

В. О. Рубан, О. М. Стоянов, Є. В. Синегін

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ РЕАКЦІЙНОЇ ЗОНИ ПІД ЕЛЕКТРОДОМ НА УСТАНОВЦІ «КІВШ-ПІЧ»

Властивості електричної дуги мають значний вплив на теплові процеси установки «ківш-піч» (УКП), підвищуючи передачу теплоти від дуги до рідкої ванни. Режим роботи трансформатора УКП визначає довжину дуги: більший ступінь трансформатора збільшує напругу та струм, збільшуючи довжину дуги. Під дією електричної дуги відбувається зміщення шлаку з піделектродної зони, занурюючи дугу в розплав металу до рівня гідростатичного тиску. Найбільш вірогідною формою реакційної зони, що утворюється під впливом електричної дуги в точці дотику з металевою ванною під електродом, є лунка у вигляді кульового сегменту «меніску» [1].

Велика кількість авторів займалась проведенням досліджень процесів, які пов'язані з перенесенням енергії, маси, імпульсу та заряду в плазмі електричної дуги [2–7]. Очевидно, що при зміні геометричних параметрів лунки буде змінюватись ефективність теплопередачі від дуги до металу.

Отже, для визначення сумісного впливу імпульсу електричної дуги і вдування газу каналом графітованого порожнистого електрода (ГПЕ) були заздалегідь проведені розрахунки параметрів лунки, яка утворюється лише під дією електричної дуги під час позапічної обробки сталі на УКП. Глибину лунки розраховано за формулою 1:

$$h_{\text{мен.}} = 3 \cdot 10^{-3} \cdot I_{\text{д}}, \text{ м}, \quad (1)$$

де  $I_{\text{д}}$  – сила струму дуги, кА.

Радіус кола, що утворює основу лунки розраховано за формулою 2:

$$r_{\text{к}} = r_{\text{е}} + L_{\text{д}} \cdot \sin\theta, \text{ м}, \quad (2)$$

де  $r_{\text{е}}$  – радіус електрода, м;  $\theta$  – кут нахилу стовпа дуги до осі електрода;  $L_{\text{д}}$  – довжина дуги, м.

Оскільки для визначення радіусу необхідно знати довжину дуги, її значення можна отримати за допомогою формули 3:

$$L_{\text{д}} = \frac{U_{\text{д}} - a}{b} \cdot 10^{-3}, \text{ м}, \quad (3)$$

де  $a$  – сума катодного та анодного падіння напруги за даними різних дослідників складає 17 В та 22 В;  $b$  – градієнт потенціалу у стовпі дуги  $b = 1,0$  В/мм, для закінчення розплавлення сталі,  $b=0,8$  В/мм для окисного та відновлювального періодів.

Наступним етапом було розраховано критерії подібності за якими розроблено план експерименту та створено експериментальну установку для ізотермічного моделювання [1].

Проведені дослідження включали варіювання таких параметрів, як висота шару шлаку, висота розташування ГПЕ над рівнем дзеркала металу, а також режими подачі газу електродом. Висота шлаку змінювалась в межах від 6 до 14 мм, що відповідає товщині шлаку на прототипі від 100 до 200 мм. Висота розташування ГПЕ над рівнем дзеркала металу становила 70% від висоти шлаку. Режимми подачі газу електродом варіювались в діапазоні від 0,13 до 0,5 м<sup>3</sup>/год, що відповідає витратам газу на прототипі від 3 до 20 м<sup>3</sup>/год. Під контролем знаходилися наступні параметри: тиск газу, висота розташування ГПЕ, товщина шлаку і глибина утвореної лунки.

Ця методика є основою для подальших досліджень і може бути використана при проведенні аналогічних досліджень

### Література

1. Ruban, V., Investigating cavity formation in an electric arc zone during out-of-furnace processing of steel / V. Ruban, O. Stoianov, K. Niziaiev, Y. Synehin, S. Zhuravlova, K. Malii // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2023. – № 4/1. – С. 134–142. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.284884>
2. Крикент И. В. Численное моделирование сильноточного дугового разряда в установке ковш–печь постоянного тока / И. В. Крикент, И. В. Кривцун, В. Ф. Демченко, В. П. Пиптюк // Современная электрометаллургия. – 2013. – № 3. – С. 45–49.
3. Смирнов, А.Н. Процессы непрерывной разливки: монография / А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, А.А. Минаев С.В. Момот, Ю.Н. Белобров. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 536 с.
4. Ushio, M. Mathematical modeling of flows field and heat transfer in high-current arc discharge / M. Ushio, J. Szekely, C.W. Chang // Ironmaking and Steelmaking. – 1981. – № 6. – S. 279–286.
5. Alexis J. Modeling of heat transfer from an electric arc – a simulation of heating. Part I / J. Alexis, M. Ramirez, G. Trapaga, P. Jonsson // 57th Electric Furnace conf. proc.: ISS (Warrendale, November 14-16, 1999). – Warrendale, 1999. – S. 279–287.

6. Alexis J. Modeling of a DC electric arc furnace – heat transfer from the arc / J. Alexis, M. Ramirez, G. Trapaga, P. Jonsson // ISIJ Intern. – 2000. – 40, № 11. – S. 1089–1097.
7. Fan H.G. A unified model of transport phenomena in gas metal arc welding including electrode, arc plasma and molten pool / H.G. Fan, R. Kovacevic // Ibid. – 2004. – 37. – S. 2531–2544.

УДК 669.184

**В. О. Рубан, О. М. Стоянов, Є. В. Синегін**

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ РЕАКЦІЙНОЇ ЗОНИ ПІД ЕЛЕКТРОДОМ НА УСТАНОВЦІ «КІВШ-ПІЧ»**

Вдосконалення технологій позапічної обробки сталі на установці «ківш-піч» є невід'ємною складовою розвитку металургійного виробництва. Для оптимізації будь-яких технологічних процесів, на одному із етапів досить важливим є проведення фізичного моделювання. На основі проведених досліджень за допомогою ізотермічної моделі, які направлені на вивчення формування реакційної зони під графітованим порожнистим електродом (ГПЕ) отримано дані, що описують поведінку металевої ванни і шлакового покриву [1].

Проведення даного дослідження фільмувалось за допомогою камери яку встановлено фронтально на границі метал-шлак та за допомогою камери встановленої знизу під моделлю ковша. Відзняті відеофайли, були розкадровані та проаналізовані, завдяки чому, отримано дані щодо впливу висоти шару шлаку та інтенсивності подачі газу каналом порожнистого електрода на глибину лунки металу та площу її поверхні.

Спираючись на проведений аналіз отриманих даних, запропоновані раціональні витрати газу, що вдувається через ГПЕ, які склали від 3 до 6 м<sup>3</sup>/год при висоті шлакового покриву 100 мм і від 6 до 10 м<sup>3</sup>/год при висоті шлаку 200 мм. Дані обмеження обумовлені наступним:

- металева ванна знаходиться у спокійному стані, що унеможливорює сильне заглиблення лунки та її «захливання» металом.