

М.М. Власенко (канд. техн. наук, доц.), **Е.М. Нємцев**
Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»
mykola.vlasenko@donntu.edu.ua, eduard.niemtsev@donntu.edu.ua

Удосконалення конструкції водоохолоджуваних панелей дугових сталеплавильних печей ливарного класу

У статті визначено важливість ливарної промисловості та роль дугових сталеплавильних печей (ДСП) в ній. Відзначено, що панелі водяного охолодження в ДСП є ключовими елементами, які забезпечують структурну цілісність та безпеку печей, відводячи надлишок тепла під час виплавки сталі. Аналіз літературних джерел показав, що існує певна проблематика, яка характеризує недосконалість окремих конструктивних частин сучасних водоохолоджуваних панелей – недостатня ефективність охолодження, корозія та витоки, які призводять до зниження продуктивності ДСП та збільшення споживання енергії. Зазначені фактори були проаналізовані та визначені окремі шляхи оптимізації з метою підвищення загальної ефективності та довговічності ДСП.

У стаття підкреслюється, що сучасні технології дозволяють зменшити витрати енергії та вогнетривких матеріалів за рахунок зниження ємності сталеплавильної ванни та оптимізації теплового балансу. Особливий акцент зроблено на потенціалі модернізації водоохолоджуваних панелей для підвищення ефективності сталеплавильного процесу. У роботі розкривається механізм роботи водоохолоджуваних панелей ДСП як просторової системи сталевих труб, з'єднаних за допомогою перехідних елементів і розміщених з різною щільністю та розміщенням у міжтрубному просторі шару термоізоляційного матеріалу. Зазначене визначило необхідність поліпшення конструкції панелей шляхом оптимізації їх просторової структури для забезпечення більш ефективного процесу теплообміну. Підвищення енергоефективності ДСП полягає у зменшенні втрат теплової енергії, що, крім іншого, забезпечує більш стабільну роботу при плаві, зменшує зношення компонентів і подовжує термін служби водоохолоджуваних панелей. Удосконалення конструкції водоохолоджуваних панелей полягає у варіюванні відстаней між осями водоохолоджуваних труб у залежності від їх діаметра та просторового розташування. Створена конструкція дозволяє оптимізувати шар теплоізоляційного матеріалу та мінімізувати непродуктивні втрати тепла. Недотримання розрахункового значення міжтрубного інтервалу може призвести до підвищених втрат тепла. Здійснені розрахунки та побудовані графічні залежності демонструють ефективність розподілу теплового потоку і мінімізацію втрат тепла. Застосування нової конструкції зменшує втрати тепла на 45% та покращує експлуатаційні властивості водоохолоджуваних панелей.

Ключові слова: *Дугова сталеплавильна піч, ливарне виробництво, водоохолоджувана панель, втрати енергії, вогнетривка футерівка, акумуляція теплоти, тепловий потік, тепловий баланс, температурне поле, гарнісаж.*

Постановка проблеми. Ливарна промисловість відіграє вирішальну роль у виробництві високоякісної сталі, що використовується в різноманітних галузях, таких як будівництво, автомобілебудування, виробництво зброї та інші. Дугові сталеплавильні печі (ДСП) широко використовуються в ливарному виробництві завдяки їх здатності досягати високих температур, забезпечуючи ефективне виробництво сталі. Одним з найважливіших компонентів дугових сталеплавильних печей є панелі водяного охолодження, завданням роботи яких є збереження структурної цілісності та безпеки роботи ДСП, що досягається шляхом відведення надлишкового тепла, що утворюється під час процесу виплавки сталі. Сучасні конструкції панелей водяного охолодження стикаються з низкою проблем, серед яких можна відзначити недостатню ефективність охолодження, виникнення осередків корозії та можливість появи витоків. Зазначені проблеми можуть призвести до зниження продуктивності ДСП, збільшення споживання енергії та скорочення терміну служби панелей, що в кінцевому підсумку впливає на експлуатаційні та економічні показники ливарного виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературних джерелах [1–9]:

