

DOI: 10.34185/1991-7848.2025.01.12

УДК 669.18.046.518.411:621.746.3

С.Є. Самохвалов, В.П. Піптюк, С.В. Греков

ВПЛИВ КІЛЬКОСТІ ДОБАВКИ НА ТЕПЛОВИЙ СТАН МЕТАЛЕВОЇ ВАННИ У КІВШІ

Анотація. У попередній статті представлені результати математичного моделювання та дослідження з використанням розроблених моделей впливу кількості введених шматкових добавок до ковшової ванни (ємністю 60т і 250т) при обробці сталі на установці ківш-піч (УКП) на її гідродинамічний стан. На прикладі використання кускового феромарганцю марки ФМн78 з урахуванням різної питомої кількості добавки (0,2; 1; 2; 3 кг/т) показано значний вплив досліджуваного фактору на гідродинаміку металевого розплаву протягом розглянутого періоду (до 4,5 с) знаходження феросплаву у ванні.

Ця робота містить результати дослідження впливу кількості добавки на тепловий стан металевого розплаву в умовах обробки на УКП. Викладений матеріал є логічним продовженням попередніх досліджень, у якому збережено вихідні умови, зазначені у попередній статті. Виконання роботи передбачало два етапи досліджень. На першому етапі виконано розрахунково-експериментальну оцінку впливу інтенсивності продування металеві ванни в ковші на її тепловий стан. Визначено вплив (в межах від 0,08 °С до $\approx 0,13$ °С залежно від інтенсивності продування) на тепловий стан ванни в розглянутий період часу. На другому етапі розроблено математичну модель та проведено чисельні дослідження на комп'ютерній програмі її реалізації з урахуванням наведених вище кількостей добавки в умовах наближених до промислових.

За результатами досліджень та на прикладі наведеної в статті картограми показані зони локальної зміни температури металу в різні моменти часу від моменту введення добавки до розплаву. На наведеній залежності зміни температури розплаву від питомої маси введеної добавки з урахуванням режимів продування ванни підтверджено вплив фактору, що розглядається. З урахуванням результатів дослідження показано пропорційне зниження температури металевого розплаву в зоні контакту добавки усередині ванни після її введення.

Ключові слова: кількість матеріалу-добавки, тепловий стан рідкої металеві ванни

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Раніше з використанням розроблених в Дніпродзержинському державному технічному університеті (ДДТУ) по вихідним даним ІЧМ НАНУ тривимірних математичних моделей гідродинаміки та тепло-масообміну відбувались дослідження процесів позапічної обробки сталі [1-12]. Дослідження, в тому числі, проводили стосовно ківшів ємкістю 60 та 250т, які використовувались відповідно на електрометалургійному заводі «Дніпроспецсталь» (м. Запоріжжя) і Дніпровському металургійному комбінаті (зараз «КАМЕТ-СТАЛЬ», м. Кам'янське) при обробці сталі спеціального та масового поточного марочного сортаменту на УВП різної потужності.

Результати розрахунків теплового стану для ківшів різної ємкості були виконані за умов з незмінними (середніми) значеннями теплових втрат через кожух незалежно від споживання аргону при його подачі через одну або дві фурми в донному продувному блоці. При цьому виконані дослідження не враховували вплив інтенсивності продувки ванни аргonom на її тепловий стан. Крім того, не враховувався можливий вплив кількості добавки на температуру металу. Тому виявилось доцільним провести додаткові оцінки впливу саме цих факторів. Запланований обсяг роботи по розробці моделі і тестовим її випробуванням стосовно процесів тепло-, масообміну у ванні ківша при обробці металевого розплаву на УВП виконували в два етапи.

