

УДК 669.18

О. В. Швець¹, к.т.н., с.н.с., ORCID 0009-0005-4871-4402
Д. В. Коноводов¹, к.т.н., доц., ORCID 0000-0001-8282-4991
О. Д. Петров², д-р. філософії, ORCID 0000-0001-8688-043X
Т. Є. Ліснич², ORCID 0009-0004-2224-2622

¹ *Український державний університет науки і технологій*

² *ТОВ "ІНТЕРПАЙП УКРАЇНА"*

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПРОМКОВША МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ КРУГЛОЇ ЗАГОТОВКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Анотація. У зв'язку з суттєвим підвищенням вимог до чистоти круглої безперервнолітої заготовки, що використовується для виробництва особливо відповідальних виробів (коліс для залізничного транспорту, труб спеціального призначення), необхідні комплексні технологічні рішення щодо підвищення якості сталі, насамперед за рахунок зниження кількості та розміру неметалевих включень. При цьому проміжний ковш, як останній агрегат з вогнетривкою футеровкою, відіграє особливу роль завдяки видаленню включень шляхом оптимізації потоків рідкої сталі. Оскільки схема потоків металу в проміжному ковші є базовою складовою їх продуктивності, метою цього дослідження була оцінка та оптимізація гідродинаміки всередині чотириструмкового проміжного ковша шляхом комплексного підходу до зміни його внутрішньої геометрії. Для забезпечення оптимальних умов щодо видалення неметалевих включень, необхідно в першу чергу забезпечити довготривалий контакт металу зі шлаком як за рахунок направленості потоків металу до поверхні розподілу метал-шлак, так і за рахунок збільшення часу перебування металу в проміжному ковші. Основна увага щодо регулювання потоку металу в об'ємі проміжного ковша історично приділяється конструктивним та технологічним особливостям металоприймачів у зоні надходження металу із стальковша для зниження турбулентних потоків. Тому в рамках проведених досліджень акцент був зроблений на оцінці змін потоків рідкої сталі в об'ємі промковша за рахунок використання інших додаткових «модифікаторів» потоків, таких як скімери та перегордки. Слід зауважити, що окрім впливу на розподіл потоків, була проведена оцінка можливого впливу змін на запобігання надмірній ерозії вогнетривкої футеровки проміжного ковша. Для оцінки використовувалось чисельне моделювання методом кінцевих елементів за допомогою комерційного програмного забезпечення Thercast від компанії Transvalor (Франція). Результати фактичної оцінки наявності неметалевих включень у готових виробах показали суттєве зниження інтервалу наявних включень з

© Видавець Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, 2024



Ця стаття відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.uk>

початкових 50-100 мкм до 20-50 мкм зі стійкою тенденцією щодо зменшення кількості включень після впровадження змін.

Ключові слова: проміжний ковш, чисельне моделювання, скімер, швидкість потоку, неметалеві включення

Посилання для цитування: Швець О. В., Коноводов Д. В., Петров О. Д., Лісничка Т. Є. Вдосконалення конструкції промковша машини безперервного лиття круглої заготовки за допомогою чисельного моделювання. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2024. Вип. 38. С. 308-320. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-308-320>.

Вступ. Безперервне лиття є основним процесом сучасної металургії, що забезпечує основний об'єм виробництва якісної заготовки [1–3]. Під час процесу безперервного лиття проміжний ковш служить резервуаром між стальковшом та кристалізатором, і спочатку його основним призначенням було забезпечення безперервності процесу виробництва. Подальша еволюція технології безперервного лиття надала йому деякі допоміжні функції, такі як видалення неметалевих включень, регулювання температурного поля металу [4–10], що дало змогу суттєво впливати на формування якісного кінцевого продукту.

Для того щоб забезпечити виконання завдань, що покладені сьогодні на цей агрегат, потрібно в першу чергу забезпечити контроль за станом потоку металу в проміжному ковші, зокрема за рахунок оптимізації його внутрішньої геометрії.

Чисельне моделювання стало на сьогоднішній день одним із найпоширеніших методів дослідження гідродинамічних процесів при виробництві сталі, оскільки оцінити поведінку розплаву всередині промковша безпосередньо в процесі виробництва дуже важко. При цьому додатково забезпечується суттєве зменшення вартості експериментів [5], а також можливість оцінки точності розрахунків та верифікації моделей за допомогою фізичного моделювання [11, 12].