- представлено всебічний огляд проектування систем водяного охолодження в електродугових печах, особлива увага приділяється важливості застосування панелей водяного охолодження та визначаються різноманітні фактори, що впливають на продуктивність панелей, такі як температура, тиск і склад матеріалу й визначаються шляхи оптимізації ефективності та довговічності панелей,

- здійснено дослідження впливу застосованих для виготовлення водоохолоджуваних панелей ДСП матеріалів, а при аналізі характеристик різних матеріалів враховуються умови експлуатації, фактори теплопровідності, корозійна стійкість і механічна міцність,

- досліджуються загальні причини виходу з ладу панелей з водяним охолодженням у електродугових печах, які спираються на аналіз експериментальних даних; визначаються фактори, що викликають відмови панелей та пропонуються шляхи запобігання визначених проблем,

– досліджуються новітні технології водяного охолодження, направлені на підвищення ефективності та довговічності водоохолоджувальних панелей ДСП, пропонується використання спеціалізованих матеріалів та удосконалення конструкції теплообмінників,

– досліджуються питання оптимізації систем охолодження ДСП ливарного класу з метою підвищення продуктивності водоохолоджуваних панелей і здійснюється оцінка різноманітних факторів, таких як швидкість потоку води, тиск і конструктивне виконання,

– досліджується вплив швидкості потоку на ефективність охолодження і термін служби водоохолоджуваних панелей ДСП шляхом складання оптимізаційної моделі, що може бути використана для визначення оптимального значення швидкості потоку охолоджуючої рідини за умови максимізації продуктивності пристроїв охолодження при мінімальному значенні витрат,

– чисельне моделювання процесу теплопередачі у водоохолоджуваних панелях електродугових печей дозволяє отримувати та здійснювати аналіз теплових характеристик панелей різних конфігурацій,

– здійснено аналіз термічних напружень у водоохолоджуваних панелях електродугових печей, досліджено вплив їх зосередження на розподіл теплових напружень і підвищення довговічності та продуктивності водоохолоджуваних панелей ДСП ливарного класу.

Мета досліджень. Використовуючи комп'ютерне моделювання дослідити вплив удосконаленої конструкції водоохолоджуваних панелей на підвищення ефективності роботи дугових сталеплавильних печей ливарного класу.

Методика досліджень. За допомогою програмного комплексу Компас-Аскон і SolidWorks була створена геометрична модель водоохолоджуваної панелі. Спільним застосуванням теоретичних розрахунків і результатів роботи прикладних програм було побудовано температурне поле в міжтрубному просторі водоохолоджуваних панелей.

Результати досліджень. Процеси, що протікають у дугових сталеплавильних печах ливарного класу, характеризується значною витратою електричної енергії, значення якої сягає 1000 кВт·г/т, а загальне значення теплового коефіцієнту корисної дії здебільшого не перевищує 50-60%. Класична технологія виплавки металу обмежує широке використання водоохолоджуваних елементів замість частини вогнетривкої футерівки стін і зводу через великі втрати енергії випромінювання дуги, поверхні рідкої ванни та електродів при недостатньому значенні потужності живлячого трансформатора.

Сучасні ДСП дозволяють ефективно використовувати водоохолоджувані панелі безпосередньо в її робочому просторі. При цьому фактор економії вогнетривів у ДСП переважає над значеннями втрат енергії випромінюванням з водою. Наступною передумовою впровадження водоохолоджуваних елементів є можливість зменшення ємності сталеплавильної ванни за рахунок зменшення її діаметра. Заміна надлишкового об'єму футерівки на конструкції водоохолоджуваних панелей з меншою теплоємністю дозволяє знизити втрати енергії на акумуляцію теплоти.