На першому етапі з метою перевірки відповідності результатів моделювання та оцінки їх значень в порівнянні з практично отриманими експериментальними вимірами здійснювали промисловий температурний контроль металу і обладнання з фіксацією результатів. Термопарою занурення виконували заміри температури металу до і після продувки ковшової металевий ванни аргonom. На протязі обробки кожної з досліджуваних плавок температуру заміряли (тривалість в межах 3-6 хв.) в певному місті, що відповідає місцю замірів температури в ківші на поверхні ванни і на приблизно однаковій глибині в процесах обробки на УВП. Заміри температури металевий корпусу ківша та його кришки проводили інфрачервоним цифровим пірометром. При цьому не змінювали інтенсивність продування, не здійснювали введення матеріалів-добавок і електродуговий підігрів розплаву.

Експериментальні дослідження виконували для різних фіксованих значень інтенсивності продування в межах від $Q_{\min}$ до $Q_{\max}$, де Q – питома витрата аргону (л/хв.), що відповідає практично застосовуваним на підприємствах витратам для ківша кожної ємності, включаючи режим $Q_{\min} = 0$ л/хв (показано на прикладі ківша ємністю 250т - рис. 1).

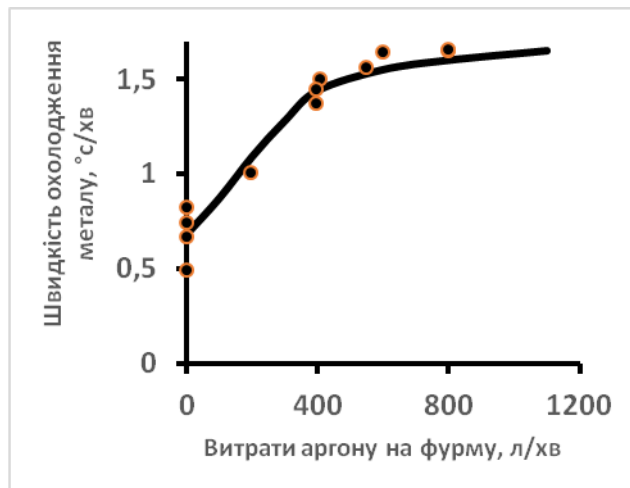


Рисунок 1 - Зміна швидкості охолодження металу на УКП під час продування аргонном через дві донні фурми

Розрахунковими дослідженнями встановлено, що залежність швидкості охолодження металу ($^{\circ}\text{C}/\text{хв}$) по модулю від витрат аргону на ківш (л/хв) має характер функції насичення. Це обумовлено тим, що ефективність теплообміну при обробці на УКП залежить від швидкості перемішування розплаву (в тому числі швидкості металевих потоків вздовж стінок футерівки та теплопередачі через футерівку і кожух ківша), величини випромінювання через оголене дзеркало металу і шлаковий шар, швидкості примусового видалення висхідних потоків газів з-під нагрітої кришки УКП, випромінювання корпусу УКП у навколишнє середовище та інших факторів).

Мета дослідження

На другому етапі ціллю роботи було створення тривимірної математичної моделі тепло- і масопереносних процесів у ківші під час введення матеріалів - добавок, яка враховує гідродинамічний стан металеві ванни, та комп'ютерна реалізація нової моделі при виконанні розрахунків з метою оцінки впливу кількості матеріалів, що вводяться, на тепловий стан розплаву в ківші.

Основні матеріали дослідження

Під час позапічної обробки сталі в ківші різноманітні добавки (модифікуючі, легуючі та рафінуючі) вводяться в ківш колективно, насипом, і кількість їх може досягати сотень кілограмів на порцію. Таке введення суттєво впливає на гідродинаміку розплаву в ківші, що, в свою чергу, повинно впливати на перебіг тепло-, масопереносних процесів. Проте в сучасних математичних моделях, що описують процеси засвоєння добавок при позапічній обробці сталі в ківші такий вплив, здебільшого, не враховується, що при досить великих кількостях введених добавок може приводити до значних похибок в розрахунках.

