

Список літератури

1. Зильберг Ю. В. Теория обработки металлов давлением: Монография. / Ю.В. Зильберг – Днепропетровск: Пороги, 2009. – 434 с.
2. Данченко В.Н. Холодная пильгерная прокатка труб. / В. Н. Данченко, Я. В. Фролов, В.Ф. Фролов – Днепропетровск: Пороги, 2005. – 255 с.
3. Атанасов В. Р. Развитие процессов пильгерной прокатки прецизионных труб : Монография. / В.Р. Атанасов, Ю.М. Беликов, А.А. Терещенко – Днепропетровск : Січ, 2014. – 136 с.
4. Сравнение свойств – Титан, сплав титана. Марочник стали и сплавов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.splav-kharkov.com/choose_type_class.php?type_id=17

УДК 669.184

Є. М. Сігарьов, Ю. С. Лобанов, М. Р. Руденко, Д. В. Єськов
Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське

ТЕМПЕРАТУРНО-КОНЦЕНТРАЦІЙНІ ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ ГАРНІСАЖНОГО ПОКРИТТЯ

Як відомо, гарнісажний шар на поверхні футерівки конвертера оплавляється та змивається шлаковим розплавом зазвичай у першу третину продувки конвертерної ванни. Знос робочого шару футерівки з периклазовуглецевих вогнетривів обумовлений безперервним переміщенням зневуглецьованої при контакті з киснем або оксидами заліза зони вглиб робочого шару вогнетривів. При швидкості руху шлаку вздовж поверхні вогнетривів менше ніж 0,05 м/с, що має місце лише на початку продувки ванни, в умовах коли швидкість окиснення вуглецю, особливо в периферійних ділянках ванни, достатньо мала, знос вогнетривів залежить від зовнішнього масопереносу. Протягом основної частини продувки ванни знос вогнетривів не залежить від інтенсивності перемішування ванни і ланки зовнішнього масопереносу.

Глибина фільтрації середньоосновного первинного ($B=2,7$) шлаку в $MgO-C$ вогнетрив з вмістом вуглецю більше 6 мас.% не перевищує 0,5 мм, в той же час для кислих шлаків ($B=1,0$) цей показник складає 4,0-5,0 мм. Тому важливим завданням є зме-

ншення швидкості масопереносу у шлаку у перший період плавки. Це можливо за рахунок підвищення в'язкості шлаку, зменшення площі контакту останнього з футерівкою та збільшенням крайового кута змочування, захисту футерівки шаром шлакового гарнісажу належної міцності та товщини.

Встановлено вплив товщини гарнісажного шару на поверхні футерівки не тільки на тривалість кампанії конвертера по футерівці, а й на технологічні параметри конвертерної плавки, пов'язані зі шлаковим режимом та тепловтратами. При розрахунку матеріального балансу конвертерної плавки необхідно враховувати змивання частини сформованого шлакового гарнісажу з відповідним збільшенням поточної маси шлаку та зміною його хімічного складу. Зі збільшенням маси гарнісажу у шлаку слід очікувати зростання питомих витрат металошихти, що пов'язано з додатковими втратами заліза з корольками та додаткових витрат кисню на продувку ванни.

Механізм формування гарнісажного шару в основному визначається аеродинамічними умовами взаємодії газового струменя зі шлаковою ванною, обсягом та фракційним складом потоку шлакових крапель, умовами їх відриву від поверхні ванни та перенесення на поверхню футерівки.