Енергетичні процеси у водоохолоджуваних панелях дугових сталеплавильних печей ливарного класу включають передачу тепла від розплавленого металу до панелі та від панелі до охолоджувальної води. Передачу тепла від розплавленого металу до водоохолоджувальної панелі можна визначити шляхом розрахунку теплового потоку через теплопровідність, Вт:

$$q_{mn} = \frac{\lambda_g \cdot S_{en} \cdot (T_{pm} - T_{en})}{b_g} \quad (1)$$

де λ_g – коефіцієнт теплопровідності матеріалу панелі (труб), Вт/м·К,

S_{en} – площа водоохолоджуваної панелі, м²,

T_{pm} – температура розплавленого металу поблизу водоохолоджуваної панелі, К,

T_{en} – температура зовнішньої поверхні водоохолоджуваної панелі, К,

b_g – товщина матеріалу панелі (товщина стінки труби), м.

Передача тепла від водоохолоджувальної панелі до охолоджуючої води через конвекцію, Вт:

$$q_{kon} = h \cdot S_e \cdot (T_{ne} - T_{oe}) \quad (2)$$

де h – коефіцієнт теплообміну конвекцією між панеллю та водою, Вт/м²·К,

S_e – площа поверхні панелі, що контактує з водою, м²,

T_{ne} – температура поверхні панелі, що контактує з водою, К,

T_{oe} – температура охолоджуваної води, К.

Втрати через теплове випромінювання панелі, Вт:

$$q_{vmt} = \varepsilon_w \cdot \sigma_B \cdot S_{ne} \cdot (T_{en}^4 - T_{oe}^4) \quad (3)$$

де ε_w – коефіцієнт випромінювання поверхні панелі,

σ_B – стала Стефана-Больцмана $\sigma_B = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²·К⁴,

S_{ne} – площа поверхні панелі, що випромінює, м²,

Кількість тепла, що відводиться охолоджуючою рідиною, Вт:

$$q_{\text{ц}} = m_{\text{ов}} \cdot c_{\text{ов}} \cdot (T_{\text{ов.вих}} - T_{\text{ов.вх}}) \quad (4)$$

де $m_{\text{ов}}$ – масова витрата охолоджуючої води, кг/с,

$c_{\text{ов}}$ – теплоємність охолоджуючої води при постійному тиску, Дж/кг·К,

$T_{\text{ов.вих}}$ – температура охолоджуючої води на виході з панелі, К,

$T_{\text{ов.вх}}$ – температура охолоджуючої води на вході в панель, К.

Тепловий баланс водоохолоджуваної панелі полягає в тому, що тепло, виділене в процесі плавки, компенсується теплом, відведеним охолоджуючою рідиною.

Теплообмін між робочим простором ДСП і водоохолоджуваним елементом, заповненим термічно рівноважним шаром шлаку, можна описати рівнянням:

$$q - (1 - \varepsilon_w) \cdot \sigma_B \cdot T_{\text{нв}}^4 - \frac{(T_{\text{нв}} - T_{\text{ов}})}{b/\lambda + b_g/\lambda_g + 1/\alpha_w} - \alpha_k (T_{\text{вн}} - T_{\text{рм}}) = 0 \quad (5)$$

де q – тепловий потік, Вт,

α_w – коефіцієнт теплопередачі від стінки труби до води, Вт/м·К,

α_k – коефіцієнт теплопередачі від стінки труби в навколишнє середовище, Вт/м·К,

b – товщина шару шлаку, м,

λ – теплопровідність шлаку, Вт/м·К,

Спираючись на наведені формули маємо змогу визначити шляхи модернізації водоохолоджуваних панелей дугових сталеплавильних печей ливарного класу. Обмежувачими факторами до змін можуть бути збереження сталих характеристик продуктивності, електричної потужності та головних геометричних параметрів. Застосування водоохолоджуваних панелей дозволяє заощадити на придбанні та облаштуванні вогнетривких матеріалів і зменшити втрати теплової енергії крізь футерівку. Удосконалені конструкції водоохолоджуваних панелей мають меншу площу теплопоглинаючої поверхні та мінімізують втрати тепла.