В роботах [13-15] було розроблено метод колективного опису динаміки дрібнодисперсних фаз в середовищі, який ми і застосували в даній задачі. Запропонована модель враховує ефективну стисливість середовища, взаємний рух, взаємодію і перетворення кількох фаз: розплаву; газу, що захоплюється при подачі добавок та струменем металу, або спеціально вдувається через фурми; твердої дрібнодисперсної фази саме добавок; рідинної дисперсної фази продуктів їх розчинення або плавлення, та інших фаз, в які вона переходить (при необхідності стеження за ними).

Об'ємні густини розплаву, газової, твердої дисперсної фази, рідинної дисперсної фази результатів плавлення твердої дисперсної фази та однією з рідинних дисперсних фаз, в які вона переходить, позначаються як $\gamma, \alpha, \beta, \eta, \chi$, а величини, що до них відносяться, – індексами l, a, b, h та c відповідно. Останні дві фази спочатку позначатимемо спільними індексами l , наприклад, $\eta_l = \eta$ при $l = h$ та $\eta_l = \chi$ при $l = c$. Проте для всіх фаз, що розглядаються, крім газової, будемо використовувати здебільшого масові густини β' та η'_l , які прийнято використовувати в металургії.

В основу математичної моделі, яка розроблялась, покладені наступні основні припущення:

- 1) вздовж стінок ківша і фурми середовище ковзається вільно;
- 2) фазовими перетвореннями газової фази α нехтуємо;

3) при введенні добавок в ківш, як і при входженні струменю розплаву під поверхню розплаву (під час наповнення), відбувається захоплення повітря;

4) колективною складовою швидкості рідких дисперсних фаз η_l відносно розплаву нехтуємо;

5) теплота, що витрачається на прогрів інертного газу, незначна і нею можна знехтувати.

З урахуванням цих припущень гідродинаміка середовища в цілому, а також масоперенос газової фази в нашому випадку визначається системою рівнянь:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\vec{\nabla} \tilde{p} + \nu_e \Delta \vec{v} + \zeta_e \vec{\nabla} (\vec{\nabla} \cdot \vec{v}) - \alpha \vec{g}, \quad (1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{v} = \psi_a - \alpha \xi \rho_0 \vec{g} \cdot \vec{v}_a - \vec{\nabla} \cdot (\alpha \vec{w}_a), \quad (2)$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot [\alpha (\vec{v} + \vec{w}_a^e)] = \vec{\nabla} \cdot (D_a \vec{\nabla} \alpha) + \psi_a - \xi \rho_0 \vec{g} \cdot [\alpha (\vec{v} + \vec{w}_a^e) + D_a \vec{\nabla} \alpha]. \quad (3)$$

Рівняння переносу фаз, що розглядаються, записується для відносних масових густин фаз:

$$\frac{\partial \beta'}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot [\beta' (\vec{v} + \vec{w}_b^e)] = \vec{\nabla} \cdot (D_b \vec{\nabla} \beta') + \psi_b' + \Phi_{hb}', \quad (4)$$

$$\frac{\partial \eta_l}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\eta_l \vec{v}) = \vec{\nabla} \cdot (D_l \vec{\nabla} \eta_l) + \Phi_l \quad (5)$$

Відносне масове джерело твердої фази розбите тут на дві складові: $\Phi_b' = \psi_b' + \Phi_{hb}'$, перша з яких ψ_b' використовується для завдання крайових умов у місці подачі добавок в області формування барботажного режиму, а друга Φ_{hb}' пов'язана з фазовим перетворенням між фазами β' та η' .

Теплова сторона процесу, який розглядається, описується рівнянням [15]:

$$C_r \frac{dT}{dt} = \vec{\nabla} \cdot (\lambda_e' \vec{\nabla} T) + \theta, \quad (6)$$

де джерело θ визначається тепловими ефектами початкового прогріву добавок та фазовими перетвореннями і конкретизується при розгляді окремих процесів. Ефективні коефіцієнти C_r та λ_e' враховують присутність у розплаві дисперсних фаз і можуть бути визначені за формулами, наведеними в [15].

