

Список літератури

1. Гарнісажна фурма із змінним розташуванням ярусів: пат. 130174 Україна. Заявл. 05.06.2018; опубл. 26.11.2018, Бюл. № 22.
2. Спосіб нанесення шлакового гарнісажу на футерівку конвертерів комбінованого дуття: пат. 129813 Україна. Заявл. 29.05.2018; опубл. 12.11.2018, Бюл. №21.
3. Горбунов А.Д., Сигарев Е.Н., Семенова Д.А. Теплообмен в рабочем пространстве конвертера при вдувании азотных струй в шлаковую ванну // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. - Вып. 7(22). – 2015. – С.64-73.

УДК 669.16

Є. М. Сігарьов, Д. В. Єськов, І. М. Матина, Д. А. Коваленко

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське

ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ ШЛАКУ КОВШОВОЇ ДЕСУЛЬФУРАЦІЇ ЧАВУНУ

Одним з перспективних напрямків зменшення втрат заліза при рафінуванні переробних чавунів на установках десульфурації (УДЧ) перед конвертерною переробкою є коригування в'язкості та поверхневого натягу ковшового шлаку, що формується по ходу операції. Завдання вирішується за рахунок оптимізації хімічного складу шлаку за умов збереження його десульфуруючої зданості. Відомо, що найбільш легкоплавкі евтектики $(\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2+\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2+\text{тридиміт}; \text{CaO}\cdot\text{SiO}_2+\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2+2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2)$, на відміну від покровних шлаків ковшової десульфурації чавуну з інжекцією як магнію, так і сумішей на основі CaO та магнію, плавляться при температурі ~ 1300 °C.

Маса сірки, що може бути видалена зі шлаком («продуктивність» шлаку по сірці) відрізняється від «сульфідної ємності» шлаку, отриманої розрахунками з використанням термодинаміки. Незважаючи на існування різноманітних механізмів та причин втрат заліза при ковшовій десульфурації: винесення Fe у потоці відхідних газів; вильот крапель Fe за межі ковша при руйнуванні спливаючих газових пазирів на границі ме-

тал-газ; зтягування шлаку у металеву ванну потоками у барботажній зоні із захопленням рідкого металу; видалення Fe зі шлаком, що скачують з поверхні ванни після обробки, найбільші втрати (0,4-2,6% від маси металу) обумовлені саме останнім варіантом.

До початку вдування реагентів-десульфураторів на поверхні ковшової ванни залишається шар міксерного (МШ) або доменного шлаку (ДШ) зазвичай в кількості 1200 та 1500 кг відповідно. МШ ПрАТ «Камет-Сталь» мають хімічний склад, %: 20-26,4 CaO, 41-51,4 SiO₂, 2,7-6,0 MgO, 4,7-18,0 Al₂O₃, 2,9-10,0 MnO, 5-8 FeO_x. ДШ ПрАТ «Камет-Сталь» має, у середньому, наступний хімічний склад, %: 48,2 CaO, 39,7 SiO₂, 5,5 MgO, 5,0 Al₂O₃, 0,09 MnO, 0,37 FeO_x. Шлаки з поверхні ванни перед обробкою чавуну не скачують. По ходу вдування вглиб ванни магнію (при моноінжекції) або суміші CaO+магній (при коінжекції) видалення сірки відбувається за рахунок утворення MgS_{ТВ} та MgS_{ТВ} й частково CaS_{ТВ}, що переходять у шар покровного шлаку. Внаслідок протікання масообмінних процесів CaO→MgS_{ТВ}→CaS→MgO хімічний склад та фізичні властивості шлаку безперервно змінюються.

Авторами доповіді досліджено умови зміни та характеристики шлаку десульфурації чавуну на УДЧ у 230-т заливальних ковшах конвертерного цеху ПрАТ «Камет-Сталь». Коінжекційною технологією проведення обробки передбачено вдування углиб розплаву чавуну (у середньому 200 т) суміші флюїдизованого вапна та диспергованого магнію. Передбачена і можливість введення розріджувачів шлаку, але у зв'язку з їх високою вартістю та відповідним зростанням собівартості обробки, такий варіант не застосовується.

Вміст заліза у ковшових шлаках УДЧ ПрАТ «Камет-Сталь» сягає 68-80% від маси кінцевого шлаку. Актуальним питанням є вибір дешевих недефіцитних розріджувачів-модифікаторів шлаку. У технологічному маршруті виробництва сталі на ПрАТ «Камет-Сталь» задіяні агрегати «ківш-піч» (АКП); відходами доведення сталі на яких є малоокиснений шлак (ШАКП₁) з підвищеним вмістом CaO. Склад шлаку ШАКП₁, %: 65-68 CaO, 24-26 SiO₂, 4,4-5,3 MgO, 2,21-4,23 Al₂O₃, 0,1-0,13 P₂O₅. Використання шлаку ШАКП₁ у якості модифікатору ДШ або МШ, що залишаються на поверхні чавуну перед вдуванням десульфураторів, та/або введення його по ходу вдування суміші CaO+Mg, за попередніми оцінками, сприятиме вирішенню екологічних завдань (утилізації відходів) та зменшенню собівартості обробки і втрат заліза. У шлаках з основністю CaO/SiO₂ нижче 0,93 (що відповідає молярному співвідношенню CaO/SiO₂=1) утворення CaS

уповільнене внаслідок відсутності вільних іонів O^{2-} й потребує додаткових витрат вапна. Введення ШАКП₁ з вмістом $CaO > 60\%$ здатне забезпечити економію коштовного флюїдизованого вапна.