Водоохолоджувані панелі ДСП являють собою просторову систему сталевих труб, які з'єднано за допомогою перехідних елементів. Між внутрішніми і зовнішніми рядами труб, які здебільшого розташовані з однаковим кроком, містяться шари термоізоляційного матеріалу, що являє собою окиси та солі металів. Величина міжтрубного проміжку зазвичай становить близько двох діаметрів водоохолоджувальних труб з кроком між трубами – на рівні 2-4 діаметрів. Така конструкція охолоджувачів не дозволяє керувати шаром теплоізолюючого шару і вимагає використання складних конструкцій для утримання стабільної товщини зазначеного шару. Збільшення товщини оболонки печі ускладнює її герметизацію і зменшує об'єм «робочої» зони, ускладнює процеси обслуговування, вимагає здійснення додаткових дій при завантаженні шихти і, як наслідок, збільшення часу плавки.

Покращення конструкції водоохолоджуваних панелей може бути спрямовано на поліпшення ефективності теплообміну та оптимізацію наявної конструкції шляхом специфічного розміщення труб, термоізолюючих шарів і матеріалу цих шарів та геометричних розмірів окремих елементів водоохолоджуваної системи. Особливу увагу необхідно приділити також впровадженню новітніх матеріалів та технологій при конструюванні та виготовленні водоохолоджуваних панелей та їх інтеграцію до систем автоматичного керування, впровадженню систем моніторингу та контролю температури та виявлення витоків. Зазначені шляхи дозволять забезпечити стабільність роботи, зменшити зношення окремих компонентів та забезпечити довговічність елементів ДСП.

При поліпшенні конструкції в основу можна покласти принципи підвищення енергоефективності ДСП за умови зменшення втрат теплоти випромінюванням. Для цього зовнішній ряд труб «укладається» досить щільно, а внутрішній ряд труб – з меншою щільністю та виходом у внутрішній простір печі. Між зовнішнім і внутрішнім рядом труб розміщується проміжний ряд труб у шаховому порядку. Зовнішні та проміжні ряди з'єднуються з внутрішнім рядом за допомогою з'єднувальних елементів – сталевих пластин із того ж матеріалу, що і труби. Змінюючи відстань між поздовжніми осями труб різних рядів можна досягати найбільшої ефективності теплопередачі. Усі ряди труб мають єдиний контур циркуляції води – подача повинна надходити через внутрішні ряди, проходити через проміжні ряди, а відводитись – через зовнішні ряди.

Водоохолоджувана панель встановлюється в дуговій сталеплавильній печі та підключається до системи водопостачання, а сама панель заповнюється вогнетривким матеріалом, який необхідно попередньо висушити. У процесі роботи печі вогнетривкий матеріал під дією теплового потоку з робочого простору частково оплавляється до певного рівноважного об'єму та частково заміщується гарнісажем, що утворюється з продуктів плавки. Запорукою підвищення енергоефективності є збереження заповненості міжтрубного простору без втрати функцій енергозбереження.

При формуванні конструкції водоохолоджуваної панелі необхідно забезпечити таку відстань між поздовжніми осями труб глибинного і внутрішнього ряду, при якому шар гарнісажу забезпечуватиме виконання теплоізоляційних функцій та зменшує втрати теплової енергії з водою понад розрахункові значення. При циклічних теплових навантаженнях гарнісаж, оплавляючись, перестає вчасно заміщуватися новим шаром,

що призводить до оголення труб, чого, через зниження енергоефективності печі, допускати не можна.

Для забезпечення зазначених умов необхідно конструктивно обмежити значення міжтрубного інтервалу глибинного ряду на рівні двох міжтрубних інтервалів значення внутрішнього ряду, що забезпечить рівномірне теплове навантаження на просторову структуру водоохолоджуваної панелі по периметру робочого простору. Якщо відношення зазначених інтервалів менше двох, підвищуються втрати теплоти з охолоджуваною водою через зростання водоохолоджуваної поверхні глибинного ряду. При відношенні інтервалів більше за два, втрати теплової енергії з охолоджуваною водою зростають через зменшення шару гарнісажу на трубах внутрішнього ряду через недостатність екранування трубами глибинного ряду основного теплового потоку.