Результати дослідження. Обговорення

З використанням розробленої математичної моделі проводили чисельні розрахунки. В якості наведеного об'єкту дослідження розглядалась рідка металева ванна ківша ємністю 250т циліндричної форми, яка описана [16].

Початкові умови введення добавок, які відповідають промисловим умовам, наступні: температура металевого розплаву – 1627 °С. Теплові втрати через відкриту поверхню шлаку з оголеним металом та стінку і днище сталерозливного приводять до зниження температури шлако-металевого розплаву приблизно на 1,6 °С/хв. Останні втрати в подальших дослідженнях будуть уточнювати відповідно до конкретних промислових умов (витрати аргону і оголеність поверхні рідкого металу та ін.) Температура матеріалу, що вводиться, 27 °С.

Попередньо розраховували гідродинамічний стан металевої ванни на 1,5; 3,0; 4,5 с після введення порції добавки [16]. Вибір такого досить короткого терміну (секунди) вимірювання теплового стану металевої ванни обумовлений короткостроковістю процесу охолодження рідкого металу у контактній зоні введення добавки (можливо до утворення твердої шлакової і металевої корочки на поверхні окремих шматків матеріалу, що вводиться) з одночасним її нагріванням.

На рис.2 показана картограма теплового стану рідкої металевої ванни з витратами аргону 800л/хв на фурму в момент введення добавки (0 с) і на 1,5 та 4,5 с. Розрахунками встановлена мінімальна температура теплового стану металевої ванни при різних витратах аргону. Вона становить ~1618 °С, ~1548 °С, ~1452 °С в момент введення добавки; ~1623 °С, ~1578 °С, ~1505 °С на 1,5с; ~1624 °С, ~1593 °С, ~1548 °С на 4,5 с після введення останньої з питомої масою 0,2; 1 і 2 кг/т відповідно. При такій температурі кристалізується скоринка металу на поверхні окремих шматків добавки. При цьому для незначної кількості (менше 1кг/т) матеріалу, що вводиться, буде формуватися скоринка, що обумовить більш складні умови її плавлення і, можливо, змінить рівень її засвоєння. Нижчі витрати аргону на фурму (200, 400, 600 л/хв) незначно змінюють температуру металу, що оточує добавку, тобто фактично не

впливають на процес тепло-, масопереносу у об'ємі ванни, що досліджується у початковий момент (рис. 3).

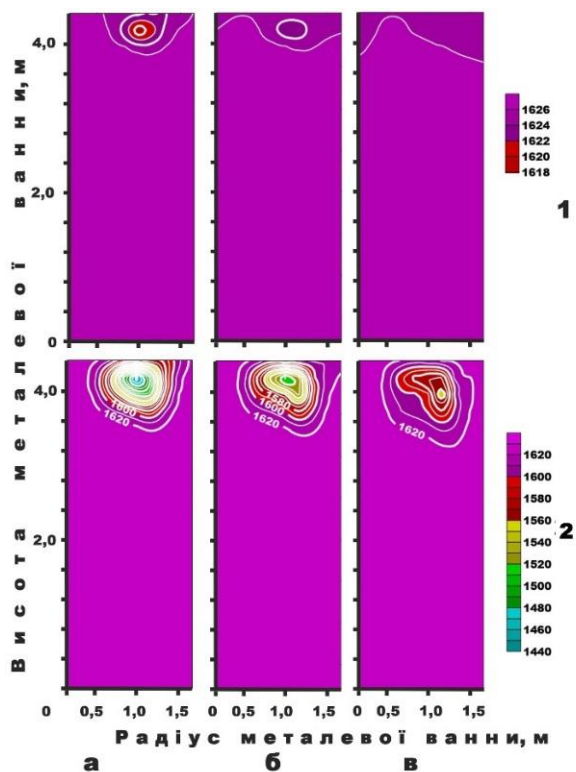


Рисунок 2 - Картограма теплового стану металевого розплаву навколо добавки у радіальному розрізі металеві ванни ківша. Витрати аргону 800 л/хв.

