

Водоохолоджувана панель дугової сталеплавильної печі ливарного класу

Корисна модель належить до електрометалургії сталі, зокрема, до обладнання дугових сталеплавильних печей (ДСП) ливарного класу.

Відновлення сталеплавильного комплексу України, з урахуванням нової реальності «зеленого курсу» ЕС, передбачає пріоритетний розвиток електрометалургії на малих металургійних заводах, у тому числі на основі ДСП, що простоюють у ливарних цехах з економічних причин [1].

У ДСП ливарного класу питома витрата електроенергії сягає 800–1100 кВтг/т, а тепловий ККД, як правило, не перевищує 0,5. У витратній статті енергетичного балансу таких печей переважають втрати енергії на акумуляцію теплоти масивною вогнетривкою футерівкою, обумовлені неритмічністю роботи з тривалими простоями через коливання тарифу на електроенергію впродовж доби.

Особливості класичної технології з тривалим періодом доведення металу суттєво обмежують застосовування водоохолоджуваних елементів замість частки вогнетривкої футерівки стін і зводу через значні втрати енергії випромінювання дуг, поверхні рідкої ванни та електродів при традиційно низькій питомій потужності трансформатору таких печей на рівні 0,5-0,7 МВА/т.

В сучасних ДСП «великої» металургії питома потужність становить 1-1,5 МВА/т, що дозволяє ефективно застосовувати водоохолоджувані елементи (панелі) в робочому просторі печі. В умовах швидкоплинності плавки напівпродукту при сучасній інтенсивної двохстадійної технології з доводкою сталі позапічними методами, фактор економії вогнетривів в ДСП у грошовому еквіваленті перевищує втрати енергії випромінювання з водою.

Концепція модернізації ДСП ливарного класу в умовах малого металургійного заводу [2] передбачає, при незмінних продуктивності, потужності трансформатору та геометричних параметрах кожуху, зводу й

електродів, підвищення питомої електричної потужності печі до 1,0-1,2 МВА/т шляхом зниження місткості сталеплавильної ванни за рахунок зменшення її діаметру, що є передумовою впровадження водоохолоджуваних елементів. З'являється можливість не тільки економії коштовних вогнетривів, а й зниження втрат енергії на акумуляцію теплоти футерівкою, як основної розхідної статті енергобалансу, за рахунок її заміщення значно менш теплоємними металоконструкціями панелей. Однак, умовою економічної доцільності впровадження водоохолоджуваних елементів в ДСП ливарного класу, у кінцевому рахунку, є мінімізація втрат теплоти з водою, що й покладено в основу пропонованої корисної моделі.

Відома водоохолоджувана панель металургійного агрегату (GB 2006410A МПК F27D 1/12, 02. 05. 1979), у вигляді однорядного трубчастого змійовика зі сталевих труб з мінімальним монтажним зазором та перехідників, який захищає каркас ДСП, поглинаючи тепло випромінювання. На робочій поверхні труб панелі закріплені шипи для утримання теплозахисного шару шлакового гарнісажу, що виникає в процесі плавки.

Недоліком пристрою є значні втрати теплоти випромінювання з водою через нестабільність шару гарнісажу на поверхні панелі зі щільним розташуванням труб, незважаючи на наявність шипів, що нівелює функцію теплоізоляції. Таким чином, значна частка теплового потоку випромінювання поглинається водою, що потребує додаткової витрати енергії на технологічний процес та веде до зниження енергоефективності ДСП.

Відома водоохолоджувана панель дугової сталеплавильної печі (UA 115191 МПК F27B 3/24, 10.04.2017), що включає систему сталевих труб зі зміщеними поздовжніми осями, які формують за допомогою перехідників просторову решітку, з внутрішнім і зовнішнім щодо робочого простору печі рядами труб, розташованих з однаковим шагом, в якій з використанням прикріплених на трубах сталевих елементів виконані ячейки для накопичення і підтримання гарнісажу. У даному пристрої міжтрубний інтервал становить 1,9-2,1 діаметра труби, відношення кроку між трубами до

міжосьової відстані між рядами становить 1,7-4,0. Ячейки для накопичення і підтримання сталого шару гарнісажу включають по два ребра, прикріплених кожне до двох труб внутрішнього ряду і до однієї труби зовнішнього ряду в площині, перпендикулярній повздовжній осі труб, і по одній пластині, прикріпленій до труби зовнішнього ряду і двох сусідніх ребр в площині, перпендикулярній ребрам.