У роботах багатьох науковців велика увага приділялася проведенню досліджень щодо вивчення впливу різноманітних металопріймачів, дамб, гребель тощо [13–17]. Автори [18–21] приділяли велику увагу аналізу різних конструкцій захисної труби як пристрою контролю потоку шляхом регулювання вхідного потоку з стальковша.

Вищезазначені дослідження зробили значний внесок у розуміння процесів що відбуваються в об'ємі розплаву та призвели до внесення конструктивних змін до певних видів проміжних ковшів.

Однак було проведено не так багато досліджень, пов'язаних з оцінкою комбінування різних «модифікаторів» потоків з метою отримання оптимальних умов для видалення неметалевих включень,

наприклад, при використанні комбінації так званого скімера, який з одного боку обмежує зону підвищеної турбулентності в районі захисної труби, а з іншого – формує направлений потік розплаву, та різних поперечних стінок, що забезпечують оптимізацію потоків в основній частині проміжного ковша.

Поточні дослідження мали на меті оцінити еволюцію потоків металу в проміжному ковші при використанні тієї чи іншої конфігурації «модифікаторів» потоку та оцінити ймовірність позитивного впливу змін на процес видалення неметалевих включень.

Методика дослідження. Чисельне моделювання є важливим методом дослідження процесів безперервного лиття. Результати, отримані чисельним моделюванням, можна перевірити як за допомогою фізичної моделі (з точки зору оцінки змін у поведінці потоків), так і безпосередньо за результатами контролю якості заготовки в процесі виробництва (з точки зору оцінки тенденції зміни забрудненості неметалевими включеннями).

Об'єктом дослідження був чотириструмковий Т-образний проміжний ковш машини безперервного лиття, що використовується в процесі виробництва круглої заготовки на промисловому підприємстві в Україні. Проміжний ковш симетричний відносно поперечної осі.

Номінальна місткість проміжного ковша складає ~30 тон. Дослідження проводилися при стаціонарному режимі роботи за постійної швидкості розливки круглої заготовки діаметром 450 мм.

В моделях були задіяні два типи «модифікаторів» потоків рідкої сталі: скімер з отворами для формування направлених потоків металу, а також перегородки висотою 300 та 450 мм для оптимізації потоку металу в основній ванні ковша.

Загальний вигляд моделі проміжного ковша та схема отворів скімера представлені на рис. 1.

Основні закономірності, що описують потік сталі в проміжному ковші, включають рівняння нерозривності, імпульсу та турбулентності.

Реалізація процесу турбулентності в розрахунках базується на роботах E. Nachev, G. François та B. Rivaux, що забезпечує більш точний розрахунок потоку рідини та теплообміну. Деякі граничні умови математичної моделі наведені нижче.

1. Властивості матеріалу розраховані за допомогою програмного забезпечення JMatPro на основі фактичного хімічного складу сталі з подальшою конвертацією даних у ПЗ Thercast.

2. Температура металу задана з урахуванням стандартного перегріву на рівні 35°C.

3. Рівень металу в проміжному ковші залишається незмінним у процесі моделювання та дорівнює 650 мм.

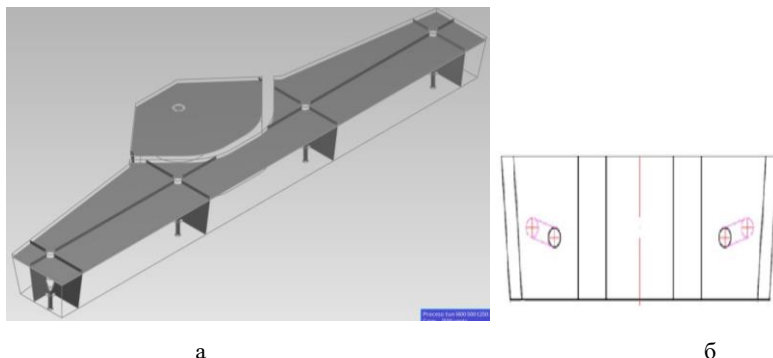


Рисунок 1 – Загальний вигляд моделі проміжного ковша зі скімером (а) та схема отворів скімера (б)

При цьому, враховуючи складність структури потоків розплавленої сталі, було прийнято ряд припущень.

1. Розплавлена сталь у проміжному ковші розглядається як нестисливий в'язкий однорідний турбулентний потік.

2. Коливання рівня металу в процесі розливки ігнорується, як і вплив шару шлаку на потоки.

3. Фізико-хімічні реакції в розплаві не розглядаються.

4. Теплообмін на дзеркалі металу відсутній, теплообмін між розплавом та стінками проміжного ковша задається для умов контакту метал-пісок.