Маса добавки 0,2 (1); 2 (2) кг/т. Момент введення – 0 с (а), після введення добавки через: 1,5 (б), 4,5 с (в).

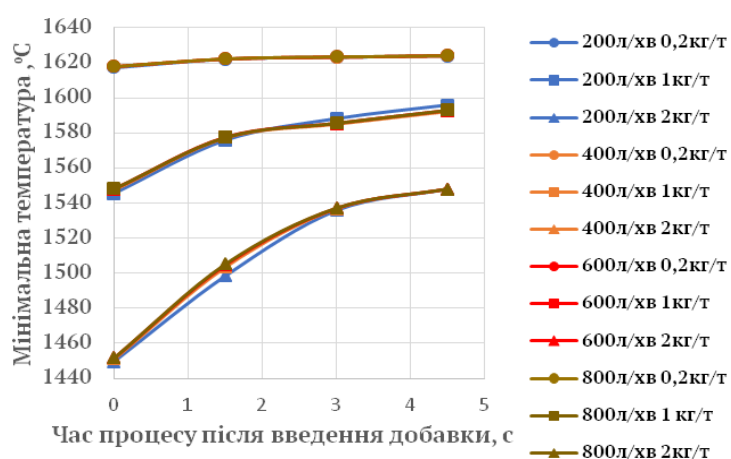


Рисунок 3 - Мінімальні температури в зоні контакту «розплав-добавка» у ківші 250 т під час введення (0 с) та після введення добавки через 1,5; 3,0 та 4,5 с

На рис. 3 представлені екстремальні (мінімальні) температури в момент введення добавки та на протязі 4,5 с перебування добавки в розплаві. Треба зазначити, що при однакових питомих витратах добавки, що вводиться, незалежно від витрат аргону процес нагрівання рідкого і твердого металу проходить з однаковою інтенсивністю (криві лінії на графіках збігаються). Максимальні температури металу на рис. 3 однакові (температура початкових умов 1627 °C) і обумовлені короткостроковістю процесу, що розглядається.

Висновки

1. Розроблено математичну модель і програмний продукт оцінки впливу кількості введеної кускової добавки у рідку металеву ванну в ківші при обробці на УВП на масо-, теплопереносні процеси. Здійснено комп'ютерну реалізацію даної моделі.

Розрахунковими дослідженнями визначено вплив маси введеної добавки на тепловий стан у контактній зоні шлако-металевого розплаву. Показано, що питома маса добавки впливає на градієнт температур рідкого металу у момент введення останньої та на протязі часу (4,5 с), що вивчався.

З використанням розроблених математичних моделей і програмного продукту по дослідженню впливу кількості кускової добавки, що вводиться у металеву ванну ківша на УВП, буде оцінено теплові умови до моменту плавлення твердих матеріалів і ступінь усереднення провідних елементів феросплавів в об'ємі розплаву.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pityuk V.P., Samokhvalov S.E., Pavlyuchenkov I.A., et all. Experimental testing of the validity of mathematical models of hydrodynamics and transfer for the melt-processing conditions in ladle-furnace unit. Springer. Metallurgist. July 2013, Volume 57, Issue 3–4, pp. 194–198.
2. Использование численных методов в изучении свойств и условий плавления материалов добавок при производстве стали /В.П. Пиптюк, В.Ф. Поляков, С.Е. Самохвалов и др.// Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2009. - Вып.20. - С.134-147.
3. Моделирование теплового состояния ковшевой ванны установки ковш-печь мощностью 35 МВ·А /В.П. Пиптюк, С.Е. Самохвалов, В.Ф. Поляков и др.// Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2011. - Вып.23. - С.137-141.

