

УДК 669.094:669

<https://doi.org/10.34185/tpm.1.2019.06>

Ковальов Д.А., Мішалкін А.П., Камкін В.Ю., Токарев С.І., Ісаєва Л.Є.

Розвиток організації раціональних схем використання техногенних відходів в процесах позапічної обробки сталевого напівпродукту

Kovalev D, Mishalkin A, Kamkin V, Tokarev S, Isaeva L.

Development of the organization of rational schemes for the use of technogenic waste in the processes of off-treatment of steel intermediate

Приведено результати експериментальної перевірки ефективності комплексної позапічної обробки низьковуглецевої сталі при використанні дослідної суміші на основі техногенних відходів, яка подається частково в плавильний агрегат по завершенню окислювального періоду плавки та частково при виливанні під струмінь рідкого металу. Показано, що найбільш раціональним напрямком рециклінгу відходів металургійного та інших виробництв є використання шлакоутворюючих матеріалів, що отримуються шляхом сумісної теплової обробки сумішей компонентів, що містять вказані вище оксиди та вуглещмістячий матеріал рослинного походження. Їх вагове співвідношення у вихідній суміші визначається призначенням та властивостями готового продукту. Позитивні технологічні ефекти, які досягаються при застосуванні розробленого способу позапічної обробки забезпечать в подальшому сприятливі умови для ефективного проведення мікролегування, модифікування, вакуумування та стабільного розливання якісної низької - і наднизьковуглецевої сталі. Незначне зниження температури сталевого напівпродукту при реалізації розглянутого способу складає близько 10 - 15°C, що легко компенсується на установці піч-ківш, а незначне збільшення витрати електроенергії компенсується ефектами, що досягаються, при обробці сталевого низьковуглецевого напівпродукту.

Отримання більш високого ступеню десульфурзації і розкислювання сталі, а також зниження забрудненості сталі Al₂O₃ і підвищення екологічної чистоти процесу може бути досягнуто за рахунок зменшення у складі ШУС, яка використовується на першому етапі обробки, кількості шлаку алюмінотермічного виробництва ферромарганцю і повного виключення плавикового шпату, з перерозподілом вагових співвідношень порошкоподібних відходів виробництва вапна, шлаку алюмінотермічного виробництва ферромарганцю, шламів нейтралізації електрокорунду і карбіду кремнію.

The results of the experimental verification of the efficiency of complex out-of-furnace treatment of low carbon steel using a test mixture based on man-made waste, which is fed partly to the melting unit at the end of the oxidation period of melting and partly by pouring under a stream of liquid metal. It is the use of slag-forming materials obtained by joint heat treatment of mixtures of components containing the above mentioned oxides and carbonaceous material of vegetable origin. Their weight ratio in the initial mixture is determined by the purpose and properties of the finished product. The positive technological effects that are achieved by applying the developed method of after-treatment will in future provide favorable conditions for the effective conduct of microalloying, modification, vacuuming and stable casting of low-quality and ultra-low carbon steel. A slight decrease in the temperature of the steel intermediate in the implementation of the method is about 10 - 15 ° C, which is easily compensated for the installation of the ladle, and a slight increase in electricity consumption is compensated by the effects achieved in the processing of low-carbon steel intermediate. Obtaining a higher degree of desulfurization and deoxidation of steel, as well as reducing the contamination of Al₂O₃ steel and improving the ecological purity of the process can be achieved by reducing the composition of the SHS used in the first stage of processing, the amount of slag aluminothermal production of ferromanganese and complete exclusion of melting, melting weight ratios of powdered waste production of lime, aluminum-thermal slag production of ferromanganese, sludge neutralization of electrocorundum and carbide chromium.

ВСТУП. Виробництво якісної металопродукції включає ряд переділів наскрізної технології отримання сталі, від раціональності та фізико-хімічного обґрунтування кожного з яких залежить кінцевий комплекс її властивостей. Формування прогнозуємих характеристик металу здебільшого закладається в сталеплавильному виробництві, завершуючись на стадії фінішної обробки сталевого напівпродукту методами позапічної обробки металу. Це робить необхідним вдосконалення не тільки традиційних технологій виплавки та способів позапічної обробки сталі, а і створення нових, що базуються на збалансованому використанні ресурсів сировини та енергії шляхом розробки матеріалів металургійного призначення, раціональних за змістом з отриманням позитивних ефектів, що дося-

гаються при їх використанні.