На рис. 1 наведено креслення запропонованої удосконаленої конструкції водоохолоджуваних панелей.

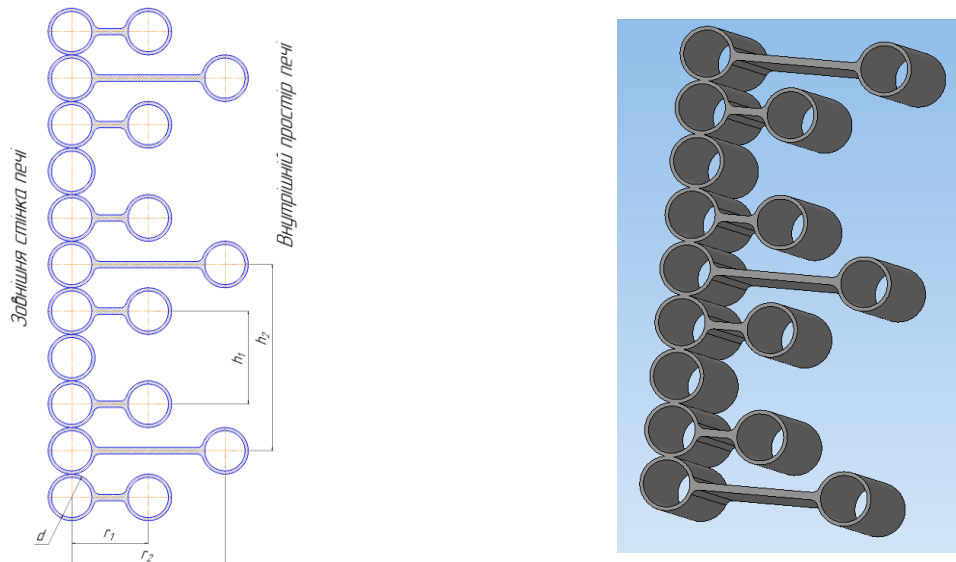


Рисунок 1 – Удосконалена конструкція водоохолоджуваних панелей

Розподіл температурних полів у водоохолоджуваних елементах під дією теплового потоку для удосконаленої конструкції водоохолоджуваної панелі наведено на рис. 2.

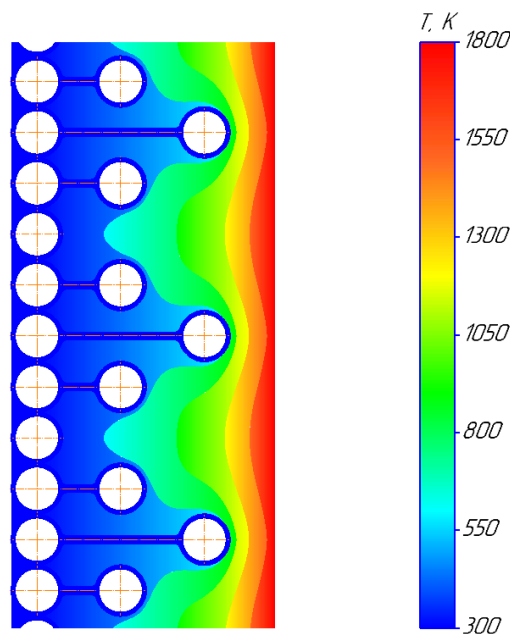


Рисунок 2 – Температурні поля в удосконаленій конструкції водоохолоджуваної панелі

Застосування розробленої конструкції з просторовою структурою труб зменшує втрати тепла з охолоджувальною водою на 30% у порівнянні з традиційним варіантом.

Аналіз картини розподілу теплового потоку у напрямку елемента робочої поверхні говорить про сприяння збільшенню питомого термічного опору панелі і зменшення теплових втрат з охолоджуючою водою. Відносний розподіл теплового потоку q по відносній координаті x водоохолоджуваних елементів наведено на рис. 3 [10].