4. Исследование тепло-, массообменных процессов в ванне установки ковш-печь. Часть 2. Результаты моделирования теплового состояния расплава /В.П. Пиптюк, С.Е. Самохвалов, И.А. Павлюченков и др.// Теория и практика черной металлургии. - 2013. - № 5-6. – С.49-52.
5. Оценка достоверности результатов моделирования теплового состояния ковшовой ванны /В.П. Пиптюк, С.Н. Павлов, В.В. Мощный и др.// Металлургическая и горнорудная промышленность. -2013. -№4. –С. 14-16.
6. Тепловое состояние расплава в разных условиях перемешивания ковшовой ванны /В.П. Пиптюк, С.Е. Самохвалов, В.В. Мощный и др.// Процессы литья. - № 3 (99). - 2013. - С.37-41.
7. Piptyuk V.P., Polyakov V.F., Samokhvalov S.E. Study of the thermal state of the bath of a ladle-furnace unit. Scopus Feedback: Metallurgist. - 2011. – 55 (7-8), -pp. 483.
8. Исследование тепло- и массообмена в ваннах установок ковш-печь с целью повышения эффективности их использования /В.П. Пиптюк, В.Ф. Поляков, С.Е. Самохвалов и др.// Электрометаллургия. – 2008. - №10. - С.10-17.
9. Piptyuk V.P., Samokhvalov S.E., I.N.Logozinskii, et all. Effect of reinforcing the lining in the impact zone of a steel-pouring ladle on the melt-stirring parameters Scopus Feedback: Metallurgist. -2013. – 57 (7-8). -pp. 586
10. Влияние электромагнитных сил на перемешивание ванны установки ковш-печь переменного тока /В.П. Пиптюк, И.В. Крикент, С.Е. Самохвалов и др.// Металл и литьё Украины. - 2014. - №8. - С.3-6.
11. Piptyuk V.P., Samokhvalov S.E., Pavlyuchenkov I.A. Mass and heat transfer in 140-t AC ladle-furnace unit. Scopus Feedback: Steel in Translation. - 2007. – 37 (11), -pp. 943.
12. Тепловое состояние расплава в разных условиях перемешивания ковшовой ванны /В.П. Пиптюк, С.Е. Самохвалов, В.В. Мощный и др.// Процессы литья. - 2013. - №3 (99) - С.37-41.
13. С.Е. Самохвалов Теплофізичні процеси в багатофазних середовищах: теоретичні основи комп'ютерного моделювання. – Дніпродзержинськ: ДДТУ. –1994. – 172 с.
14. С.Е. Самохвалов Метод расщепления по физическим факторам для несоленоидального движения газожидкостных сред. Инж.-физ. журнал. – 1998. – Т.71. - №3. – С.454 -459.
15. А.П. Огурцов, С.Е. Самохвалов Математичне моделювання теплофізичних процесів у багатофазних середовищах. – К.: Наукова думка. – 2001. – 412 с.
16. Вплив кількості добавки на гідродинаміку металевої ванни у ківші /С.Е. Самохвалов, В.П. Пиптюк, С.В. Греков// Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. - 2023. - №37. - С.231-245.

REFERENCES

1. Piptyuk V.P., Samokhvalov S.E., Pavlyuchenkov I.A., et all. (2013) Experimental testing of the validity of mathematical models of hydrodynamics and transfer for the melt-processing conditions in ladle-furnace unit. Springer. Metallurgist. 57, 3–4, 7, 194–198 [in Engliendian].
2. Piptyuk V.P., Polyakov V.F., Samokhvalov S.E. et al. (2009). Ispol'zovaniye chislennykh metodov v izuchenii svoystv i usloviy plavleniya materialov dobavok pri proizvodstve stali. – [Use of numerical methods in studying the properties and conditions of melting of additive materials in steel production.] Fundamentalnyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii - Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy. 20, 134-147. [in Russian].
3. Piptyuk V.P., S.E. Samokhvalov, V.F. Polyakov et al. (2011). Modelirovaniye teplovogo sostoyaniya kovshevoy vannы ustankovki kovsh-pech' moshchnost'yu 35 MV·A - [Modeling the