Сучасний стан питання. Слід зазначити, що тільки після зниження темпів зростання продуктивності металургійних агрегатів, яке відбувалося за низькою відомих об'єктивних і суб'єктивних причин, була зроблена належна оцінка можливих наслідків негативного впливу накопичення техногенних відходів, яке вже на той час носило глобальний характер. На тлі зниження запасів мінеральної сировини, викопного палива і погіршення екології сформувалася комплексна проблема, яка ґрунтується на рішенні взаємопов'язаних завдань - пошуку раціональних шляхів повернення техногенних відходів в основні металургійні процеси з метою зменшення витрати природних ресурсів, зниження рівня енергоємності металопродукції і поліпшення

Ковальов Дмитрій Арсентійович – д.т.н., проф. НМетАУ,
Мішалкін Анатолій Павлович – к.т.н., доц. НМетАУ,
Камкін Володимир Юрійович – аспірант НМетАУ,
Токарев Сергій Іванович - аспірант НМетАУ,
Ісаєва Людмила Євгенівна - к.х.н., доц. НМетАУ.,

Kovalev Dmitry – d.t.s., prof NMetAU
Mishalkin Anatoly - c.t.s., NMetAU,
Kamkin Volodimir – postgraduate NMetAU,
Tokarev Serhii – postgraduate NMetAU,
Isaeva Lydmila - c.c.s., assistant professor NMetAU.

екології промислово розвинених регіонів країни.

Результати багаторічних теоретичних та прикладних досліджень стали основою для розробки шлакоутворюючих матеріалів широкого спектру функціонального призначення на основі використання техногенних відходів для рафінування та позапічної обробки сталі [1 - 3]. На нашу думку спосіб попередньої сумісної теплової обробки суміші ряду відходів металургійного та рослинного походження, склад і вагове співвідношення яких ґрунтується на використанні індивідуальних та придбаних під час обробки суміші в умовах похилої обертової печі властивостей, є найбільш раціональним за рівнем споживаної теплової енергії та витрат матеріалів сировинної бази чорної металургії [4].

Значний інтерес металургів до використання в основних металургійних процесах вторинних відходів власного та інших виробництв ґрунтується на тому, що ці матеріали, в основному оксидного походження (FeO, Al₂O₃, SiO₂, MnO, MgO та ін.), пройшли попередню стадію теплової та хімічної обробки в умовах реалізації високотемпературних процесів з їх участю. Це дозволяє при їх індивідуальному використанні або у вигляді попередньо підготовленої суміші за рахунок зниження енергетичних бар'єрів металургійних реакцій з їх участю доводити основні процеси рафінування в плавильному агрегаті та агрегатах позапічної обробки до більш повного завершення за коротший проміжок часу.

Процеси теплової обробки сумішей відходів, склад і співвідношення компонентів в якій визначається функціональним призначенням готового продукту, доцільно проводити в теплових реакторах низькотемпературного при 250 - 350 ° або високотемпературного при 800 - 1200°C піролізу вуглецевмісних відходів рослинного походження в суміші з відходами на основі оксидів, які формують мінеральну основу продукту заданого призначення.

Таким чином, запропоновані підходи до вибору раціонального компонентного складу вихідної шихти на основі ряду техногенних відходів, засновано на оцінці прогнозованих ефектів, що досягаються при її спільній тепловій обробці, дозволяють найбільш повно використовувати сировинну і енергетичну складові вторинного потенціалу корисних властивостей відходів [4,5]. Показано, що найбільш раціональним напрямком рециклінгу відходів металургійного та інших виробництв є використання шлакоутворюючих матеріалів, що отримуються шляхом сумісної теплової обробки сумішей ряду компонентів – відходів, що містять вказані вище оксиди та вуглецьмістячий матеріал рослинного походження. Їх вагове співвідношення у вихідній суміші визначається призначенням та властивостями готового продукту. Залучення техногенних відходів в основні металургійні процеси вимагає розвитку раціональних технологій та обладнання.

Метою роботи є розширення спектру функціонального призначення інноваційних матеріалів за

рахунок розширення бази техногенних відходів, уточнення параметрів теплової обробки сумішей з їх участю, розробка та експериментальна перевірка ефективності схем їх використання при позапічній обробці сталевих напівпродукту.

