

УДК 621.746.047:669.054.2

Терентьев Д.В., Василий В. Точилкин

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССА РАЗЛИВКИ СТАЛИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША СОРТОВОЙ МНЛЗ

Аннотация. *Постановка задачи (актуальность работы):* в статье рассматриваются конструкции огнеупорного оборудования, устанавливаемого в камерах промежуточного ковша (ПК) машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Совершенствование оборудования ПК обеспечивает эффективное формирование потоков металла и создает условия для повышения качества непрерывно-литых заготовок. **Цель работы:** совершенствование конструкций ПК, используя предложенные новые конструкции и результаты моделирования процесса разлива стали для повышения качества непрерывно-литой заготовки. **Используемые методы:** зависимости в области механики жидкости для условий металла, находящегося в жидком состоянии, при температуре, определяемой условиями разлива стали. **Новизна:** рассмотрены компоновка элементов камер промежуточного ковша четырехручьевых машин непрерывного литья заготовок, а также вопросы организации движения потоков стали в камерах промежуточного ковша МНЛЗ. Показано существенное влияние новых компоновок системы распределения потоков стали и конструкций ее элементов на параметры потока металла в четырехручьевом промежуточном ковше, на удаление неметаллических включений. **Результат:** разработка и использование конструкций комплектов обеспечивают эффективное гашение воронки, возникающей над разливочными стаканами промежуточного ковша, и создают условия для повышения качества разливаемого металла благодаря хорошей организации струй жидкого металла в ПК. **Практическая значимость:** развитие оборудования системы обеспечивает эффективное формирование потоков жидкой стали в камере промежуточного ковша и безаварийную работу МНЛЗ.

Ключевые слова: машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), промежуточный ковш (ПК), математическое моделирование, огнеупорные конструкции.

Введение

Рассмотрена компоновка элементов камер промежуточного ковша (ПК) четырехручьевых машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). В статье рассматриваются вопросы организации движения потоков стали в камерах ковша. Показано существенное влияние новых компоновок системы распределения потоков стали и конструкций её элементов на параметры потока металла в четырехручьевом промежуточном ковше и качество удаления неметаллических включений (НВ).

Конструкции ковша и отдельных элементов

Важнейшим оборудованием, обеспечивающим технологические процессы разлива жидкой стали является система «сталеразливочный ковш (СРК) – струя металла (СМ) – промежуточный ковш (ПК) – кристаллизатор» [1]. Промежуточный ковш обеспечивает распределение потоков жидкого металла и удаление неметаллических включений (НВ) перед разливкой стали в кристаллизаторы [2].

На рис. 1 представлен ПК четырехручьевой комбинированной сортовой МНЛЗ [3].

В приемную камеру поступает металл из сталеразливочного ковша через защитную трубу, в разливочных камерах происходит его истечение из ПК в кристаллизаторы. Особенности компоновки четырехручьевой МНЛЗ [4]:

- приемная камера ПК образована металлоприемником без разгрузочных отверстий и рядом стоящими порогами;
- разливочные камеры формируются порогами.

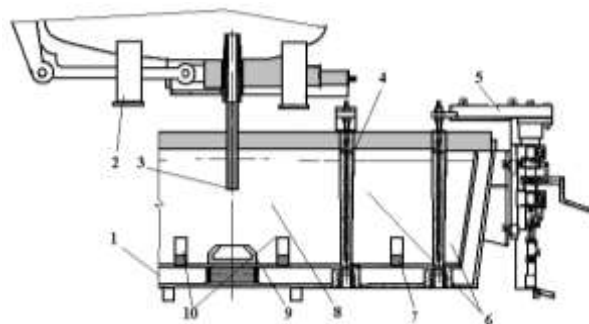


Рис. 1. Промежуточный ковш четырехручьевой МНЛЗ:
1 – ПК; 2 – сталеразливочный ковш; 3 – труба;
4 – стопор; 5 – механизм стопора; 6 – разливочные камеры ПК; 7 – порог разливочной камеры;
8 – приемная камера ковша;
9 – донный металлоприемник;
10 – пороги приемной камеры

Путем математического моделирования установили, что в приемной камере ПК, а также в следующих разливочных камерах за порогами наблюдаются интенсивные вертикальные восходящие потоки. Определили, что их скорость больше допустимой (до 0,16 м/с) [3]. Это приводит к интенсивному затягиванию НВ в металл и оголению его зеркала.