Даний пристрій належить до двохрядних панелей і є більш енергоефективним, ніж GB 2006410A, завдяки використанню елементів просторової структури для накопичення гарнісажу. Водночас, конструкція водоохолоджуваної панелі, заради зменшення її товщини, надмірно ускладнена металоконструкціями для утримання сталого шару гарнісажу. Також ускладнюється герметизація кожуху печі через необхідність встановлення пластин-екранів між розрідженими трубами зовнішнього ряду. Фактор товщини панелі є важливим для ДСП, працюючих по інтенсивній технології, оскільки зменшення об'єму робочого простору, в порівнянні з вихідним при однорядних панелях, потребує додаткової операції завантаження металошихти, а, отже, збільшення часу плавки, щонайменше, на величину цієї «безтокової паузи». Результатом є зменшення продуктивності, зростання питомих витрат енергії та зниження енергоефективності печі. Проте, в умовах модернізації ДСП ливарного класу, концепція якої охарактеризована вище й полягає у підвищенні питомої потужності печі, товщина панелі практично не має значення з точки зору розміщення шихти в робочому просторі через суттєве зменшення діаметру й місткості ванни при незмінній геометрії кожуху.

Найбільш близьким аналогом пристрою, що заявляється, є охолоджувана панель дугової сталеплавильної печі (US 5772430A МПК F27D 1/12, C21B 7/10, 30. 06. 1998), що включає зовнішній та внутрішній ряди трубчастих зміювиків. Зовнішній ряд виконано щільним, а внутрішній ряд, висунутий в робочий простір ДСП і прикріплений до зміювика зовнішнього ряду, має розріджену структуру. У цьому пристрої, як і в UA

115191, реалізується просторова структура теплопоглинаючих елементів задля посилення можливостей енергозбереження за рахунок гарнісажу, що виникає в процесі плавки в просторі між рядами та між трубами змійовика внутрішнього ряду. Гарнісаж створює тепловий опір процесу теплопередачі з робочого простору ДСП і сприяє зниженню втрат теплоти з водою.

З позицій енергоефективності, пристрій US 5772430A дещо поступається пристрою UA 115191 через щільну структуру зовнішнього ряду труб, але перевершує його щодо експлуатаційної надійності завдяки щільній структурі зовнішнього ряду, що виконує функцію жорсткого й герметичного кожуху. Проте, особливості роботи ДСП ливарного класу з тривалим періодом доводки сталі безпосередньо у печі, потребують більш енергоефективних, щодо втрат теплоти з водою, технічних рішень водоохолоджуваних панелей.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення енергоефективності дугової сталеплавильної печі ливарного класу за рахунок конструктивних особливостей водоохолоджуваних панелей, які забезпечують зменшення втрат теплоти випромінювання з водою.

Поставлена задача вирішується тим, що водоохолоджувана панель дугової сталеплавильної печі, яка включає зовнішній ряд труб зі щільною структурою та внутрішній ряд труб з розрідженою структурою, висунутий в робочий простір ДСП й приєднаний до зовнішнього ряду, додатково містить приєднаний до зовнішнього ряду глибинний ряд труб з більш розрідженою структурою, більш висунутий в робочий простір ДСП, встановлений так, що повздовжні осі труб глибинного ряду у вертикальному перерізі проходять посередині між повздовжніми осями сусідніх труб внутрішнього ряду, причому горизонтальна проекція відстані між повздовжніми осями труб глибинного і внутрішнього рядів складає 1,2-1,6 діаметру труби, а міжтрубний інтервал глибинного ряду становить два міжтрубних інтервали внутрішнього ряду.

Сутність пропонованої корисної моделі пояснюється кресленнями, де на Фіг. 1,а дано вертикальний переріз пристрою, на Фіг. 1,б – вертикальний переріз панелі в процесі експлуатації. Водоохолоджувана панель ДСП ливарного класу включає систему сталевих труб діаметром d , які формують просторову решітку із зовнішнім 1, внутрішнім 2, та додатковим глибинним 3 рядами. Внутрішній 2 та глибинний 3 ряди приєднано до зовнішнього ряду 1 сталевими пластинами 4,5, відповідно. Глибинний ряд встановлено посередині між повздовжніми осями сусідніх труб внутрішнього ряду так, що горизонтальна проекція відстані між повздовжніми осями труб глибинного і внутрішнього рядів b складає $(1,2-1,6) d$. Міжтрубний інтервал глибинного ряду f_1 становить два міжтрубних інтервали внутрішнього ряду f . Панель має єдиний контур циркуляції води через сталеві перехідники (на Фіг. 1 не показано). Рух води в панелі пояснюється стрілками на Фіг. 1,б.