Результати дослідження. Можливість нагріву металу в умовах УКП з регульованою швидкістю, особливості передачі теплоти від дуг занурених в шлаку в обсяг ванни, постійне на всьому протязі обробки продування аргоном визначає особливості позапічної обробки на УКП.

Споживання вапна в основних металургійних процесах при виробництві однієї тони сталі складає: для киснево-конвертерної сталі – 75 ÷ 100 кг, для мартенівської сталі – 35 ÷ 50 кг, для електросталі – 40 ÷ 60 кг. При використанні УКП витрата вапна, яке входить до базових ТШС, збільшується на 5 ÷ 7 кг/т.

Деякі автори вважають, що використання для десульфурації сталевих напівпродукту твердих шлакоутворюючих сумішей (ТШС) на основі CaO + CaF₂ в співвідношенні 4(3): 1 для умов УКП не виправдано [6]. Можливість досить швидкого нагріву шлаку, який формується після подачі шлакоутворюючих на поверхню ванни, дозволяє шляхом обґрунтованого вибору складу вихідної ТШС на основі CaO, SiO₂, Al₂O₃, FeO, MnO, MgO, R₂O, дозволяє істотно знизити витрату вапна при практично повному виключенні зі складу ТШС шкідливих фтористих з'єднань.

Принципова схема практичної реалізації плану комплексного дослідження включає:

- вибір вихідних матеріалів – відходів, властивості та компонентне співвідношення яких після проведення теплової обробки суміші на їх основі забезпечать отримання нового матеріалу металургійного призначення для використання в якості шлакоутворюючих з необхідною сіркопоглинаючою здібністю, розкислювача сталевих напівпродукту та для корегування вмісту в ньому вуглецю;

- експериментальне встановлення раціональних параметрів теплової обробки дослідних сумішей, що забезпечують використання паливної та теплової складових вторинного енергетичного потенціалу матеріалів рослинного походження – теплоти згоряння піролізу газів та фізичної теплоти продуктів піролізу з визначенням економії природного газу на процес обробки вихідних сумішей;

- розробка найбільш раціональної схеми використання дослідних матеріалів на основі техногенних матеріалів при позапічній обробці сталевих низько вуглецевого напівпродукту з аналізом отриманих результатів.

В попередніх роботах, присвячених дослідженням ефективності застосування дослідних ШУС цільового призначення для десульфурації низьковуглецевих сталей в умовах УКП, обґрунтовано використання сумішей, співвідношення в яких таких компонентів – оксидів, як CaO, SiO₂ та Al₂O₃ з добавками FeO, MnO, MgO, R₂O, дозволило створювати на поверхні ванни шлакову оксидну евтектику

з температурою плавлення нижче 1400°C при зменшенні модуля основності до $2,0 \div 2,5$ [3]. Досягнута при обробці металу ступінь десульфурзації становила 62,5% при зменшенні витрати вапна в дослідній ШУС у порівнянні з ТШС на основі вапна та плавикового шпату на 5,6% за рахунок більш високого ступеню використання сіркопоглинаючої здатності шлаку. Досягнута при використанні кускового вапна ступінь десульфурзації становила 57,1%

Аналіз результатів, досягнутих при реалізації способу обробки сталі в ковші, що включає випуск сталі із сталеплавильного агрегату в ківш, подачу в нього в процесі випуску сталі ТШС, що містить, мас. %: вапна 50-90; гранульований алюміній 1-30; плавиковий шпат – решта свідчить про наступне. Високий вміст плавикового шпату (20-27 мас.%) у складі використовуваної ТШС, яка подається під струмінь металу на випуску в ківш, призводить до забруднення атмосфери фтористими сполуками, шкідливими для здоров'я працюючих. Продування металу киснем через занурювальну фурму з витратою 0,25 - 0,28 м³/хв·т сталі з одночасною подачею алюмінієвого дроту (0,5 - 2,0 кг/т сталі), разом з незначним нагрівом рідкого металу (2-20°C), може привести до неконтрольованого зростання вмісту в оброблюваній сталі Al₂O₃, що вимагає додаткового продування металу в ковші аргеном з підвищеною витратою, що складає 0,3-2,0 м³/хв·т сталі впродовж 2-15 хв. Продування металу в ковші киснем може в цих умовах стати також причиною збільшення вмісту в металі активного кисню, що потребує додаткової витрати феросплавів для розкислювання сталі, що, в свою чергу, приведе до забруднення сталі неметалевими включеннями, а їх переведення в шлак потребує також додаткового продування металу аргеном і, у результаті, приведе до здорожчання вартості сталі.

