

Д. т. н. К. Н. Вдовин, д. т. н. Виктор В. Точилкин (✉), Василий В. Точилкин

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

УДК 621.746.047:669.054.2

ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ СТАЛИ И РАЗРАБОТКА ОГНЕУПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША ЧЕТЫРЕХРУЧЬЕВЫХ МНЛЗ

Рассмотрены компоновка элементов камер промежуточного ковша четырехручьевых машин непрерывного литья заготовок, а также вопросы организации движения потоков стали в камерах ковша. Показано существенное влияние новых компоновок системы распределения потоков стали и конструкций ее элементов на параметры потока металла в четырехручьевом промежуточном ковше и на удаление неметаллических включений. Совершенствование оборудования обеспечивает эффективное формирование потоков металла и создает условия для повышения его качества.

Ключевые слова: машина непрерывного литья заготовок, промежуточный ковш, потоки металла, моделирование.

Промежуточный ковш машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) обеспечивает дозирование и рафинирование стали [1, 2]. Совершенствование элементов промежуточного ковша (ПК) оказывает влияние на повышение качества разливаемой стали на МНЛЗ. На рис. 1 представлен ПК четырехручьевой МНЛЗ [1].

В металле, поступающем в ПК, содержатся неметаллические включения (НВ), которые с течением времени всплывают [3]. Для удаления крупных НВ размером >20 мкм используют металлоприемники (М), перегородки и пороги специальной конструкции [4, 5]. Указанные устройства имеют различные формы, размеры, место положения в ПК. При их установке объем ПК разделяется на приемную камеру и четыре разливочные.

Металл поступает в приемную камеру из сталеразливочного ковша через специальную трубу, в разливочных камерах происходит его истечение из ПК. Анализ существующей компоновки четырехручьевой МНЛЗ показал:

- приемная камера ПК образована металлоприемником без разгрузочных отверстий и рядом стоящими порогами;
- разливочные камеры формируются порогами;
- математическим моделированием установлено, что в приемной камере ПК, а также в разливочных камерах за порогами наблюдаются интенсивные вертикальные восходящие потоки.

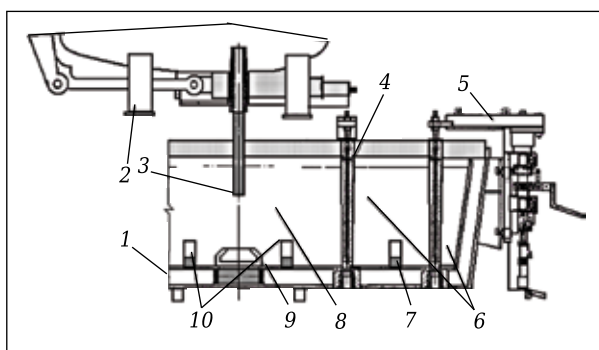


Рис. 1. Компоновка ПК четырехручьевой МНЛЗ: 1 — ПК; 2 — сталеразливочный ковш; 3 — труба; 4 — стопор; 5 — механизм стопора; 6 — разливочные камеры ПК; 7 — порог разливочной камеры; 8 — приемная камера ковша; 9 — донный металлоприемник; 10 — пороги приемной камеры

Определено, что их скорость больше допустимой (до 0,16 м/с) [1] и что это приводит к интенсивному затягиванию НВ в металл и оголению его зеркала.

Математическая модель описывает движение жидкого металла [2, 6] в ПК. При ее составлении использованы следующие уравнения: Навье – Стокса, неразрывности потока, конвективной диффузии. Геометрия модели определяется компоновкой ковша и расположением оборудования внутренней полости ПК. Масштаб модели 1 : 1. Соответствующие уравнения имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \vec{V}, \\ \nabla \vec{V} = 0, \\ \vec{u} \nabla C - D \nabla^2 C = 0. \end{cases} \quad (1)$$

✉
Виктор В. Точилкин
E-mail: toch56@mail.ru

где $\vec{V}$ — вектор скорости жидкости; $\vec{F}$ — объемные силы; p — давление жидкости; ∇p — градиент давления; ν — коэффициент кинематической вязкости; ∇^2 — лапласиан $\vec{V}$; ρ — плотность стали; $\vec{u}$ — вектор скорости движения частиц включений; t — время; ∇ — оператор; C — концентрация примеси; D — коэффициент диффузии.

При расчете турбулентных течений металла в ПК используется $(k - \epsilon)$ модель турбулентной вязкости [2, 6].

На рис. 2 представлена картина распределения потоков металла в приемной камере с донным металлоприемником, не имеющим отверстия [7–10]. Видно, как струя металла, падающая в приемник, затем создает скоростные (более 0,2 м/с) струи металла на поверхности раздела шлак – сталь. Это приводит к интенсивному захвату неметаллических включений на поверхности шлака приемной камеры ПК.

Создана конструкция металлоприемника с разгрузочными отверстиями [7]. На рис. 3 представлена картина распределения потоков металла в приемной камере с донным М [8–10], имеющим отверстия для создания направленных наклонных струй. Видно, как струя металла, падающая в металлоприемник, благодаря его форме гасится, теряет свою скорость, при этом М защищает дно ПК от разрушения [11, 12].

СОЗДАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Создана новая компоновка (рис. 4) приемной камеры четырехручьевого МНЛЗ на базе донного М

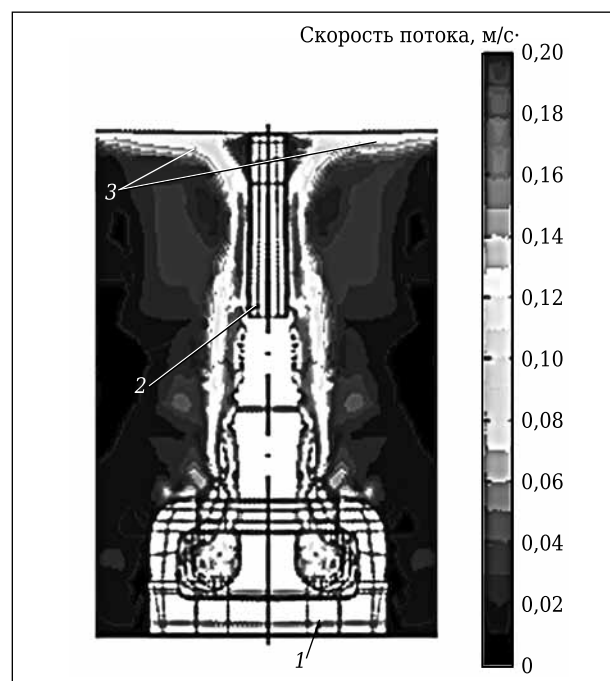


Рис. 2. Приемная камера ПК: 1 — металлоприемник без боковых отверстий; 2 — труба сталеразливочного ковша; 3 — скоростные потоки металла на поверхности раздела шлак – сталь

с разгрузочными отверстиями и перегородки с переливными отверстиями на границе приемной камеры ПК четырехручьевого МНЛЗ. Применение в ПК четырехручьевого МНЛЗ элементов разработанной системы распределения потоков стали обеспечивает гашение интенсивных скоростных поверхностных потоков в приемной камере ПК. Модернизированная компоновка промежуточного ковша четырехручьевого МНЛЗ представлена на рис. 5.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При дальнейшем совершенствовании и разработке процессов непрерывной разливки стали одним из вариантов конструкции более совершенного промежуточного ковша является создание новых компоновок систем распределения

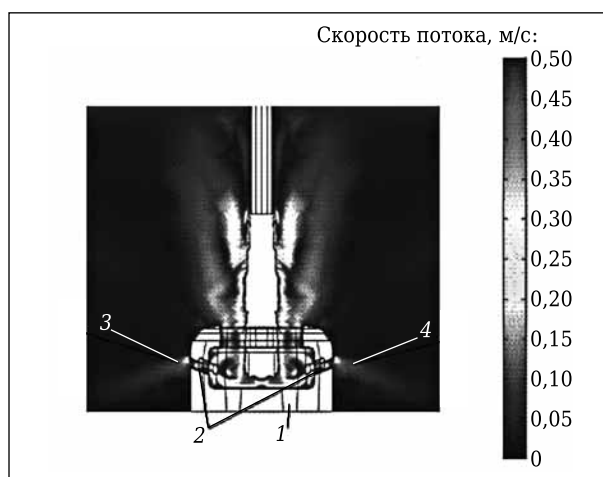


Рис. 3. Приемная камера ПК, оснащенная металлоприемником с пространственно ориентированными отверстиями: 1 — металлоприемник с боковыми отверстиями; 2 — пространственно ориентированные отверстия; 3, 4 — потоки металла из отверстий

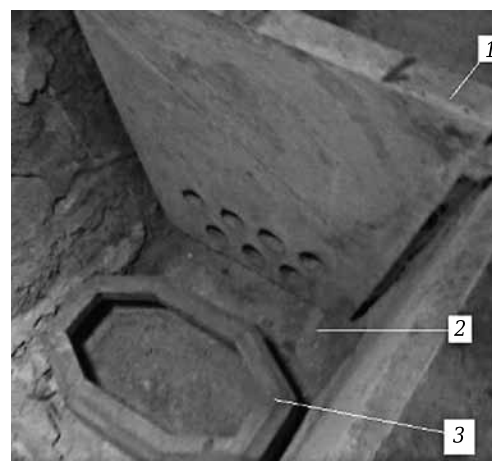


Рис. 4. Приемная камера ПК, оснащенная металлоприемником и перегородками с пространственно ориентированными отверстиями: 1 — перегородка с отверстиями; 2 — приемная камера; 3 — донный металлоприемник с отверстиями