5. Температура стінок проміжного ковша прийнята постійною та дорівнює 1000°C.

Результати моделювання оцінювалися на 250-й секунді процесу після досягнення стаціонарного режиму. Результати розрахунків стану потоків в об'ємі для різних конфігурацій внутрішньої геометрії проміжного ковша представлені на рис. 2-5.

В базовій конфігурації проміжного ковша маємо повільний рівень швидкостей потоків в більшій частині об'єму, особливо в зоні контакту метал-шлак. При цьому в нижній частині проміжного ковша інтенсивність потоків значно вища, що призводить до затягування включень відразу до струмків не дозволяючи їм потрапити в зону можливого видалення. Розрахунки вказують на той факт, що у порівнянні з базовою конфігурацією, додавання скімера позитивно впливає на загальну інтенсивність та рівномірність потоків в основному об'ємі проміжного ковша, а також забезпечує більш інтенсивний

КОНТАКТ ПОТОКІВ ЗІ ШЛАКОМ.

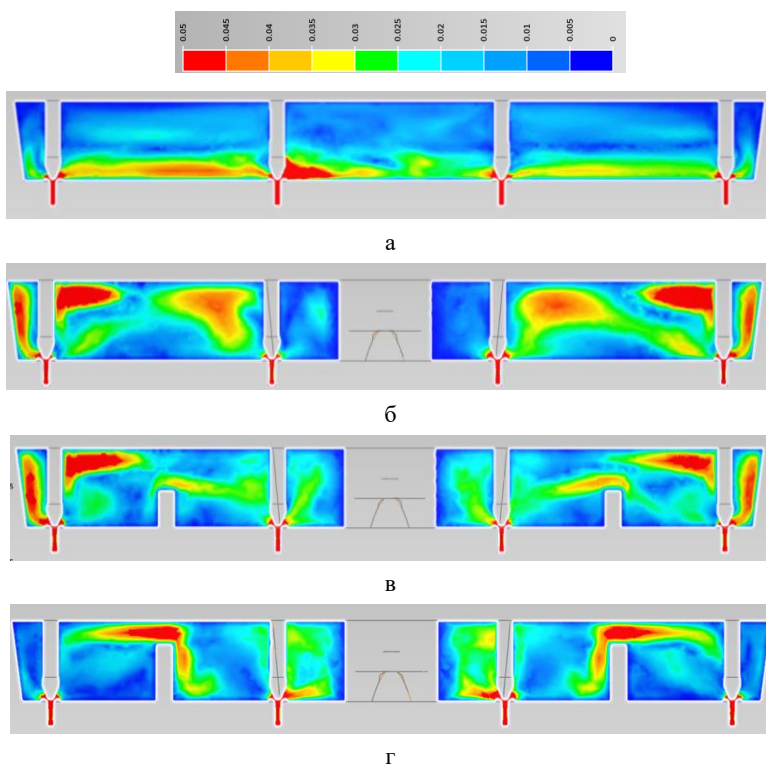


Рисунок 2 – Розподіл швидкостей потоку (м/с) у проміжному ковші в поздовжньому перерізі для базової конфігурації (а), зі скімером (б), зі скімером та перегородкою висотою 300 мм (в), зі скімером та перегородкою висотою 450 мм (г)

Крім того, локалізація зони підвищеної турбулентності в районі надходження металу із стальковша з одного боку збільшує час перебування включень в об'ємі проміжного ковша, підвищуючи ймовірність їх видалення, а з іншого – вимагає коригування геометрії металоприймача для запобігання надмірних висхідних потоків з високою турбулентністю в обмеженому об'ємі що потенційно небезпечно з точки зору можливості затягування шлакових включень в розплав.

