що має високу чистоту. Наприклад, у жароміцних сталях, що широко застосовуються в ракетобудуванні, неприпустима навіть незначна домішка свинцю або сірки. Для забезпечення високої якості одержуваного продукту в металургії використовують шлакоутворюючі матеріали, що дозволяють очистити розплав заліза від небажаних або шкідливих домішок, а також сприяють прискоренню процесів шлакоутворення і скороченню часу виплавки сталі. Однак найчастіше шлакоутворюючі матеріали, що використову-

ються в даний час, внаслідок недосконалості їх хімічного і фракційного складу мають обмежену здатність підвищення якості одержуваного продукту. При їх застосуванні зберігаються агресивні фактори виробництва, що негативно впливає на ресурс роботи обладнання, а витрати на виробництво сталі залишаються досить високими. Тому часто одночасно зі шлакоутворюючими матеріалами додатково використовують композиції для оптимізації шлакового режиму виплавки сталі, що у металургії являють собою матеріали, переважно мінерального походження, які сприяють утворенню шлаку, збільшенню швидкості його утворення, а також регулюванню його складу, зокрема зв'язуванню порожньої породи або руди продуктів розкислення металу.

Найбільш розповсюдженими в даний час є шлакоутворюючі матеріали, у якості яких застосовують вапно, плавиковий шпат або боксит, а також марганцевмісні речовини. Однак зазначені матеріали не є універсальними, а існуючі методи їх використання не можуть забезпечити задану стабілізацію 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, використання зазначених матеріалів не дозволяє цілком використовувати рафінувальний потенціал шлакової фази, що і приводить до підвищеної витрати вапна і плавикового шпату.

(13) U
(11) 18171
(19) UA

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. В електродуговому способі виплавки сталі в якості шлакоутворюючих матеріалів найчастіше застосовуються вапно і плавиковий шпат. При використанні тільки цих матеріалів відсутня можливість ефективного регулювання процесів шлакоутворення, які значним чином впливають на загальні термодинамічні і теплообмінні процеси виплавки сталі. 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 електродуговий спосіб виплавки сталі, що включає завалку металошихти, подачу шлакоутворюючого матеріалу, плавлення, доведення розплаву до необхідної температури і проведення окисного і рафінувального періодів плавки [патент РФ №2114920, 1998р.]. У якості шлакоутворюючого матеріалу використовують вуглевмісний комплексний флюс на феритно-кальцієвій основі.

У цьому способі неможливе забезпечення достатньо високого рівня десульфурзації сталі, що у свою чергу не дозволяє забезпечити високу якість одержуваного продукту. Крім того, використання такого шлакоутворюючого матеріалу не сприяє розкисленню металевому розплаву до необхідного рівня.

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 електродугового способу виплавки сталі, у якому за рахунок застосування композиції для оптимізації шлакового режиму виплавки буде забезпечено удосконалення шлакового режиму в рафінувальний період електродугової плавки, а також буде забезпечена оптимізація хімічного складу суміші шлакоутворюючих матеріалів, підвищення рафінувального потенціалу розплавленої шлакової фази і прискорення активізації ведучих хімічних компонентів шлакового розплаву.

Поставлена задача вирішується тим, що електродуговий спосіб виплавки сталі включає завалку металошихти, подачу шлакоутворюючих матеріалів, плавлення, проведення окисного і рафінувального періодів плавки, доведення розплаву до необхідної температури, при цьому в рафінувальний період плавки на дзеркало металу в електродуговій печі подають композицію для оптимізації шлакового режиму виплавки, 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:



з асиміляцією кремнію і вуглецю розплавленим металом сталеві ванни.

Зазначена особливість взаємодії карбіду кремнію впливає на механізм розподілу кисню між металеву і шлакову фазами і регулює швидкість зневуглицювання металеві 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 сталеві ванни 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 розкислює 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 властивос-

тей 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 шлакометалевий 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.

Переважає 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 застосування 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 є каталізатором процесів шлакоутворення та активатором хімічних компонентів шлакового розплаву, за рахунок чого досягається прискорення процесів формування і підвищення активності рафінувального шлаку. Додатково за рахунок вхідного до складу композиції металевого алюмінію досягається часткове зниження окисненості металевого розплаву. Рафінувальний період плавки при реалізації даного способу з використанням зазначеної композиції відрізняється стійкістю горіння електричних дуг у період розплавлювання шлакоутворюючих матеріалів, зниженням витрати графітованих електродів, а також зниженням витрати вапна, кремнієвмісних і марганцевмісних феросплавів. Крім того, відбувається збільшення вмісту сірки в шлаку, що свідчить про підвищення ефективності десульфурації металу.

Експериментально встановлено, що найбільш оптимальний ефект при реалізації способу з використанням зазначеної композиції досягається при введенні композиції в кількості 4,5-5,0кг/т сталі при вологості не більш 2%.

Реалізація способу електродугового способу виплавки сталі ілюструється наступним прикладом.

Приклад. Виплавка сталі в електродуговій печі.

Здійснюють завалку металлошихти і введення шлакоутворюючих матеріалів, в якості яких вводиться розрахункова кількість вапна і плавикового шпату. Після завалки здійснюють плавлення, після чого здійснюють окисний, а потім рафінувальний періоди плавки. При цьому, у рафінувальний період плавки на дзеркало металу в електродугову піч, разом з вапном, подають композицію для оптимізації шлакового режиму доведення сталі до необхідної температури і хімічного складу. Зазначена композиція включає, мас. %:

карбід кремнію SiC	8
оксиди лужноземельних металів	2,2

K_2O+Na_2O
 металевий алюміній Al_{met} 25
 металевий кремній Si_{met} 5,5
 оксид алюмінію Al_2O_3 59,3
 Компоненти композиції, що завантажуються,
 мають вологість близько 1,5% при наступному
 фракційному складі:
 20,0мм і менше 92,5%

більш 20,0мм решта.
 Після повного розплавлення всіх компонен-
 тів шлакової суміші здійснюються наступні коригу-
 вальні заходи згідно з встановленою технологією
 виплавки сталі в електродугових печах. Далі здій-
 снюють випуск розплаву в сталерозливний ківш.
 Кількість композиції, що вводиться, варіювали
 з розрахунку від 3,12 до 5,26кг/т сталі.