- thermal state of the ladle bath of a ladle-furnace unit with a capacity of 35 MVA] Fundamentalnyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii - Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy. 23, 137-141 [in Russian].
4. Pityuk V.P., Samokhvalov S.E., Pavlyuchenkov I.A. et al. (2013). Issledovaniye teplo-, massoobmennyykh protsessov v vanne ustanovki kovsh-pech'. Chast' 2. Rezul'taty modelirovaniya teplovogo sostoyaniya rasplava. – [Study of heat and mass transfer processes in the bath of a ladle furnace. Part 2. Results of modeling the thermal state of the melt]. Teoriya i praktika chernoy metallurgii. - Theory and Practice of Ferrous Metallurgy. 5-6, 49-52 [in Russian].
 5. Pityuk V.P., Pavlov S.N., Motsny V.V. et al. (2013). Otsenka dostovernosti rezultatov modelirovaniya teplovogo sostoyaniya kovshovoy vanny. – [Evaluation of the reliability of the results of modeling the thermal state of a ladle bath]. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost - Metallurgical and Mining Industry. 4, 14-16 [in Russian].
 6. Pityuk V.P., Samokhvalov S.E., Motsny V.V. et al. (2013). Teplovoye sostoyaniye rasplava v raznykh usloviyakh peremeshivaniya kovshovoy vanny – [Thermal state of the melt under different conditions of mixing of the ladle bath]. Protsessy litya - Casting processes 3 (99), 37-41 [in Russian].
 7. Pityuk V.P., Polyakov V.F., Samokhvalov S.E. (2011). Study of the thermal state of the bath of a ladle-furnace unit. Scopus Feedback: Metallurgist. 55 (7-8), 483 [in Engliendian].
 8. Pityuk V.P., Polyakov V.F., Samokhvalov S.E. et al. (2008). Issledovaniye teplo- i massoobmena v vannakh ustanovok kovsh-pech s tselyu povysheniya effektivnosti ikh ispolzovaniya.- [Study of heat and mass transfer in baths of ladle-furnace units in order to increase the efficiency of their use]. Elektrometallurgiya – Electrometallurgiya, 10, 10-17 [in Russian].
 9. Pityuk V.P., Samokhvalov S.E., I.N.Logozinskii, et all. (2013). Effect of reinforcing the lining in the impact zone of a steel-pouring ladle on the melt-stirring parameters Scopus Feedback: Metallurgist. 57 (7-8), 586 [in Engliendian].
 10. Pityuk V.P., Krikent I.V., Samokhvalov S.E. et al (2014). Vliyaniye elektromagnitnykh sil na peremeshivaniye vanny ustanovki kovsh-pech peremennogo toka. [The influence of electromagnetic forces on the mixing of the bath of the AC ladle-furnace unit]. Metall i li'yo Ukrainy - Metal and casting of Ukraine, 8, 3-6 [in Russian]
 11. Pityuk V.P., Samokhvalov S.E., Pavlyuchenkov I.A. (2007). Mass and heat transfer in 140-t AC ladle-furnace unit. Scopus Feedback: Steel in Translation, 37 (11), 943 [in Engliendian].
 12. Pityuk V. P., Samokhvalov S. E., Motsny V. V., et al. (2013). Teplovoye sostoyaniye rasplava v raznykh usloviyakh peremeshivaniya kovshovoy vanny - [Thermal state of the melt under different conditions of mixing of the ladle bath]. Protsessy litya - Casting Processes, 3 (99), 37-41 [in Russian].
 13. Samokhvalov S.E. (1994). Teplofizychni protsesy v bahatofaznykh seredovyshchakh: teoretychni osnovy kompyuternoho modelyuvannya - [Thermophysical processes in multiphase media: theoretical foundations of computer modeling]. – Dniprodzerzhynsk: DDTU - Dniprodzerzhinsk: DDTU [in Ukrainian].
 14. Samokhvalov S.E. (1998). Metod rasshcheplenyia po fizycheskym faktoram dlya nesolenoydal'noho dvyzheniya hazozhydkostnykh sred – [The splitting method by physical factors for the non-solenoid motion of gas-liquid media]. Inzhenerno-fizicheskii zhurnal - Engineering and Physics Journal, 71, 3, 454-459 [in Ukrainian].
 15. Ogurtsov A.P., Samokhvalov S.E. (2001). Matematychno modelyuvannya teplofizychnykh protsesiv u bahatofaznykh seredovyshchakh – [Mathematical modeling of thermophysical

processes in multiphase environments]. - Kyiv: Naukova dumka - Kyiv: Scientific opinion. [in Ukrainian].