Дослідженнями механізму рафінування чавуну показано, що максимальною рідкотекучістю володіють легкоплавкі шлаки евтектичного складу, а їх адсорбційна ємність залежить від ступеня структурно-хімічного розпорядження [1]. Відомо, що присадки MgO та Al_2O_3 знижують температуру плавлення шлаку у визначених інтервалах їх вмісту.

Авторами доповіді виконані розрахунки змін хімічних складів ДШ, МШ та ковшового шлаку УДЧ ПрАТ «Камет-Сталь» при введенні ШАКП₁, визначені плавкість та їх в'язкість після модифікування. Виконаний порівняльний аналіз змін фізико-хімічних властивостей вказаних вище шлаків ПрАТ «Камет-Сталь» та шлаків УДЧ і кінцевих шлаків АКП (ШАКП₂) одного з Європейських металургійних підприємств (МПЄ), що використовує коінжекційну технологію десульфурації чавуну на основі $CaO+Mg$. ШАКП₂ відрізняється підвищеним вмістом Al_2O_3 та має наступний склад, %: 57,3 CaO , 4,9 SiO_2 , 6,7 MgO , 24,6 Al_2O_3 , 0,5 P_2O_5 . Розрахунки виконані для умов комбінованого використання шлаків ПрАТ «Камет-Сталь», шлаків МПЄ, введення ШАКП₁, ШАКП₂ у різних поєднаннях, при витраті CaO та Mg на обробку чавуну 460 та 120 кг відповідно. На даному етапі досліджень FeO_x зі складу шлаку виключено, хоча останні має істотний вплив на в'язкість, поверхневий натяг та плавкість досліджених модифікованих шлаків.

Виконано прогнозування сульфідної ємності (C_s) на основі хімічного складу модифікованих шлаків з врахуванням оптичної основності (Λ), запропонованої Duffy та Ingram. Для розрахунку оптичної основності використані моделі, запропоновані Hao & Wang, Sosinsky & Sommerville, Young зі співавторами, Zhang зі співавторами. При розрахунках Λ та визначенні змін фізико-хімічних властивостей враховували основні компоненти шлаків (CaO , SiO_2 , Al_2O_3) та наявність до 10% MgO .

Хоча різні моделі дають відмінні результати, для модифікованих введенням ШАКП шлаків значення $\log C_s$ у діапазоні від -2,3 до -5,15, що корелює з даними відомих робіт. Визначений ступінь впливу на C_s змін температури та вмісту (CaO). Зважаючи на те, що шлаки десульфурації зазвичай не є гомогенними [2] та містять певну кількість твердого CaS , прогнозування C_s недостатньо точно для промислових умов але є можливим при використанні для оптимізації хімічного складу покривного шлаку на УДЧ. В'язкість та плавкість досліджених шлаків визначали з використанням потрійних діаграм. За результатами виконаного для наведених вище умов аналізу встановлено, що

для збільшення обсягу рідкого покривного шлаку вміст MgO має бути в межах 8,6-9,8%, а вміст Al₂O₃ складати 12-15% при CaO/SiO₂ більше 1,1.

Список літератури

1. Анализ рафинировочных процессов ковшевой обработки стали / Буга И.Д., Троцан А.И., Белов Б.Ф., Носоченко О.В. [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – №3. – С. 16-20.

2. Сігарьов Є.М., Кочмола Д.С., Чубін К.І. Вплив покривного шлаку на перебіг ковшової десульфурзації чавуну // *Теорія і практика металургії*. - №1-2. – 2018. – С. 67-75.

УДК 621.74.047:621.746.27

**О. М. Смірнов, А. Ю. Семенко, Ю. П. Скоробагатько, М. С. Горюк, Ю. О. Смірнов,
В. В. Буряк, Д. І. Гойда, А. О. Горшков, Л. М. Лакомська**

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

e-mail: semenko.au@gmail.com

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЗОВНІШНІХ ФІЗИЧНИХ ДІЙ У КРИСТАЛІЗАТОРІ, ЗОНІ ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ЗОНІ ФІНАЛЬНОГО ТВЕРДНЕННЯ БЕЗ- ПЕРЕРВНОЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ

Сучасні тенденції розвитку процесів одержання безперервнолитих заготовок мають на меті поліпшення якості лиття, підвищення продуктивності процесу, ресурсо- та енергозбереження. Для досягнення зазначених цілей можна виділити наступні кроки, що ґрунтуються на застосуванні зовнішніх фізичних дій: забезпечення по можливості малонапорного надходження розплаву з проміжного ковша через занурений сталерозливний стакан до кристалізатора машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) або гальмування високошвидкісних потоків розплаву безпосередньо у кристалізаторі; забезпечення підведення розплаву по всій ширині кристалізатора; збільшення тепловідводу в кристалізаторі; вплив на формування поверхні безперервнолітої заготовки в кристалізаторі; забезпечення видалення газових та неметалевих включень з рідкометалевої ванни в зоні кристалізатора; збільшення тепловідводу в зонах