Підвищення температури металу в ковші після обробки, що складає

2 - 20°C та досягається за рахунок значного збільшення витрати алюмінію (до 3,5 кг/т сталі), який окислюється у ванні киснем дуття, а також збільшення у складі ТШС вмісту CaO до 90 мас. % при зниженні в суміші вмісту CaF₂, приведе до зменшення ефекту десульфурзації сталі та потребує більшого часу її обробки. Слід також відмітити, що зниження в суміші вмісту CaF₂ при високому вмісті в ній CaO приведе до погіршення кінетичних умов десульфурзації металу. Так, зниження CaF₂ до 7,5 мас. % приводить, згідно літературними даними, до збільшення сірки до 0,018% при початку

вому і необхідному її вмісті відповідно в мас. % 0,010 і 0,005, що є причиною зниження ефективності позапічної обробки в цілому.

Основні завдання дослідження при розробці раціональної схеми позапічної обробки низьковуглецевого сталевого напівпродукту спрямовані на більш повну реалізацію вихідної сульфідної ємності шлаку, що утворюється при використанні дослідних ШУС на основі техногенних відходів; на досягнення максимально можливого ступеню використання в процесі позапічної обробки вуглецевого і окислювального потенціалів рафінуючого шлаку з метою зниження вмісту в металі активного кисню, розчиненого вуглецю, що знизить витрати феросплавів і створить сприятливі умови для мікролегуння та модифікування сталі зі зменшенням угару реагентів для їх проведення.

В умовах лабораторії каф. ТМП та Х в лабораторному 50 кг конвертері комбінованого дуття отримали низьковуглецевий сталевий напівпродукт такого хімічного складу, мас. %: С - 0,032; Si - 0,025; Mn - 0,035; S - 0,032; P - 0,003. Вміст активного кисню 1150 ppm.

На завершальному етапі виплавки напівпродукту після скачування пічного шлаку в період усереднювальної продувки ванни аргеном через дно високотемпературної моделі конвертера присаджували на поверхню ванни першу порцію дослідної ШУС (0,3 кг). Після її розплавлення весь метал і шлак випустили в лабораторний ківш з періклазовуглецевою футеровкою, заздалегідь нагрітою до 1200°C, з поданням після наповнення ковша на 1/3 другої порції дослідної ШУС у кількості 0,3 кг. Після випуску сталевого напівпродукту провели 2 хвилинне продування металу в ковші аргеном знизу з питомою витратою близько $15 \cdot 10^{-3}$ м³/хв.

Дослідну партію ШУС отримали методом теплової обробки при температурі близько 600°C заздалегідь перемішаної суміші наступних компонентів - відходів: порошкоподібні відходи виробництва вапна, шлаків нейтралізації електрокорунду і карбїду кремнію, шлаку алюмінотермічного виробництва феромарганцю, плавикового шпату і піролізного вуглецю. Розмір брикетів ТШС : діаметр 35мм, товщина 12мм. Склад дослідної ШУС, використаної при проведенні позапічної обробки мас. %: CaO - 55,9; SiO₂ - 6,7; Al₂O₃ - 26,5; Σ FeO + MnO - 5,50; 3 - 4,8; MgO - 0,4; Σ N₂O + K₂O - 0,2).

Вихідні данні про параметри вихідного низьковуглецевого напівпродукту та кінцевої сталі приведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Параметри низьковуглецевого напівпродукту і хімічний склад сталі після позапічної обробки напівпродукту ТШС

Матеріал	T°C	O, ppm	Вміст елементів, %				
			C	Mn	Si	P	S
Напівпродукт	1645	1150	0,0320	0,0350	0,0250	0,0030	0,0320
Сталь після обробки ТШС	1630	930	0,0325	0,0330	0,0230	0,0025	0,0013

Досягнуте зниження в металі активного кисню ~ на 17%; марганцю ~ на 6%; кремнію ~ на 8%; фосфору ~ на 17 %; сірки ~ на 65 %. Зниження тем-

ператури напівпродукту склало близько 15°C. Вміст вуглецю зріс незначно ~ на 1,5%.

