

Список літератури

1. Шкляр В.С., Дюдкин Д.А. // Процеси лиття НАН України.– 1993.– №4.– С. 48-52.
2. Mizukai H., Komatsu M., Kitagau T., Kawakami K. Effect of electromagnetic stirring at the final stage of solidification of continuous casting strand // Tetsu-to-Hagane.– 1984.– V.70.– №2.– P. 194-200

УДК 669.184.244

Є. М. Сігарьов, А. А. Похвалітій, М. Р. Руденко, Д. О. Гончар

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ВИХОДУ З ЛАДУ ЗВАРНИХ ШВІВ НАКОНЕЧНИКІВ КИСНЕВИХ ФУРМ

Наконечники кисневих фурм конвертерів працюють у жорстких умовах і виведення їх з експлуатації відбувається переважно внаслідок руйнування зварних швів. Метою дослідження є визначення факторів впливу та уточнення причин руйнування зварних швів між соплом Лавалю та зовнішньою обоймою наконечника кисневої фурми, визначення ступеня впливу зовнішнього ізолювання робочої поверхні наконечника шаром замороженого шлаку на умови їх охолодження. Згідно з результатами аналізу поточних умов експлуатації кисневих фурм в конвертерному цеху ПрАТ «Камет-Сталь» та вивчення мікроструктури зон утворення тріщин у зварних швах наконечників фурм встановлений ступінь впливу якості матеріалу для виготовлення наконечників, сопел Лавалю та зварювальних матеріалів на міцність зварного шву і стійкість конструкції.

Поверхня сопел Лавалю у внутрішньому робочому просторі наконечника охолоджується водою (згідно з ТІ 230-С320-21 «Виплавка конвертерної сталі» з витратою води 300-320 м³/год та забезпеченням швидкості > 5 м/с). Водночас, у зонах наконечника, віддалених від вхідного потоку води, може сформуватись складна течія із 3-4-х циркуляційних контурів зі зменшенням швидкості води до < 0,5 м/с. Як відомо (Дульнев Г.М. зі співавторами, 1990 р.), при зменшенні швидкості води < 1,5 м/с температура внутрішньої поверхні зовнішньої труби кисневої фурми у окремих зонах перевищує температуру насичення води (температура кипіння охолоджувальної води при тиску

останньої у системі 0,5-0,6 МПа складає $T_{\text{нас}} = 150-160$ °С). При досягненні $T_{\text{нас}}$ різко зменшується тепловий потік та величина коефіцієнту тепловіддачі до води, внаслідок чого доступ води до охолоджуваної поверхні ускладнений. Це призводить до виникнення «сухих» плям, які повністю виключені з теплообміну і є превалюючими місцями прогару наконечника.

Стінки сопел Лавалю, крім охолодження водою, охолоджуються і дуттьовим киснем, який на виході із сопла має температуру на рівні -110 °С, з часткою охолоджуючого ефекту 15-25 % від загального, що має значення так як густина теплових потоків до води від торця зовнішньої поверхні наконечника та потоку кисню на вихідних ділянках сопла складають за оцінками Суцzenко А.В. зі співавторами (2013 р.) $1,6-6,0$ МВт/м² та $0,4-0,6$ МВт/м² відповідно.

За результатами виконаних авторами доповіді високотемпературних досліджень [1, 2] в частині наконечника, що знаходиться поблизу реакційних зон з температурою 2500-2900 °С, навіть внутрішня поверхня наконечника, що омивається водою, по ходу конвертерної плавки може нагріватися до температур 160-170 °С, а зовнішня його поверхня – до 400-500 °С і вище (при нагріві до температури у 500 °С мідь втрачає міцність і пластичність). Вже при підвищенні температури міді понад 190 °С її міцність та пластичність знижується, що може стати причиною утворення тріщин у зварних швах.