16. Samokhvalov S.E., Piptiuk V.P., Grekov S.V. (2023). Vplyv kilkosti dobavky na hidrodynamiku metalevoyi vanny u kivshi – [The influence of the amount of additive on the hydrodynamics of a metal bath in a ladle]. Fundamentalnyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii - Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy, 37, 231-245 [in Ukrainian].

Received 08.04.2025.

Accepted 09.05.2025.

UDC 669.18.046.518.411:621.746.3

Sergey Samokhvalov, Vitaliy Pipyuk, Stanislav Grekov

INFLUENCE OF THE QUANTITY OF THE ADDITIVE ON THE THERMAL CONDITION OF THE METAL BATH IN THE LADLE

Abstract. *The previous article presents the results of mathematical modeling and research using the developed models of the effect of the amount of lump additives introduced into a ladle bath (with a capacity of 250 t) during steel processing in a ladle furnace unit (LFU) on its hydrodynamic state. Using the example of using lump ferromanganese grade FMn78, taking into account different specific amounts of the additive (0,2; 1; 2; 3 kg/t), a significant effect of the studied factor on the hydrodynamics of the metal melt during the considered period (up to 4.5 s) of the ferroalloy additive being in the bath is shown.*

This work contains the results of a study of the effect of the additive amount on the thermal state of the metal melt under LFU processing conditions. The presented material is a logical continuation of previous studies, in which the initial conditions specified in the previous article are preserved. The work included two stages of research. At the first stage, the influence of the intensity of blowing of the metal bath in the ladle on its thermal state was estimated and experimentally assessed. An influence (from ≈ 0.08 °C to ≈ 0.13 °C depending on the intensity of blowing) on the thermal state of the bath in the considered period of time was determined. At the second stage, a mathematical model was developed and numerical studies were carried out on a computer program for its implementation, taking into account the above amounts of additives under conditions close to industrial ones.

Based on the research results and the example of the cartogram given in the article, the zones of local changes in metal temperature at different points in time from the moment

of introducing the additive into the melt are shown. The influence of the factor under consideration is confirmed on the given dependence of the change in melt temperature on the specific gravity of the introduced additive, taking into account the bath blowing modes. Taking into account the research results, a proportional decrease in the temperature of the metal melt in the contact zone of the additive inside the bath after its introduction is shown.

Keywords: *amount of additive material, thermal condition of a liquid metal bath*

Сергій Євгенович Самохвалов, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук, ORCID 0000-0002-7362-213X, E-mail: office.isi@nas.gov.ua

Віталій Петрович Піптюк, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук, ORCID 0000-0002-2915-1756, E-mail: office.isi@nas.gov.ua +380678755014

Станіслав Вікторович Греков, науковий співробітник, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова Національної академії наук, ORCID 0000-0003-2849-0999, E-mail: office.isi@nas.gov.ua

Sergey Samokhvalov, Doctor Technical Sciences, Senior Researcher, Professor, Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine, ORCID 0000-0002-7362-213X, E-mail: office.isi@nas.gov.ua

Vitaliy Pipyuk, Philosophy Doctor (Technical), Senior Researcher, Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine, ORCID 0000-0002-2915-1756, E-mail: office.isi@nas.gov.ua

Stanislav Grekov, Researcher, Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine, ORCID 0000-0003-2849-0999, E-mail: office.isi@nas.gov.ua