Досягнутий склад сталевого напівпродукту пояснюється зміною окислювально-відновного потенціалу шлакової фази, що утворюється при плавленні ШУС, і за рахунок взаємодії її компонентів між собою і з елементами металевого розплаву. Завершальні операції по глибокому розкислюванню і вакуумній обробці сталевого напівпродукту дозволяють отримати якісну особливо низьковуглецеву сталь заданого складу і властивостей.

Поставлені завдання вирішувалися за рахунок того, що при використанні дослідної ШУС на основі техногенних відходів, позапічну обробку сталевого низьковуглецевого напівпродукту проводили в два етапи. Першу порцію суміші, що складала ~ 45,4% від усієї дослідної ШУС, вводили на поверхню ванни сталеплавильного агрегату в кінці окислювального періоду виплавки низьковуглецевого сталевого напівпродукту. В подальшому після її розплавлення, зливали метал і шлак в сталерозливний ківш. Після наповнення ковша на 1/3 його об'єму під струмінь металу присаджується друга остання порція ШУС у вигляді брикетів того ж складу в кількості 54,6 %. В якості компонентів вихідної суміші відходів перед її тепловою обробкою використано порошкоподібні відходи виробництва вапна, шламів нейтралізації електрокорунду і карбїду кремнію, шлаку алюмініотермічного виробництва феромарганцю, плавиковий шпат і піролізний вуглець, вагове співвідношення яких забезпечує в суміші вміст в мас. %: 50-60 CaO; 25-30 Al₂O₃; 5-10 SiO₂; 6-9 CaF₂; 5-7Σ (Feo + MnO) і 4-6 C.

В результаті проведення виплавки та позапічної обробки сталевого напівпродукта на масштабних високотемпературних моделях плавильного агрегату та ковша, при використанні ШУС одного постійного складу досягнуто збільшення ступеню десульфурації низьковуглецевого металу, знижено в ньому концентрацію вуглецю і активного кисню. Сумарний ефект зниження в металі сірки досягнуто за рахунок здійснення вуглецевого розкислювання шлаку і металу при використанні дослідної ШУС, що подається на поверхню ванни плавильного агрегату в кінці окислювального періоду виплавки та в об'ємі ванни ковша при її поданні під струмінь низьковуглецевого напівпродукту, що виливається в ківш.

Встановлено, що при нагріванні, розплавленні першої порції ШУС на поверхні металу в плавильному агрегаті утворювалася шлакова евтектика, яка за рахунок введення в вихідну суміш оксидів кальцію, заліза і марганцю, забезпечила феритний шлях шлакоутворення, який ініціював раннє утворення активної по відношенню до сірки шлакової фази на основі CaO - Al₂O₃ - CaF₂ - (FeO + MnO) з температурою плавлення близько 1380°C. Швидко переведення вапна в рідкий стан відбувається внаслідок утворення шлакової фази на основі CaO і Al₂O₃ при їх приблизному співвідношенні 2:1 в присутності в розплаві FeO і MnO. Обґрунтування складу дослідної ШУС на основі техногенних відходів базується на особливостях фізико - хімічних

процесів, які мають місце при проведенні позапічної обробки сталі з урахуванням функцій, які виконують компоненти ШУС на поверхні плавильного агрегату і під час її подання під струмінь металу.

Після виконання оксидами заліза і марганцю функції прискорення асиміляції CaO шлаком, що утворюється, залізо і марганець з оксидів частково відновлюються часткою вуглецю суміші, що в подальшому, призводить до розкислювання шлаку і металу і забезпечує деяке збільшення виходу придатного по залізу і марганцю. Встановлено, що реалізація такої схеми рафінування металу та шлаку в подальшому по ходу позапічної обробки дозволила знизити витрату феромарганцю і алюмінію на розкислювання сталі відповідно в кг/т: на 0,15 і 0,08. Продування ванни аргоном дозволило провести ініційовані реакції в системі метал – шлак до більш повного завершення при зниженні тривалості обробки в порівнянні з класичним способом позапічної обробки на 2, 5 хв. Іншим фактором підвищення інтенсивності рафінування сталі в умовах наближених до УКП безумовно є те, що при випуску в ківш сталевого напівпродукту і рідкоплинного високоосновного шлаку з низькою окислювальною здатністю, відбувається значне збільшення поверхні взаємодії двох фаз, що приводить до інтенсивної десульфурації металу.