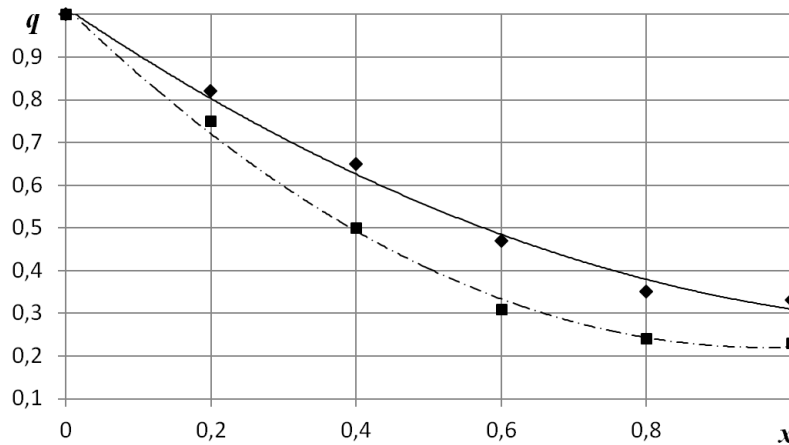


Рисунок 3 – Відносний розподіл теплового потоку q по відносній координаті x водоохолоджуваних елементів (— - базова конструкція, ---- - удосконалена конструкція)

Втрати теплоти у водоохолоджуваних елементах можна визначити на основі інтегральних характеристик теплообміну з нехтуванням вільною конвекцією назовні. Відносні втрати теплоти з водою представлено на рис. 4 [11].

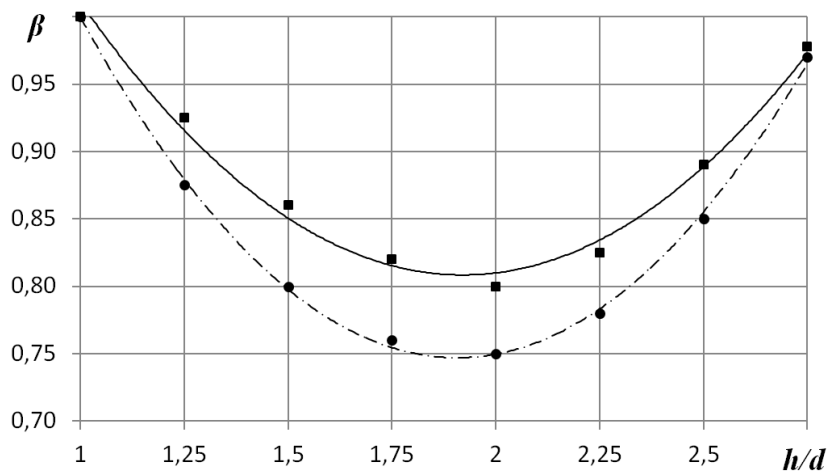


Рисунок 4 – Відносні втрати теплоти з водою на 1 м^2 водоохолоджуваної панелі (β) у залежності від параметра h/d (— - базова конструкція, ---- - удосконалена конструкція)

У сучасних ДСП застосовують трубчасті водоохолоджувані панелі з труб з вуглецевої котельної сталі. При експлуатації цих панелей виникають проблеми, які проявляються в утворенні поперечних тріщин на трубах цих панелей. Виникнення поперечних тріщин і пошкодження труб виникає внаслідок термічної втоми металу та дією циклічних термічних напруг, при яких вільному розширенню зовнішніх шарів стінки перешкоджають внутрішні та навпаки. Характерною ознакою тріщин внаслідок термічної втоми є їх кільцевий характер [12]. Наявність і тенденція зростання випадків появи подібних дефектів є непрямим свідченням недоліків конструкції водоохолоджуваних панелей.