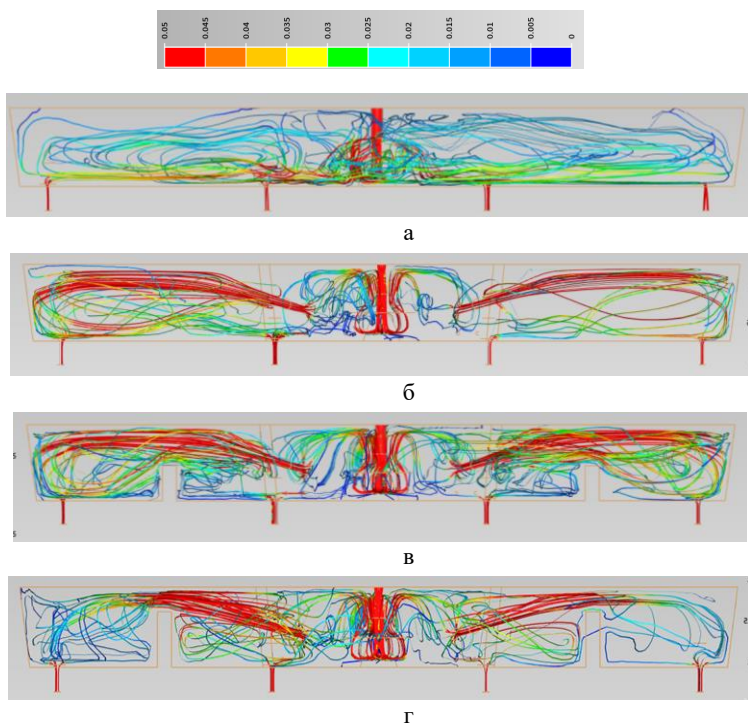


Рисунок 3 – Конттури швидкостей потоку (м/с) у проміжному ковші для базової конфігурації (а), зі скімером (б), зі скімером та перегородкою висотою 300 мм (в), зі скімером та перегородкою висотою 450 мм (г).

Додавання до геометрії проміжного ковша перегородок забезпечує підвищення часу перебування металу в об'ємі ковша за рахунок послаблення зворотного потоку від крайніх до внутрішніх струмків в основному об'ємі. Але при цьому існує ймовірність утворення «мертвих» зон в нижній частині проміжного ковша. Ця проблема може бути вирішена або за рахунок додаткових отворів у скімері, або регулюванням висоти перегородок.

Додатково, використання перегородок призводить до збільшення площини контакту потоків підвищеної інтенсивності на дзеркалі металу, що позитивно впливає на видалення неметалевих включень у шлак. Але тут слід зазначити, що при виборі висоти перегородки потрібно мати на увазі мінімальний рівень металу на стадії зміни сталюковша, щоб запобігти затягуванню шлаку потоками розплаву. Для цього планується провести додаткові розрахунки щодо оптимізації геометричних розмірів перегородки.

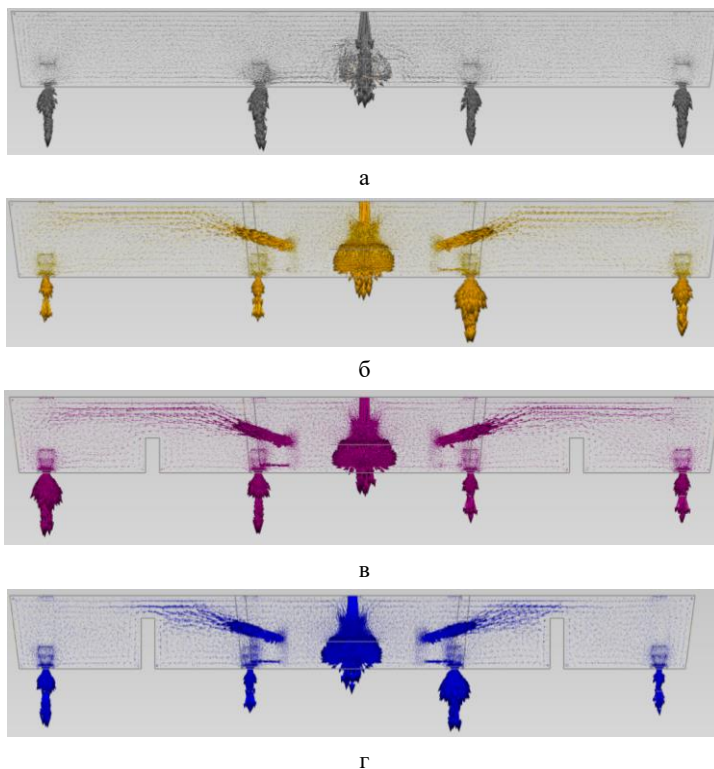


Рисунок 4 – Векторне представлення потоків в об'ємі проміжного ковша для базової конфігурації (а), зі скімером (б), зі скімером та перегородкою висотою 300 мм (в), зі скімером та перегородкою висотою 450 мм (г).

Результати моніторингу наявності неметалевих включень у металі готових виробів показали суттєве зниження інтервалу наявних включень з початкових 50-100 мкм до 20-50 мкм зі стійкою тенденцією щодо зменшення кількості включень після першого етапу впровадження змін (зокрема, після встановлення скімера). Крім того, результати оцінки стану вогнетривкої футеровки проміжного ковша не виявили тенденції щодо підвищеної ерозії матеріалів після зміни конфігурації внутрішньої геометрії.