Конструкция новой компоновки промежуточного ковша четырехручьевой МНЛЗ на базе металлоприемника с разгрузочными отверстиями и четырех порогов с переливными отверстиями на границах приемной и разливочных камер ПК машины представлена на рис. 2.

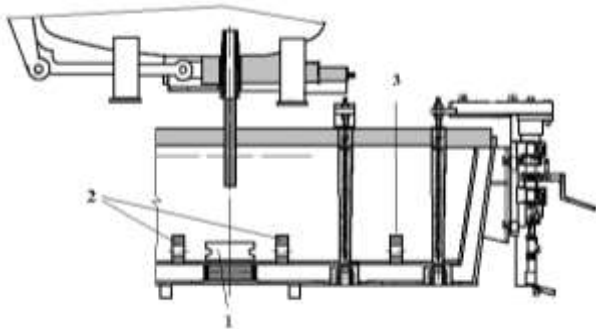


Рис. 2. Компоновка ПК четырехручьевой МНЛЗ модернизированная:

- 1 – донный металлоприёмник с пространственно-ориентированными отверстиями;
- 2 – пороги приемной камеры с пространственно-ориентированными отверстиями;
- 3 – пороги разливных камер с пространственно-ориентированными отверстиями

На рис. 3 представлена компоновка приемной камеры (вид сверху) промежуточного ковша МНЛЗ на базе металлоприемника (М) с разгрузочными отверстиями и боковых порогов с переливными отверстиями на границах приемной камеры ПК машины.

Применение порогов в ПК четырехручьевой МНЛЗ элементов разработанной системы распределения потоков стали обеспечивает гашение интенсивных скоростных поверхностных потоков в приемной камере ПК [3].

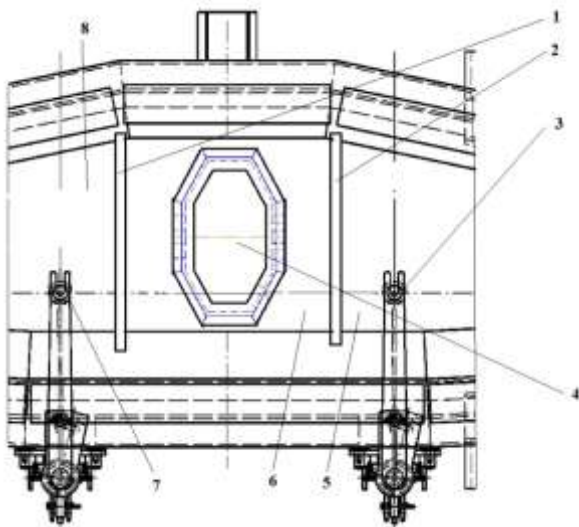


Рис. 3. Расположение оборудования приемной камеры промежуточного ковша МНЛЗ:

- 1, 2 – пороги приемной камеры с отверстиями;
- 3, 7 – стопоры; 4 – металлоприемник;
- 5, 8 – крайние разливные камеры ковша;
- 6 – приемная камера ковша

На рис. 4 представлена компоновка разливной камеры (вид сверху) промежуточного ковша.

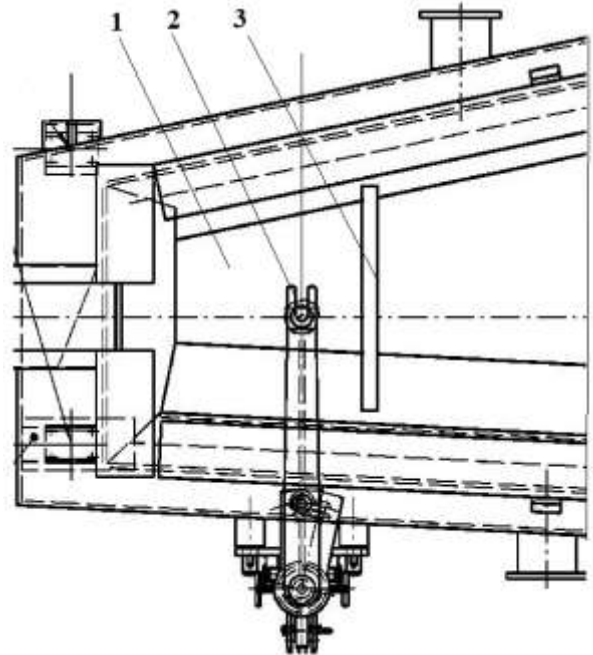


Рис. 4. Конструкции оборудования разливной камеры ковша МНЛЗ:

- 1 – разливная камера ковша;
- 2 – стопор разливного отверстия;
- 3 – порог с боковыми переливными отверстиями

Моделирование работы конструкций приемной камеры ковша

Задачи решали численными методами путем математического моделирования [5], при этом были описаны и смоделированы следующие процессы:

1. Движение потоков стали в объеме подсистемы «струя металла из СЛК – М с ПОО-струи металла в приемной камере ПК – пороги приемной камеры».