Слід відмітити, що подання другої порції брикетованої ШУС того ж складу після наповнення ковша на 1/3, внаслідок зменшення її кількості приводить до зменшення часу утворення нової шлакової фази і до інтенсифікації процесів розкислювання і зневуглецювання сталі, що дозволяє довести реакцію десульфурації до повнішого її завершення без збільшення в напівпродукті вуглецю і кисню. На цьому завершальному етапі обробки сталі в ковші зменшується вірогідність утворення включень глинозему в об'ємі ванни, характерне при використанні феросплавів, які також вносять в метал фосфор і азот.

Зменшення або збільшення вмісту CaO, SiO₂, Al₂O₃ в ТШС приводить до утворення шлакової евтектики необхідної основності, але з температурою близькою до температури рідкої сталі на випуску в ківш. Це може значно погіршити термодинамічні та кінетичні умови десульфурації сталі, що потребує збільшення витрати ШУС, підвищення температури металу та часу обробки. Додатковим негативним наслідком необґрунтованої зміни складу ШУС є те, що шлак стане гетерогенним, що приведе до розвитку вторинного окислювання поверхневого шару металу.

Вміст піролізного вуглецю в інтервалі 4-6 мас.% дозволяє розкислювати шлак, що утворюється з першої порції ТШС, яка подається на поверхню ванни сталеплавильного агрегату, з метою виконання термодинамічних умов, що гарантують інтенсивну десульфурацію металу за реальних умов обробки сталі в ковші.

Сумарний вміст оксидів заліза та марганцю в ТШС в інтервалі 5 -7 мас.% достатній для прискоро-

рення шлакоутворення при заданому співвідношенні CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , без прояви їх негативного впливу на швидкість реакції десульфурації. Для нейтралізації негативного впливу збільшення вмісту оксидів заліза необхідно підвищити вміст у ШУС відновника - піролізного вуглецю, що в свою чергу приведе до зменшення продуктивності позапічної обробки сталі.

Встановлено, що при вмісті в ШУС 6-9 мас.% CaF_2 , при заданому співвідношенні CaO , Al_2O_3 і SiO_2 , утворюється шлакова евтектика з високою основністю і температурою нижчою за температуру рідкої сталі на 200 - 230°C, що забезпечує рухливість рідкого шлаку і досягнення високого ступеню десульфурації сталевго напівпродукту.

Висновки. Позитивні технологічні ефекти, які досягаються при застосуванні розробленого способу позапічної обробки забезпечать в подальшому сприятливі умови для ефективного проведення мікролегування, модифікування, вакуумування та стабільного розливання якісної низько - і наднизьковуглецевої сталі.

Незначне зниження температури сталевго напівпродукту при реалізації розглянутого способу складає близько 10 - 15°C, що легко компенсується

на установці піч-ківш, а незначне збільшення витрати електроенергії компенсується ефектами, що досягаються, при обробці сталевго низьковуглецевого напівпродукту.

Отримання більш високого ступеню десульфурації і розкислювання сталі, а також зниження забрудненості сталі Al_2O_3 і підвищення екологічної чистоти процесу може бути досягнуто за рахунок зменшення у складі ШУС, яка використовується на першому етапі обробки, кількості шлаку алюмінотермічного виробництва феромарганцю і повного виключення плавикового шпату, з перерозподілом вагових співвідношень порошкоподібних відходів виробництва вапна, шлаку алюмінотермічного виробництва феромарганцю, шлаків нейтралізація електрокорунду і карбіду кремнію. Це забезпечить в ШУС вміст в мас. %: 55 - 70 CaO ; 25 - 35 Al_2O_3 ; 3 - 5 SiO_2 ; 7-9% ($\text{FeO} + \text{MnO}$) і 5-6 С. При цьому отримання співвідношення $\text{CaO} : \text{Al}_2\text{O}_3 \sim 2$ забезпечить температуру плавлення шлакової основи ТШС близько 1400°C, а наявність у складі ШУС FeO , MnO і С забезпечать на другому етапі позапічної обробки сталі за рахунок раннього шлакоутворення значніший ефект десульфурації і вуглецевого розкислювання металу.