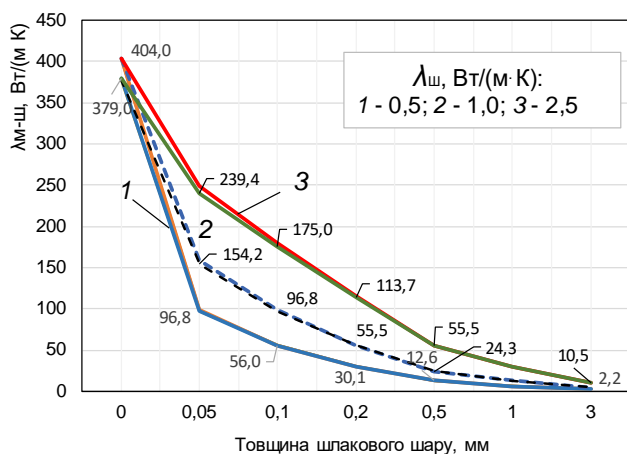
Згідно з результатами хімічного аналізу відібраних зразків склад зварювального дроту дослідних наконечників з тріщинами у зварних швах відповідав марці МНЖКТ (ДСТУ 16130-90), а сопел Лавалю та наконечника – М1 (ДСТУ 859:2003). Різниця за вмістом Си у матеріалах зварювального дроту та зовнішньої обійми наконечника і сопел складала 6,79 %. Зварювання мідних елементів з використанням марки дроту МНЖКТ призводить до надмірного легування зварного шву без забезпечення необхідної теплопровідності. Так, коефіцієнт теплопровідності зварного шва ($\lambda_{\text{зв}}$), отриманого методом аргоно-дугового зварювання з присадним дротом МНЖКТ5-1 складає 181,78 Вт/(м·К), при цьому $\lambda_{\text{м}}$ матеріалу зовнішньої обійми наконечника з міді марки М1 – 394-420 Вт/(м·К) (за н.у.) [3]. При нагріванні міді до 600-1000 К теплопровідність, за різними даними, зменшується до 379-342 Вт/(м·К). Вочевидь, задля збільшення терміну служби швів зварних наконечників доцільним є максимальне зменшення градієнту температур між соплами, зварними швами та зовнішньою обіймою.

Механізм теплопередачі та ефективність охолодження сопел Лавалю водою змінюються у випадку наморожування шлаку та/або шлакометалевих настилів на повер-

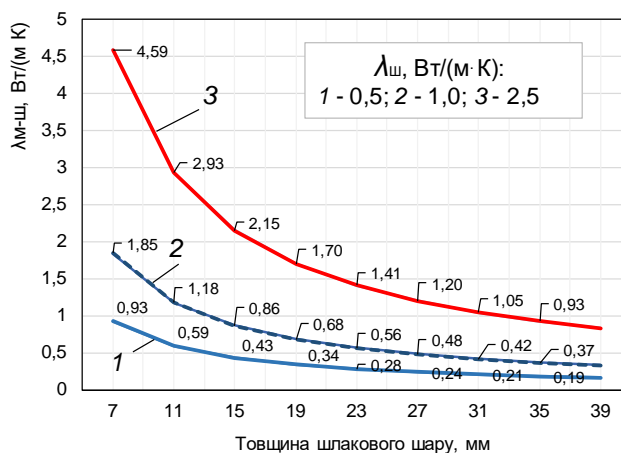
хню наконечника під час продування конвертерної ванни [4]. Наморожування на поверхню наконечника конвертерного шлаку або шлакометалевої настилі товщиною $\delta_{ш}$ від 3-х до 40-45 мм з теплопровідністю $\lambda_{ш} = 0,5-2,5$ Вт/(м·К) суттєво змінює коефіцієнт теплопровідності наконечника та збільшує опір теплопередачі до охолоджувальної води й потоку кисню.

Відповідно до виконаних розрахунків змін у теплопровідності утвореного шлакометалевого шару $\lambda_{м-ш}$ для зварних швів між обоймою наконечника та соплами Лаваля встановлено, що вже при наявності на поверхні наконечника 1 мм шару шлаку $\lambda_{м-ш}$ зменшується з 404 Вт/(м·К) до 8-36 Вт/(м·К) в залежності від $\lambda_{ш}$ (на 91-98 % відповідно). Теплопровідність зварного шву під шаром шлаку зменшується зі 182 Вт/(м·К) до 9-38/(м·К) (на 79-95 % відповідно) (рис. 1).

Визначили також вплив товщини намороженого на поверхню наконечника шару шлаку на зміну коефіцієнта конвективної тепловіддачі (K_{kn}) від наконечника й сопел до потоку охолоджувальної води та з боку кисневого потоку (для сопла Лаваля). Згідно з отриманими результатами, наморожування на поверхню наконечника шару конвертерного шлаку призводить до зменшення K_{kn} (в залежності від теплопровідності шлаку 0,5 та 2,5 Вт/(м·К)) на 52-67 % (при 1 мм шлаку) та на 71-90 % при 20 мм шлаку відповідно. У свою чергу, наявність на поверхні зварного шву шару шлаку призводить до зменшення K_{kn} (в залежності від теплопровідності шлаку) на 51-56 % (при 1 мм шлаку) та на 72-88 % при 20 мм шлаку на поверхні шву відповідно. Нелінійний характер збільшення опору тепловіддачі свідчить про доцільність удосконалення способів попередження наморожування шлаку на робочу поверхню наконечника.