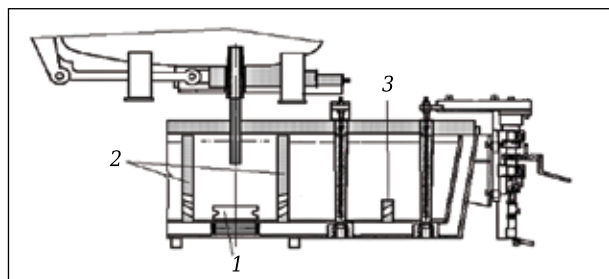


Рис. 5. Модернизированная компоновка ПК четырехручьевого МНЛЗ: 1 — донный металлоприемник с пространственно ориентированными отверстиями; 2 — перегородки приемной камеры с пространственно ориентированными отверстиями; 3 — пороги разливочной камеры с пространственно ориентированными отверстиями

Библиографический список

1. **Исаев, О. Б.** Моделирование современных процессов внепечной обработки и непрерывной разливки стали / О. Б. Исаев, Е. А. Чичкарёв, В. В. Кислица [и др.] ; под общ. ред. Е. Х. Шахпазова. — М. : ЗАО «Металлургиздат», 2008. — 373 с.
2. **Вдовин, К. Н.** Непрерывная разливка стали. Гидромеханика машин непрерывного литья заготовок : монография / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, И. М. Ячиков. — Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2014. — 348 с.
3. **Точилкин, В. В.** Модернизация промежуточного ковша МНЛЗ для обеспечения повышения качества разливаемой стали / В. В. Точилкин // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2007. — № 2. — С. 5–7.
4. **Ушаков, С. Н.** Разработка оборудования системы распределения потоков стали для промежуточного ковша / С. Н. Ушаков, А. А. Хоменко, К. Н. Вдовин [и др.] // Сталь. — 2009. — № 3. — С. 13–17.
5. **Вдовин, К. Н.** Разработка элементов приемной камеры промежуточного ковша слэбовой МНЛЗ / К. Н. Вдовин, Е. А. Мельничук, А. В. Нефедов [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. — 2014. — № 3. — С. 23–27.
6. **Vdovin, K. N.** Intake chamber of the tundish in a continuous slab-casting machine / K. N. Vdovin, E. A. Melnichuk, A. V. Nefedov [et al.] // Steel in translation. — 2014. — Vol. 44, № 3. — P. 186–189.
7. **Зекели, Дж.** Компьютерное конструирование (CAD–CAM-метод) промежуточного разливочного устройства / Дж. Зекели, Н. Эль-Кадах ; пер. с англ. под ред. В. А. Кудрина // Инжекционная металлургия '86 : труды конференции. — М. : Металлургия, 1990. — С. 134–146.
8. **Вдовин, К. Н.** Создание имитатора рабочей среды для повышения износостойкости огнеупоров при разливке стали на сортовых МНЛЗ / К. Н. Вдовин, О. А. Марочкин, В. В. Точилкин // Новые огнеупоры. — 2013. — № 11. — С. 10–13.
9. **Вдовин, К. Н.** Creating a stream simulator to improve the wear resistance of refractories during the casting of steel on continuous section casters / K. N. Vdovin, O. A. Marochkin, V. V. Tochilkin // Refractories and industrial ceramics. — 2014. — Vol. 54, № 6. — P. 435–437.
10. **Вдовин, К. Н.** Совершенствование процесса разливки стали на сортовых МНЛЗ / К. Н. Вдовин, О. А. Марочкин, В. В. Точилкин // Металлург. — 2014. — № 4. — С. 80–82.
11. **Vdovin, K. N.** Improvement of Steel Pouring in Section CBCM / K. N. Vdovin, O. A. Marochkin, V. V. Tochilkin // Metallurgist. — Vol. 58, № 3/4. — P. 306–309.
12. **Точилкин, В. В.** Пневмопривод металлургических манипуляторов : монография / В. В. Точилкин, А. М. Филатов. — Магнитогорск : МГТУ, 2005. — 211 с.
13. **Патент на полезную модель RUS 38654.** Промежуточный ковш для непрерывной разливки металла / Морозов А. А., Дьяченко В. Ф., Корнеев В. М., Вдовин К. Н., Точилкин В. В., Осипов В. А., Кунгурцев В. Н., Семенов М. В. — № 2094106951/20 ; заявл. 09.03.04 ; опубл. 10.07.04.
14. **Вдовин, К. Н.** Совершенствование конструкции огнеупоров разливочной камеры промежуточного ковша сортовой МНЛЗ / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, О. А. Филатова // Новые огнеупоры. — 2015. — № 9. — С. 3–7.
15. **Семенов, М. В.** Методика расчета работоспособности элементов промежуточного ковша МНЛЗ / М. В. Семенов, В. В. Точилкин // Вестник машиностроения. — 2007. — № 6. — С. 41–43.
16. **Semenov, M. V.** Technique for calculating the effectiveness of the elements of the intermediate ladle of a CBCM / M. V. Semenov, V. V. Tochilkin // Russian Engineering Research. — 2007. — Vol. 27, № 6. — P. 347–349. ■

Получено 29.10.15

© К. Н. Вдовин, Виктор В. Точилкин,
Василий В. Точилкин, 2016 г.