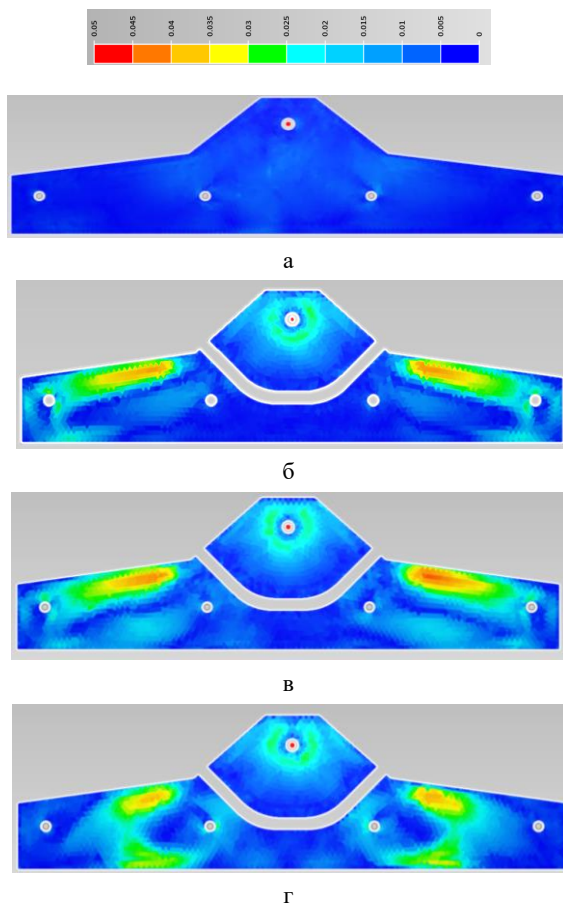


Рисунок 5 – Розподіл швидкостей потоку (м/с) на дзеркалі металу в промковші для базової конфігурації (а), зі скімером (б), зі скімером та перегородкою 300 мм (в), зі скімером та перегородкою 450 мм (г).

Висновки

Для оптимізації потоку рідкої сталі в проміжному ковші машини безперервного лиття круглої заготовки були створені чисельні моделі гідродинаміки потоків рідкої сталі з урахуванням змін у фактичній геометрії внутрішнього об'єму ковша

За результатами проведених розрахунків слід відзначити:

1. Використання скімера як «модифікатора» потоків призводить з одного боку до локалізації зони підвищеної турбулентності в районі захисної труби та металоприймача, а з іншої – надає потоку, що виходить з його бокових отворів, направленості в напрямку поверхні розподілу метал-шлак, що створює позитивні умови для видалення неметалевих включень. При цьому спостерігається істотна інтенсифікація та перемішування потоків в основній ванні проміжного ковша. Все це забезпечує створення сприятливих умов щодо зниження кількості неметалевих включень.

2. Використання додаткових перегородок в основній ванні проміжного ковша дозволяє додатково керувати в першу чергу інтенсивністю потоків. При цьому має місце збільшення площини контакту потоків розплаву підвищеної інтенсивності на дзеркалі металу, що позитивно впливає на видалення неметалевих включень у шлак.

3. Подальші дослідження температурних полів потоків, а також трекінгу неметалевих включень, дозволить розширити розуміння щодо наявності «застійних» зон, а також оцінити вірогідність потрапляння включень в ті або інші струмки.

4. Для верифікації розрахункових моделей та уточнення отриманих результатів планується проведення додаткових експериментів щодо фізичного моделювання процесів в проміжному ковші.

Перелік посилань

1. Sowa L. Effect of steel flow control devices on flow and temperature field in the tundish of continuous casting machine. *Archives of metallurgy and materials*. 2015. Vol. 60. No. 2. P. 843-847. <https://doi.org/10.1515/amm-2015-0216>

2. Sahai Y. Tundish technology for casting clean steel: A review. *Metallurgical and Materials Transactions B*. 2016. Vol. 47. P. 2095–2106. <https://doi.org/10.1007/s11663-016-0648-3>

3. Merder T., Pieprzyca J. Optimization of two-strand industrial tundish work with use of turbulence inhibitors: Physical and numerical modeling. *Steel Research International*. 2012. Vol. 83. No. 11. P. 1029–1038. <https://doi.org/10.1002/srin.201200059>

4. Mazumdar D., Guthrie R. I. L. The physical and mathematical modelling of continuous casting tundish systems. *ISIJ International*. 1999. Vol. 39. No. 6. P. 524–547. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.39.524>