Висновки. Шляхом використання і розвитку теорії теплообміну для робочого простору сталеплавильної печі була розроблена удосконалена конструкція водоохолоджуваної панелі, що має просторову структуру. Дана конструкція використовує теплоізоляційні та теплоакумуючі властивості гарнісажу, що забезпечує зниження втрат теплоти з водою на 30% у порівнянні з традиційними конструкціями водоохолоджуваних панелей; зменшити термічну втому під дією циклічних термічних напруг, що мають руйнівний характер для металевих конструкцій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Review on Modeling and Simulation of the Electric Arc Furnace (EAF). Hans-Jürgen Odenthal, Andreas Kemminger, Fabian Krause, Lukas Sankowski, Norbert Uebber, Norbert Vogl. First published: 28 November 2017.
2. Тимошенко, С.Н., Дорошенко, А.В., Дядьков, Б.П. и др. (2018). Энергоэффективные решения при модернизации малотоннажных дуговых сталеплавильных печей литейного класса. Металл и литье Украины, 3-4, 34-40.
3. Kylo, A., Filzwieser, A. and Gray, N. "Composite Furnace Modules -Background and Update/ Proceedings of EMC, 2007, pp. 1-12.

4. Marx, F., Shapiro, M., Geldenhuys, I. et al. (2009). Composite Furnace Modules -Application in DC Furnaces for FeNi alloy production. Proceedings of EMC, 1-12.
5. Kennedy, M., MacRae, A., Jones, R. Et al. (2015). Some considerations for safer furnace cooling. The Conference of Metallurgists Proc. 15 p. Published by the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum www.metsoc.org ISBN: 978-1-926872-32-2.
6. Henning, B., Shapiro, M., Marx, F. et al. (2010). Evaluating AC and DC furnace water cooling systems using CFD analysis. Proceedings of The Twelfth International Ferroalloys Congress. June 6-9. Helsinki, Finland, 849-856.
7. Patent US 5772430. F27D 9/00. M. Pavlicevic, G. Gensini, A. Poloni, R. Sellan (1996). Cooling device with panels for electric arc furnaces. Danieli & Co Off. Mec., Spa (Italy).
8. Patent US 3940552. F27D 1/04. Water-cooled panel for arc furnace. Susumo, Mizuna. Daido Seiko Kabushiki, Kaisha (Japan). Priority data 24.02.1976. (www.espacenet.com).
9. Patent US 4097679. F27D 1/12. Side wall for the ultra high power electric arc furnaces for steelmaking. Ichiro Fukumoto, Susumi Hayashida. Sankyo Special Steel Co Ltd (Japan). Priority data 27.06.1978. (www.espacenet.com).
10. Тимошенко, С.Н., Филиппи, А.А., Онищенко, С.П., Тищенко, П.И. (2017). Энергоэффективные решения при модернизации дуговых печей постоянного тока литейного класса. Металл и литье Украины, 8-10, 48-55.
11. Тимошенко, С.Н., Дорошенко, А.В., Дядьков, Б.П., Тищенко, П.И., Онищенко С.П. (2018). Энергоэффективные решения при модернизации малотоннажных дуговых сталеплавильных печей литейного класса. Металл и литье Украины, 3-4, 34-40.
12. Coffin, L. F. (1954). A study of the effect of cyclic thermal stresses on a ductile metals. Trans. ASME, vol. 76, 931-950.