Пропонована корисна модель впроваджується в такий спосіб. Водоохолоджувана панель встановлюється в дуговій сталеплавильній печі ливарного класу і підключається до напорної і зливної магістралей системи водопостачання. Панель торкретують вогнетривким матеріалом 6, який заповнює міжрядний та міжтрубний простір, і висушують. В процесі роботи печі вогнетривкий матеріал частково оплавляється під дією теплового потоку з робочого простору (на Фіг. 1,б показано стрілкою) до певного рівноважного з тепловим навантаженням шару, який зберігається протягом кампанії водоохолоджуваних панелей в ДСП. В процесі експлуатації панелі вогнетривкий матеріал частково заміщується гарнісажем, який утворюється з продуктів плавки. Більша частка поверхні труб періодично не оголюється і панель не втрачає функцію енергозбереження, що є запорукою підвищення енергоефективності процесу виплавки металу в дуговій сталеплавильній печі.

Якщо горизонтальна проекція відстані між повздовжніми осями труб глибинного і внутрішнього рядів менше $1,2$ діаметру труби, просторова решітка панелі не отримує необхідного розвитку. Шар гарнісажу при цьому

не забезпечує виконання теплоізоляції панелі і зменшення втрат тепла з водою. Як результат, знижується енергоефективність ДСП.

Якщо горизонтальна проекція відстані між повздовжніми осями труб глибинного і внутрішнього рядів перевищує 1,6 діаметру труби, ефект екранування трубами глибинного ряду міжрядного простору і внутрішнього ряду від випромінювання з робочого простору ДСП суттєво спадає. При цьому рівноважна, за умов теплового потоку, товщина гарнісажу, що накопичується в панелі, зменшується. При циклічних теплових навантаженнях гарнісаж, оплавляючись, перестає вчасно заміщуватися новим шаром, що призводить до оголювання труб. Наслідком є зниження енергоефективності ДСП.

Міжтрубний інтервал глибинного ряду f_1 має становити два міжтрубних інтервали внутрішнього ряду f з позиції рівномірного теплового навантаження на просторову структуру водоохолоджуваної панелі по периметру робочого простору ДСП на даному горизонті, як умови стабільної теплової роботи панелей й максимальної енергоефективності ДСП. При f_1/f менш, ніж 2, втрати теплоти з водою підвищуються через зростання відносної водоохолоджуваної поверхні глибинного ряду, а у випадку f_1/f більш, ніж 2, втрати теплоти з водою зростають через зменшення шару гарнісажу на трубах внутрішнього ряду внаслідок недостатнього екранування трубами глибинного ряду теплового потоку із робочого простору печі. В обох останніх випадках спостерігається зниження енергоефективності ДСП.

Приклад.

Водоохолоджувана стінова панель встановлена в 15-т ДСП ливарного класу, яка працює за класичною технологією з доведенням до заданої марки сталі безпосередньо в печі. Панель виконана із стандартної труби зовнішнім діаметром $d = 73$ мм і товщиною стінки 10мм, матеріал сталь Ст20К. Згідно з пропонованими параметрами корисної моделі, глибинний ряд встановлено посередині між повздовжніми осями сусідніх труб внутрішнього ряду так, що горизонтальна проекція відстані між повздовжніми осями труб глибинного і

внутрішнього рядів b складає $1,4 d$. Міжтрубний інтервал глибинного ряду f_1 становить два міжтрубних інтервали внутрішнього ряду f .

Перед встановленням в піч панель торкретують розчином магnezитового порошку фракції 1-2 мм на рідкому склі щільністю 1200 кг/м^3 (до 10-12% по масі) і сушать газовим факелом при температурі до 400°C впродовж 24 годин.

Панель в печі охолоджується водою, яка циркуляє в змійовику з витратою $8 \text{ м}^3/\text{год}$. В процесі експлуатації панелі впродовж 2-3 плавов торкрет-маса з боку робочого простору у великій мірі заміщується гарнісажем. Гарнісаж сприяє тим самим зменшенню втрат тепла з водою і забезпечує підвищення енергоефективності ДСП.

З метою оцінки ефективності запропонованого пристрою за умов 15-т ДСП, проведено зіставлення втрат теплоти стінової панелі за найбільш близьким аналогом US 5772430A, а також аналогами UA 115191, GB 2006410A. Результати наведено в Табл. 1.

Таблиця 1. Порівняльні технічні характеристики водоохолоджуваних панелей в ДСП місткістю 15 т.

Характеристика	Одиниця виміру	Величина для конструктивного варіанту панелі			
		Корисна модель	Найбільш близький аналог US 5772430A	UA 115191	GB 2006410A
Діаметр труби / товщина стінки	мм	73/10	73/10	73/10	
Міжтрубний інтервал максимальний	мм		146	146	
Відстань між рядами труб	мм	240	120	48	
Втрати енергії випромінювання з водою на 1 м^2 поверхні панелі	Відносні одиниці	0,65	1	0,88	1,25

Наведені в табл. 1 дані свідчать про помітні технічні переваги пропонованого пристрою перед відомими відносно втрат енергії

випромінювання з водою. Таким чином, задача корисної моделі - підвищення енергоефективності ДСП досягається.