5. Sheng D.-Y. Mathematical modelling of multiphase flow and inclusion behavior in a single-strand tundish. *Metals*. 2020. Vol. 10, No. 9, 1213. <https://doi.org/10.3390/met10091213>

6. Chattopadhyay K., Isac M., Guthrie R. I. L. Physical and Mathematical Modelling of Steelmaking Tundish Operations: A Review of the Last Decade (1999-2009). *ISIJ International*. 2010. Vol. 50, No. 3. P. 331–348. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.50.331>

7. Mazumdar D. Review, analysis, and modeling of continuous casting tundish systems. *Steel Research International*. 2019. Vol. 90, 201800279. <https://doi.org/10.1002/srin.201800279>
8. Fang Q., Zhang H., Luo R., Liu C., Wang Y., Ni H. Optimization of flow, heat transfer and inclusion removal behaviors in an odd multistrand bloom casting tundish. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. Vol. 9, No. 1. P. 347–363. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.064>
9. Warzecha M. Numerical modeling of steel flow in a multi-strand continuous casting tundish. *Acta Metallurgica Slovaca*. 2014. Vol. 20, No. 2, 140-145.
10. Yang B., Deng A., Duan P., Kang X., Wang E. "Power curve" key factor affecting metallurgical effects of an induction heating tundish. *Journal of Iron Steel Research International*. 2022. Vol. 29. P. 151–164. <https://doi.org/10.1007/s42243-021-00718-8>
11. Chen C., Jonsson L.T.I., Tilliander A., Cheng G., Jönsson P.G. A mathematical modeling study of tracer mixing in a continuous casting tundish. *Metallurgical and Materials Transactions B*. 2015. Vol. 46. P. 169–190. <https://doi.org/10.1007/s11663-014-0190-0>
12. Zhu H.-H., Wang M., Yao C., Wang Z.-L., Wang X.-L., Bao Y.-P. Influence of non-iso-velocity casting on flow-field index of a 41-ton six-strand tundish by physical and numerical modeling. *Journal of Iron Steel Research International*. 2022. Vol. 30. P. 51–63. <https://doi.org/10.1007/s42243-022-00821-4>
13. Cloete J. H., Akdogan G., Bradshaw S. M., Chibwe D. K. Physical and numerical modelling of a four-strand steelmaking tundish using flow analysis of different configurations. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015. Vol. 115. No. 5. P. 355–362
14. Zheng S.-G., Zhu M.-Y. Optimization of flow control devices in a ten-strand billet caster tundish. *China Foundry*. 2016. Vol. 13. P. 414–421. <https://doi.org/10.1007/s41230-016-6082-y>
15. He F., Zhang L.-Y., Xu Q.-Y. Optimization of flow control devices for a T-type five-strand billet caster tundish: Water modeling and numerical simulation. *China Foundry*. 2016. Vol. 13. P. 166–175. <https://doi.org/10.1007/s41230-016-5132-9>
16. de Sousa Rocha J. R., de Souza E. E. B., Marcondes F., de Castro J. A. Modeling and computational simulation of fluid flow, heat transfer and inclusions trajectories in a tundish of a steel continuous casting machine. *Journal of Materials Research and Technology*. 2019. Vol. 8. No. 5. P. 4209–4220. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.07.029>
17. Ai X.-G., Han D., Li S.-L., Zeng H.-B., Li H.-Y. Optimization of flow uniformity control device for six-stream continuous casting tundish. *Journal of Iron and Steel Research International*. 2020. Vol. 27. P. 1035–1044. <https://doi.org/10.1007/s42243-020-00418-9>
18. Zhang J., Liu Q., Yang S., Chen Z., Li J., Jiang Z. Advances in ladle shroud as a functional device in tundish metallurgy: A review. *ISIJ International*. 2019. Vol. 59. No. 7. P. 1167–1177. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-044>
19. Ramirez O. S. D., Torres-Alonso E., Banderas J. A. R., Villa S. A. A., Bocanegra C. A. H., Martínez J. S. T. Thermal and Fluid-Dynamic Optimization of a

Five Strand Asymmetric Delta Shaped Billet Caster Tundish. *Steel Research International*. 2018. Vol. 89, 1700428. <https://doi.org/10.1002/srin.201700428>

20. Zhang H., Fang Q., Deng S., Liu C., Ni H. Multiphase Flow in a Five-Strand Tundish Using Trumpet Ladle Shroud during Steady-State Casting and Ladle Change-Over. *Steel Research International*. 2019. Vol. 90, 1800497. <https://doi.org/10.1002/srin.201800497>