Таблиця 1

Показники використання композиції в рафінувальний період електродугової плавки (чисельник без викорис-
тання композиції / знаменник з використанням композиції)

витрати композиції, кг/т сталі	Витрати вапна, кг/т сталі	Швидкість нагрівання металу, °C/хв..	Основність шлаку	Швидкість де- сульфурації, % $\times 10^{-4}$ /хв.	Витрати ме- леного 65% феросиліцію, кг/т сталі	Витрати феро- марганцю, кг/т сталі	Тривалість ра- фінувального періоду, хв..
-3,12	17,8/17,6	4,72/4,70	2,25/2,32	1,25/1,21	3,8/3,8	5,12/5,25	30/34
-3,95	16,2/15,8	4,68/4,75	2,32/2,56	1,18/1,16	4,0/3,9	5,25/5,35	35/35
-5,25	15,6/14,5	4,85/5,15	2,18/2,48	0,95/1,10	4,1/3,9	5,10/5,15	45/36
-4,45	16,2/12,5	4,95/5,25	2,56/2,78	1,15/2,23	3,8/3,5	5,75/5,05	32/30
-4,15	17,0/13,0	5,15/5,45	2,34/2,65	1,14/2,02	3,6/3,5	5,65/5,25	30/25
-4,56	18,2/11,8	4,75/5,70	2,14/2,82	1,23/2,12	3,7/3,6	5,35/5,10	30/28
-4,57	17,4/12,2	4,85/5,65	2,13/2,78	1,25/2,23	3,8/3,5	5,25/5,11	30/26
-5,00	16,8/15,3	4,95/5,45	2,15/2,64	1,12/2,21	3,5/3,5	5,12/5,23	32/25
-4,48	15,5/13,7	5,10/5,70	2,15/2,55	1,08/2,32	3,9/3,4	5,70/5,12	34/25
-4,46	18,3/14,5	5,15/5,85	2,17/2,65	1,16/2,24	3,7/3,5	5,35/5,18	32/28
-3,52	17,6/17,6	4,85/4,95	2,36/2,46	1,16/1,10	3,8/3,9	5,15/5,25	34/36
-4,54	18,9/13,6	4,75/5,45	2,31/2,75	1,16/2,13	3,5/3,2	5,35/5,35	35/26
-5,26	21,4/17,5	4,85/5,10	2,22/2,56	1,08/1,10	3,8/3,6	5,75/5,55	40/35
-4,74	16,4/14,5	4,70/5,45	2,24/2,74	1,12/2,20	3,7/3,1	5,65/5,55	35/26
-4,23	16,7/15,6	5,15/5,10	2,27/2,66	1,13/2,21	3,6/3,5	5,55/5,35	32/25
-4,55	18,6/13,7	5,20/5,70	2,18/2,87	1,20/2,24	3,7/3,0	5,14/5,25	30/27
-4,45	19,4/14,6	4,95/5,85	2,11/2,75	1,19/2,23	3,5/3,1	5,31/5,24	36/25
-5,15	18,7/12,5	4,75/5,15	2,45/2,54	1,21/1,25	3,9/3,9	5,28/5,11	35/29
-4,46	19,5/12,8	4,70/5,75	2,47/2,88	1,18/2,24	4,1/3,2	5,15/5,05	34/25
-4,52	18,6/13,1	4,85/5,85	2,35/2,67	1,06/2,21	4,0/3,5	5,35/5,15	38/30
-4,45	17,5/12,9	5,15/5,70	2,23/2,68	1,09/2,23	3,8/3,4	5,45/5,18	40/26
-5,15	16,8/16,4	5,20/5,15	2,18/2,75	1,21/2,12	4,2/3,9	5,14/5,08	30/31
-4,56	17,7/12,8	4,95/5,85	2,25/2,85	1,06/2,32	3,8/3,2	5,65/5,24	38/30

Аналіз отриманих даних показує, що при вико-
ристанні композиції в рафінувальний період елек-
тродугової виплавки сталі досягається збільшення
швидкості нагрівання металевої ванни, а також
зниження масової частки сірки в металі, що, при
виконанні усіх вимог щодо параметрів композиції
та оптимальній її витраті в межах, що заявляють-
ся, забезпечує скорочення тривалості рафінуваль-
ного періоду плавки в електродуговій печі, зни-
ження витрати кремнієвмісних і марганцевмісних
феросплавів, поліпшення якості сталі і зниження
витрат на виробництво сталі. При цьому найбільш
помітно ефект застосування композиції виявляєть-

ся при завантаженні приблизно 4,5-5,0кг/т сталі.

Таким чином, корисна модель, що заявляєть-
ся, за рахунок використання композиції для опти-
мізації шлакового режиму виплавки сталі з опти-
мально підібраним складом компонентів має
удосконалений шлаковий режим в рафінувальний
період електродугової плавки, а також оптималь-
ний хімічний склад суміші шлакоутворюючих мате-
ріалів, високий рафінувальний потенціал розпла-
вленої шлакової фази і прискорену активізацію
основних хімічних компонентів шлакового розп-
лаву.