Бібліографічний список

1. А.П. Мешалкин, Н. А. Колбин, В. П. Камкин. Использование нетрадиционных материалов для десульфурации и дефосфорации конвертерной стали. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006.- № 7. – С. 187-190.
2. GENERAL DISTRIBUTION OCDE/GD(95)78 ENVIRONMENT MONOGRAPHS N° 109 RECYCLING OF COPPER, LEAD AND ZINC BEARING WASTES ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT Paris 1995 COMPLETE DOCUMENT AVAILABLE ON OLIS IN ITS ORIGINAL FORMAT. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=OCDE/GD\(95\)78&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=OCDE/GD(95)78&docLanguage=En)
3. Materials Science Published 2018. I.V. Tribushevskiy, B. M. Nemenenok, Marco Antonio Kulik. EXTRA-FURNACE STEEL PROCESSING BY RECYCLED SECONDARY ALUMINUM WASTE. DOI:10.21122/1683-6065-2018-1-100-105
4. Ю.І. Сокур, М. Карбовнічек, А.П. Мешалкин. Рациональна технологічна схема переробки техногенних відходів для отримання шлакоутворюючих матеріалів цільового призначення. *Теорія і практика металургії*, 2015. - № 3-6. - С. 16 – 21.
5. А.П. Мешалкин, Л.В. Камкина, Н.А. Колбин, О.Г. Безшкуренко, Я.С. Синицын. Концепция выбора рациональных составов рафинирующих смесей на основе техногенных отходов, способов их тепловой обработки и применения в основных процессах производства черных металлов. *Теория и практика металлургии*, № 1-2, Днепропетровск, 2017. с. 108-114.
6. Производство стали на агрегате ковш-печь / Д.А. Дюдкин, С.Ю. Бать, С.Е. Гринберг и др.: Донецк: ООО «Юго – Восток» ЛТД, 2003. – 300с.

References

1. A.P. Meshalkin, N. A. Kolbin, V. P. Kamkin. Ispolzovanie netradicijnyh materialov dlya de-sulfuracii i defosforacii konvertornoj stali. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost*. – 2006.- № 7. – S. 187-190.
2. GENERAL DISTRIBUTION OCDE/GD(95)78 ENVIRONMENT MONOGRAPHS N° 109 RECYCLING OF COPPER, LEAD AND ZINC BEARING WASTES ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT Paris 1995 COMPLETE DOCUMENT AVAILABLE ON OLIS IN ITS ORIGINAL FORMAT. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=OCDE/GD\(95\)78&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=OCDE/GD(95)78&docLanguage=En)
3. Materials Science Published 2018. I.V. Tribushevskiy, B. M. Nemenenok, Marco Antonio Kulik. EXTRA-FURNACE STEEL PROCESSING BY RECYCLED SECONDARY ALUMINUM WASTE. DOI:10.21122/1683-6065-2018-1-100-105
4. Yu.I. Sokur, M. Karbovnichek, A.P. Meshalkin. Racionalna tehnologichna shema pererobki tehnogennih vidhodiv dlya otrimannya shlakoutvoryuyuchih materialiv cilovogo priznachennya. *Teoriya i praktika metallurgii*, 2015. - № 3-6. - S. 16 – 21.
5. A.P. Meshalkin, L.V. Kamkina, N.A. Kolbin, O.G. Bezshkurenko, Ya.S. Sinicyн. Konceptiya vybora racionalnyh sostavov rafiniruyushih smesey na osnove tehnogennyh othodov, sposobov ih teplovoj obrabotki i primeneniya v osnovnyh processah proizvodstva chernyh metallov. *Teoriya i praktika me-tallurgii*, № 1-2, Dnepropetrovsk, 2017. s. 108-114.
6. Proizvodstvo stali na agregate kovsh-pech / D.A. Dyudkin, S.Yu. Bat, S.E. Grinberg i dr.: Doneck: ООО «Yugo – Vostok» LTD, 2003. – 300s.

Стаття поступила 14.01.2019