21. Zhang J., Yang S., Chen Y., Chen Z., Zhao J., Li J., Jiang Z. Comparison of Multiphase Flow in a Continuous Casting Tundish Using Two Types of Industrialized Ladle Shrouds. *JOM*. 2018. Vol. 70, 2886–2892. <https://doi.org/10.1007/s11837-018-2993-y>

References

1. Sowa, L. (2015). Effect of steel flow control devices on flow and temperature field in the tundish of continuous casting machine. *Archives of metallurgy and materials*, 60 (2), 843-847. <https://doi.org/10.1515/amm-2015-0216>

2. Sahai, Y. (2016). Tundish technology for casting clean steel: A review. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 47, 2095–2106. <https://doi.org/10.1007/s11663-016-0648-3>

3. Merder, T., & Pieprzyca, J. (2012). Optimization of two-strand industrial tundish work with use of turbulence inhibitors: Physical and numerical modeling. *Steel Research International*, 83(11), 1029–1038. <https://doi.org/10.1002/srin.201200059>

4. Mazumdar, D., & Guthrie, R. I. L. (1999). The physical and mathematical modelling of continuous casting tundish systems. *ISIJ International*, 39 (6), 524–547. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.39.524>

5. Sheng, D.-Y. (2020). Mathematical modelling of multiphase flow and inclusion behavior in a single-strand tundish. *Metals*, 10 (9), 1213. <https://doi.org/10.3390/met10091213>

6. Chattopadhyay, K., Isac, M., & Guthrie, R. I. L. (2010). Physical and Mathematical Modelling of Steelmaking Tundish Operations: A Review of the Last Decade (1999-2009). *ISIJ International*, 50 (3), 331–348. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.50.331>

7. Mazumdar, D. (2019). Review, analysis, and modeling of continuous casting tundish systems. *Steel Research International*, 90, 201800279. <https://doi.org/10.1002/srin.201800279>

8. Fang, Q., Zhang, H., Luo, R., Liu, C., Wang, Y., & Ni, H. (2020). Optimization of flow, heat transfer and inclusion removal behaviors in an odd multistrand bloom casting tundish. *Journal of Materials Research and Technology*, 9 (1), 347–363. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.064>

9. Warzecha, M. (2014). Numerical modeling of steel flow in a multi-strand continuous casting tundish. *Acta Metallurgica Slovaca*, 20 (2), 140-145.

10. Yang, B., Deng, A., Duan, P., Kang, X., & Wang, E. (2022). "Power curve" key factor affecting metallurgical effects of an induction heating tundish. *Journal of Iron Steel Research International*, 29, 151–164. <https://doi.org/10.1007/s42243-021-00718-8>

11. Chen, C., Jonsson, L. T. I., Tilliander, A., Cheng, G., & Jönsson, P. G. (2015). A mathematical modeling study of tracer mixing in a continuous casting tundish.

Metallurgical and Materials Transactions B, 46, 169–190. <https://doi.org/10.1007/s11663-014-0190-0>

12. Zhu, H.-H., Wang, M., Yao, C., Wang, Z.-L., Wang, X.-L., & Bao, Y.-P. (2022). Influence of non-iso-velocity casting on flow-field index of a 41-ton six-strand tundish by physical and numerical modeling. *Journal of Iron Steel Research International*, 30, 51–63. <https://doi.org/10.1007/s42243-022-00821-4>

13. Cloete, J.H., Akdogan, G., Bradshaw, S. M., & Chibwe, D. K. (2015). Physical and numerical modelling of a four-strand steelmaking tundish using flow analysis of different configurations. *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 115 (5), 355–362.

14. Zheng, S.-G., & Zhu, M.-Y. (2016). Optimization of flow control devices in a ten-strand billet caster tundish. *China Foundry*, 13, 414–421. <https://doi.org/10.1007/s41230-016-6082-y>

15. He, F., Zhang, L.-Y., & Xu, Q.-Y. (2016). Optimization of flow control devices for a T-type five-strand billet caster tundish: Water modeling and numerical simulation. *China Foundry*, 13, 166–175. <https://doi.org/10.1007/s41230-016-5132-9>

16. de Sousa Rocha, J. R., de Souza, E. E. B., Marcondes, F., & de Castro, J. A. (2019). Modeling and computational simulation of fluid flow, heat transfer and inclusions trajectories in a tundish of a steel continuous casting machine. *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (5), 4209–4220. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.07.029>

