УДК 669.168

О.В. Жаданос, І.В. Дерев'янко, В.Г. Мацишин В.Г., Є.А. Шепетяк

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро

ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ СТАЛЕВОГО РОЗПЛАВУ У КОВШОВОМУ ВАКУУМАТОРІ

Температура розливання сталі є одним з параметрів, що впливає на якість безперервнолитої заготівки. Тому її необхідно контролювати під час позапічної обробки сталі в агрегаті ківш-піч та у вакуумній установці. В умовах складності безперервного контролю температури металу при позапічній обробці за допомогою технічних засобів дуже важливим є її прогнозування за допомогою математичних моделей. Тому створення математичної моделі, яка забезпечить достатню точність прогнозу температури металу, дозволить розробити технологічні рекомендації щодо ведення процесу позапічної вакуумної обробки сталі та забезпечити раціональну температуру сталі при безперервній розливці.

Втрати теплоти розплавом при вакуумуванні відбуваються внаслідок випромінювання, нагрівання футерування ковша та теплопередачі через неї, продування інертним газом та введення присадок. Виконані за методикою, наведеною в [1 та 2] розрахунки показали, що при сумарних витратах аргону 50 нм^3 витрати енергії розплавом на нагрівання аргону не перевищують 0,5°, тому при розрахунках їх не враховували.

У ході промислового експерименту і розрахунків встановлено, що падіння температури, пов'язане із введенням легуючих елементів при вакуумуванні, становить 1...7 °С, що відповідає даним [2].

Втрати тепла через футерівка ковша, що складається з декількох шарів різних матеріалів, відбуваються внаслідок її нагрівання та теплопередачі у навколишнє середовище. Випуск сталі з печі здійснюють у попередньо прогріті ковші з температурою внутрішньої поверхні футерівки 900-1200ºС. Перед вакуумною обробкою розплав у ковшах перебуває у середньому 60…120 хв залежно від послідовності обробки ковшів. В результаті розрахунку за чотириточковою явною схемою [2] було встановлено, що зниження температури металу за рахунок тепловідведення через футерівку ковша під час вакуумування становить близько 0,3ºС за хв.

В ході вакуумної обробки частина теплоти, що випромінюється відкритою поверхнею розплаву, проходить через футерівку захисного екрану, нагріваючи її, а частина

йде через отвір. Величина сумарних теплових втрат залежить від початкової температури розплаву та початкової температури захисного екрану перед вакуумною обробкою. У промислових умовах проведено вимірювання температури внутрішньої поверхні футерівки екрану після закінчення вакуумування, результати яких апроксимовані регресійним рівнянням [3].

$$T_{ЕКР} = A \cdot \ln \tau + B, \quad (1)$$

де τ – час після закінчення вакуумування попереднього ковша.

На основі результатів промислових експериментів досліджено залежність теплових втрат від початкових температур розплаву та захисного екрану перед вакуумуванням та отримано наступну математичну модель.

$$\Delta T(t) = \Delta T_{БАЗ} \cdot t \cdot [1 - k_1 \cdot (T_{ЕКР} - 20)] \cdot [1 + k_2 \cdot (T_{РОЗП} - 1580)], \quad (2)$$

де $\Delta T_{БАЗ}$ – швидкість зниження температури металу (ºС/хв) при базових значеннях ($T_{ЕКР}$ = 20 ºС і $T_{РОЗП}$ = 1580 ºС); k_1 – коефіцієнт, що враховує початкову температуру захисного екрану $T_{ЕКР}$, яка залежить від часу, після закінчення вакуумування попереднього ковша τ ; k_2 – коефіцієнт, що враховує температуру розплаву $T_{РОЗП}$ перед початком вакуумної обробки.

Отримана математична модель дозволяє прогнозувати зміну температури розплаву по ходу ковшової вакуумної обробки з урахуванням початкової температури розплаву, початкової температури захисного екрану, що визначається часом після закінчення вакуумування попереднього ковша, і теплових втрат через футерування ковша, що визначаються часом перебування металу в ковші.

Список літератури

1. Knüppel Helmut. Desoxydation und vakuum behandlung von Stahlschmelzen. Bad 2.: Grundlagen und verfahren der Pfannenmetallurgie / Helmut Knüppel. - Dusseldorf.: Verlag Stahleisen MBM, 1983. - 417 s.

2. Аргон в металургії. Переклад. з німецької. – Металургія, 1971. – 120 с.

3. Жаданос О.В., Дерев'янко І.В., Чайка Д.О., Підгорний С.М. Моделювання динаміки температури розплаву під час ковшевого вакуумування // Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра [збірка наукових праць]: матеріали XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції, Київ, 23 квітня 2019 р. / [редкол.: К.В. Михаленков та ін.]. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – с. 193-202.