REFERENCES

1. Review on Modeling and Simulation of the Electric Arc Furnace (EAF). Hans-Jürgen Odenthal, Andreas Kemminger, Fabian Krause, Lukas Sankowski, Norbert Uebber, Norbert Vogl. First published: 28 November 2017. <https://doi.org/10.1002/srin.201700098>
2. Тимошенко, С.Н., Дорошенко, А.В., Дядьков, Б.П. и др. (2018). Энергоэффективные решения при модернизации малотоннажных дуговых сталеплавильных печей литейного класса. Металл и литье Украины, 3-4, 34-40.
3. Kylo, A., Filzwieser, A. and Gray, N. "Composite Furnace Modules -Background and Update/ Proceedings of EMC, 2007, pp. 1-12.
4. Marx, F., Shapiro, M., Geldenhuys, I. et al. (2009). Composite Furnace Modules -Application in DC Furnaces for FeNi alloy production. Proceedings of EMC, 1-12.
5. Kennedy, M., MacRae, A., Jones, R. Et al. (2015). Some considerations for safer furnace cooling. The Conference of Metallurgists Proc. 15 p. Published by the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum www.metsoc.org ISBN: 978-1-926872-32-2.
6. Henning, B., Shapiro, M., Marx, F. et al. (2010). Evaluating AC and DC furnace water cooling systems using CFD analysis. Proceedings of The Twelfth International Ferroalloys Congress. June 6-9. Helsinki, Finland, 849-856.
7. Patent US 5772430. F27D 9/00. M. Pavlicevic, G. Gensini, A. Poloni, R. Sellan (1996). Cooling device with panels for electric arc furnaces. Danieli & Co Off. Mec., Spa (Italy).
8. Patent US 3940552. F27D 1/04. Water-cooled panel for arc furnace. Susumo, Mizuna. Daido Seiko Kabushiki, Kaisha (Japan). Priority data 24.02.1976. (www.espacenet.com).
9. Patent US 4097679. F27D 1/12. Side wall for the ultra high power electric arc furnaces for steelmaking. Ichiro Fukumoto, Susumi Hayashida. Sankyo Special Steel Co Ltd (Japan). Priority data 27.06.1978. (www.espacenet.com).
10. Timoshenko, S.N., Filippi, A.A., Onishchenko, S.P., Tishchenko, P.I. (2017). Energy-efficient solutions in the modernization of DC arc furnaces of foundry class. Metal and Casting of Ukraine, 8-10, 48-55.
11. Timoshenko, S.N., Doroshenko, A.V., Dyadkov, B.P., Tishchenko, P.I., Onishchenko, S.P. (2018). Energy-efficient solutions for modernization of low-tonnage arc steelmaking furnaces of foundry class. Metal and Casting of Ukraine, 3-4, 34-40.
12. Coffin, L. F. (1954). A study of the effect of cyclic thermal stresses on a ductile metals. Trans. ASME, vol. 76, 931-950.

Надійшла до редколегії

Рецензент:

M. VLASENKO, E. NIEMTSEV

State Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University»

Improvement of the design of water-cooled panels of arc steelmaking furnaces of foundry class.

The article outlines the importance of the foundry industry and the role of arc steelmaking furnaces (ASFs) in it. It was noted that water-cooled panels in EAFs are key elements that ensure the structural integrity and safety of furnaces by removing excess heat during steelmaking. An analysis of literature sources has revealed that there are certain issues that characterize the imperfections of certain structural parts of modern water-cooled panels, such as insufficient

cooling efficiency, corrosion, and leaks, which lead to a decrease in the performance of the BF and an increase in energy consumption. These factors have been analyzed and some optimization ways have been identified to improve overall efficiency and durability.

The article emphasizes that modern technologies can reduce the consumption of energy and refractory materials by reducing the capacity of the steelmaking bath and optimizing the heat balance. Particular emphasis is placed on the potential for modernizing water-cooled panels to improve the efficiency of the steelmaking process. The paper reveals the mechanism of operation of water-cooled chipboard panels as a spatial system of steel tubes connected by means of transition elements and placed with different densities and a layer of thermal insulation material in the intertube space. This determined the need to improve the design of the panels by optimizing their spatial structure to ensure a more efficient heat transfer process. Improving the energy efficiency of chipboard means reducing heat energy losses, which, among other things, ensures more stable operation during melting, reduces component wear and extends the service life of water-cooled panels. The design of the water-cooled panels has been improved by varying the distance between the axes of the water-cooled tubes depending on their diameter and spatial location. This design makes it possible to optimize the layer of heat-insulating material and minimize unproductive heat loss. Failure to comply with the calculated value of the pipe spacing can lead to increased heat loss. The calculations and graphical dependencies demonstrate the efficiency of heat flow distribution and minimization of heat losses. The new design reduces heat loss by 45% and improves the performance of water-cooled panels.

Key words: *arc steelmaking furnace, foundry, water-cooled panel, energy losses, refractory lining, heat accumulation, heat flow, heat balance, temperature field, garrison.*