17. Ai, X.-G., Han, D., Li, S.-L., Zeng, H.-B., & Li, H.-Y. (2020). Optimization of flow uniformity control device for six-stream continuous casting tundish. *Journal of Iron and Steel Research International*, 27, 1035–1044. <https://doi.org/10.1007/s42243-020-00418-9>

18. Zhang, J., Liu, Q., Yang, S., Chen, Z., Li, J., & Jiang, Z. (2019). Advances in ladle shroud as a functional device in tundish metallurgy: A review. *ISIJ International*, 59 (7), 1167–1177. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-044>

19. Ramirez, O. S. D., Torres-Alonso, E., Banderas, J. A. R., Villa, S. A. A., Bocanegra, C. A. H., & Martínez, J. S. T. (2018). Thermal and Fluid-Dynamic Optimization of a Five Strand Asymmetric Delta Shaped Billet Caster Tundish. *Steel Research International*, 89, 1700428. <https://doi.org/10.1002/srin.201700428>

20. Zhang, H., Fang, Q., Deng, S., Liu, C., & Ni, H. (2019). Multiphase Flow in a Five-Strand Tundish Using Trumpet Ladle Shroud during Steady-State Casting and Ladle Change-Over. *Steel Research International*, 90, 1800497. <https://doi.org/10.1002/srin.201800497>

21. Zhang, J., Yang, S., Chen, Y., Chen, Z., Zhao, J., Li, J., & Jiang, Z. (2018). Comparison of Multiphase Flow in a Continuous Casting Tundish Using Two Types of Industrialized Ladle Shrouds. *JOM*, 70, 2886–2892. <https://doi.org/10.1007/s11837-018-2993-y>

O. V. Shvets¹, Ph. D. (Tech.), Senior researcher, ORCID 0009-0005-4871-4402
D. V. Konovodov¹, Ph. D. (Tech.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0001-8282-4991
O. D. Petrov², Ph. D., ORCID 0000-0001-8688-043X
T. Y. Lisnycha², ORCID 0009-0004-2224-2622

¹ *Ukrainian State University of Science and Technologies*
² *LLC "INTERPIPE UKRAINE"*

IMPROVING THE DESIGN OF THE TUNDISH OF THE CONTINUOUS CASTING MACHINE FOR ROUND BILLETS PRODUCTION USING NUMERICAL SIMULATION

Abstract. As the requirements to fineness of continuously cast round billets used in manufacture of critical products (railway wheels, special purpose pipes, etc.) demonstrate substantial growth, comprehensive technological solutions are needed to improve the quality of steel, primarily by reducing the number and size of non-metallic inclusions. Herewith, the tundish as the last unit with refractory lining plays a special role in this by removing inclusions through optimization of the liquid steel flows. Since the metal flow pattern is the basic component for productivity of continuous casting tundishes, the purpose of this study was to evaluate and optimize the hydrodynamics inside the four-strand tundish by using a comprehensive approach to changing its internal geometry. To ensure optimal conditions for removal of non-metallic inclusions in the tundish, it is necessary first of all to ensure long-term contact of metal and slag both by directing the metal flows to the metal-slag interface surface and by increasing the time of metal staying in the tundish. In regulation of the metal flows inside the tundish the main focus has been historically on the design and technological features of the impact pads in the zone of metal inflow from the steel ladle to reduce turbulent flows. Therefore, in the conducted studies, the attention was mainly paid to evaluating changes in the liquid steel flows inside the tundish through the use of other additional flow "modifiers" such as skimmers and baffles. It should be noted that in addition to the effect on the distribution of flows, an assessment was made of the possible impact of changes on prevention of excessive erosion of the refractory lining of the tundish. The evaluation was performed using the finite element numerical simulation method on the commercial software Thercast from Transvalor (France). The results of the actual evaluation of non-metallic inclusions in the finished products showed a substantial reduction in the interval of the existing inclusions from the initial 50-100 microns to 20-50 microns, with a stable trend towards a substantial decrease in the number of inclusions after the changes were implemented.

Key words: tundish, numerical simulation, skimmer, flow rate, non-metallic inclusions.

For citation: Shvets, O. V., Konovodov, D. V., Petrov, O.D., & Lisnycha, T. Y. (2024). Improving the design of the tundish of the continuous casting machine for round billets production using numerical simulation. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 38, 308-320. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-308-320>

Стаття надійшла до редакції збірника 12.09.2024 р.
Рекомендовано до друку редакцією збірника (Протокол № 12 від 19.12.2024 р.)