У переважній кількості відомих моделей та підходів до опису механізму формування шлакового гарнісажу не враховується, або не уточнюється вплив зменшення товщини футерівки конвертера на швидкість нарощення гарнісажного шару. Не враховується і можливість переміщення (сповзання) крапель шлаку, нанесеного для формування гарнісажного шару, по вертикальній поверхні вогнетривів до моменту перколяції шлаку. Це не дозволяє у повній мірі оцінити фактичну товщину шару у визначених зонах та розробити способи її надійного забезпечення. До одних із способів нанесення гарнісажного шару необхідної (розрахункової) товщини віднесено використання нетрадиційних конструкцій гарнісажних фурм, у тому числі багатоярусних [1], призначених для примусового перенаправлення частини винесеного з ванни потоку шлакових крапель у необхідному напрямку на «проблемні» зони футерівки. Необхідно також врахувати вплив градієнту температур та кількість твердих тугоплавких частинок різних фракцій [2] на зміну температури крапель шлаку, що переносяться на футерівку. Температура робочої поверхні вогнетриву (1540-1590 °C), характер теплообмінних процесів у робочому просторі агрегата [3] будуть суттєво впливати умови «налипання» крапель та швидкість перколяції шлакового шару, що контактує з футерівкою.

Авторами доповіді уточнено методику розрахунку впливу тиску додаткових газових струменів на зворотній газшлаковий потік, що утворюється при вдуванні газо-

вих струменів з наконечника фурми у рідку ванну. Розрахунки виконані для двохярусної гарнісажної фурми. При площі кола перетину бокових струменів з врахуванням d_x та з врахуванням довжини кола внутрішньої поверхні стін 250-т конвертера (L) поверхня поясу внутрішньої робочої поверхні конвертера у площині контакту із боковим струменем $S'_{\text{пов}}$ складає: на початку кампанії по футерівці: для $d_{\text{конв}} = 4,2$ м ($d_x = 1,23$ м на відстані $x = 2,1$ м) : $S'^{4,0}_{\text{пов}} = 12,78$ м² при $L = 13,04$ м; наприкінці кампанії для $d_{\text{конв}} = 6,1$ м (для $d_x = 1,92$ м на відстані $x = 3,2$ м) : $S'^{6,0}_{\text{пов}} = 31,4$ м² при $L = 14,98$ м відповідно, а покривається струменями (K_n) лише $4,68$ м², або приблизно 30%. Це підтверджує можливість локалізації у просторі й використання впливу бокових газових струменів на траєкторію руху шлакових крапель та їх розташування на вертикальній поверхні футерівки. Сила тиску потоку азоту з бокового газового струменя другого ярусу фурми на краплю шлаку, що переноситься у газошлаковому потоці на відстані « x » від зрізу бокового сопла у $0,5$ м для краплі $d_k = 3$ мм складе $F_{0,5(3)} = 0,045$ Н. Площа поверхні вогнетриву, що буде покрита краплею складатиме, наприклад, для краплі шлаку діаметром $d_k = 3$ мм $S_3 = 7,065 \cdot 10^{-6}$ м²; а для $d_k = 5$ мм $S_5 = 19,625 \cdot 10^{-6}$ м² відповідно. Крапля шлаку $d_k = 3$ мм матиме кінетичну енергію у $0,047$ Дж та після контакту з вогнетривом в залежності від градієнту температур досягне умов первинної кристалізації, або стікатиме під впливом сил тяжіння у напрямку до шлакової ванни. Для створення додаткових центрів кристалізації запропоновано внесення у рідку шлакову ванну частинок тугоплавких модифікаторів різних фракцій.

Авторами доповіді розроблено методику розрахунку впливу кількості тугоплавких частинок (модифікаторів) у краплях шлаку різних діаметрів, що переносяться на поверхню вогнетриву по ходу роздування шлакової ванни, на зміну температури крапель від моменту їх вильоту з ванни до контакту з футерівкою.

Досліджено вплив крайового кута змочування шлаковими краплями з модифікаторами різних фракцій, на площу їх розтікання по поверхні футерівці кисневого конвертера, незахищеної гарнісажем та при наявності на останній гарнісажного шару товщиною 5-30 мм. Виконані розрахунки відстані зміщення крапель, за рахунок сил тяжіння, по вертикальній стіні конвертера від початкової точки контакту з футерівкою. Вивчено комплексний вплив поверхневого натягу, крайового кута змочування, діаметру крапель та вмісту в них тугоплавких модифікаторів на розрахункову відстань переміщення крапель шлаку по поверхні вогнетривів.

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-