а



б

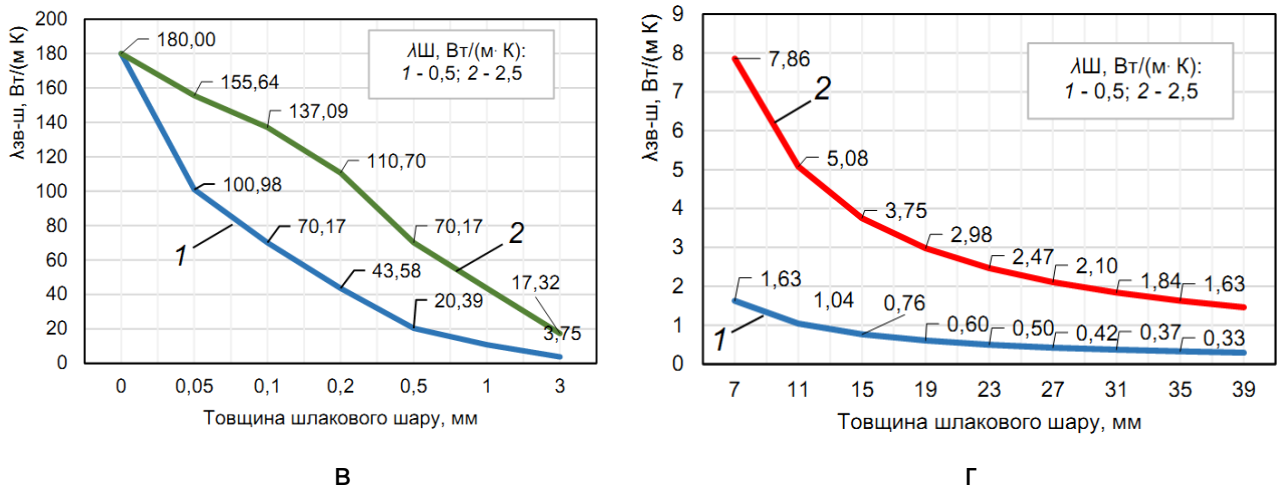


Рис. 1. Вплив товщини та величини коефіцієнту теплопровідності конвертерного шлаку на зміну $\lambda_{\text{м-ш}}$ зовнішньої обійми наконечника (а, б) та зварного шву (в, г). Товщина шару намороженого шлаку а - 0-3 мм; б – 7-39 мм

Необхідно відмітити, що після виведення з експлуатації (переважно з причини руйнування зварного шву) першої групи дослідних наконечників, марку зварювального дроту було змінено, і, в подальшому для виготовлення наконечників застосовували дріт марки CuSn1 (ISO 24373:2018) та дріт, що за х/с відповідає марці М1. При цьому стійкість зварних наконечників фурм збільшилась з 16-56 до 90-112 плавок у другому та до 180-245 плавок у третьому дослідних періодах відповідно.

Список літератури

1. Chernyatevich A.G., Molchanov L.S., Sigarev E.N. et. al. Specific Features of Blowing a Converter Bath with the Application of Modernized Two-Story Oxygen Lances. Steel in Translation. 2021. № 51. P. 538-547.
2. Похвалітій А.А., Сігарьов Є.М., Чубін К.І., Лобанов Ю.С., Якунін П.А. Особливості визначення конструкції наконечників кисневих фурм в нестаціонарних умовах конвертерної плавки з попереднім підігрівом металобрухту. Збірник наукових праць ДДТУ (технічні науки). 2021, вип.2 (39). С. 9-14.
3. Сварка и наплавка меди и сплавов на её основе. Составители: В.М. Илюшенко, В.П. Лукьяненко. К.: Международная ассоциация «Сварка». 2013. 396 с.
4. Сігарьов Є.М., Лобанов Ю.С., Похвалітій А.А. Дослідження впливу конструкції наконечника фурми на показники конвертерної плавки з попереднім підігрівом металобрухту // Збірник наукових праць ДДТУ (технічні науки). 2021, вип.1 (38). С. 3-10.