2. Распределение потоков металла при разливке стали в приемной камере ПК.

Математическая модель была основана на уравнении Навье-Стокса для жидкого металла и уравнении неразрывности потока для несжимаемой жидкости [6].

Соответствующие уравнения имеют вид:

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

где \vec{u} – вектор скорости жидкости; \vec{F} – вектор объёмных сил; p – давление жидкости; ∇p – градиент давления; ν – коэффициент кинематической вязкости; $\nabla^2 \vec{u}$ – лапласиан \vec{u} ; ρ – плотность стали.

В математической модели были сделаны следующие допущения [7]:

1. Плотность каждой фазы (металла и НВ) в модели постоянна.
2. Объем СРК изначально заполнен сталью полностью.
3. Объем ПК изначально заполнен сталью.
4. Жидкость – сталь, является вязкой и несжимаемой.

С целью оценки влияния потоков металла на конструкции оборудования приемной камеры ковша было проведено математическое моделирование потоков жидкого металла. Это необходимо для представления рекомендаций по совершенствованию технологий разливки стали, огнеупорных конструкций промежуточного ковша. При анализе результатов моделирования оценивали параметры скорости в пространстве промежуточного ковша.

На рис. 5 представлены результаты математического моделирования.

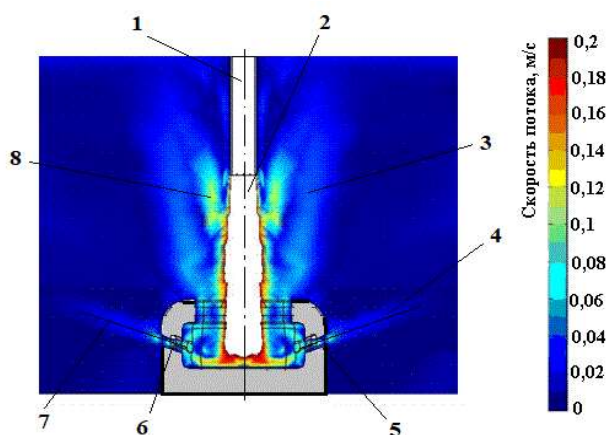


Рис. 5. Результаты моделирования потоков стали в приемной камере ковша, оснащенной металлоприемником с боковыми отверстиями: 1 – защитная труба; 2 – струя металла из трубы; 3, 8 – обратные потоки металла от дна и внутренних боковых поверхностей; 4, 7 – струи металла из боковых отверстий; 5, 6 – боковые отверстия

Определены поля скоростей на поверхности порога приемной камеры под воздействием находящейся в камере жидкой стали и её потоков в продольном сечении ПК при максимально возможном рабочем уровне металла в ковше. В результате проведенного математического моделирования были установлены характеры скоростей потоков жидкого металла действующих на поверхностях конструкций, расположенных в приемной камере ПК, при использовании порогов с пространственно-ориентированными отверстиями. Площадь отверстий и угол наклона их осей определялись с учетом технологических параметров разливки (скорость движения стали из разливочного отверстия ковша, размер непрерывно-литой заготовки). Результаты математического моделирования показали необходимость модернизации конструкций

приёмной камеры ПК сортовой МНЛЗ-порогов, обеспечивающих рациональное движение потоков стали в объеме промежуточного ковша [8].

Выводы:

1. Разработано оборудование нового комплекта огнеупорных конструкций промежуточного ковша симметричной четырехручьевого сортовой МНЛЗ: металлоприёмник с ПОО; четыре порога приёмной и разливочных камер с ПОО для четырехручьевого симметричного промежуточного ковша сортовой МНЛЗ. В качестве критерия работоспособности были приняты: прочность, отсутствие кавитации и условие, по которому скорость на границе раздела металл-шлак должна быть меньше допустимой.

2. Разработана компоновка нового промежуточного ковша.

Список литературы

1. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Технологии современной металлургии. М.: Новые технологии, 2004. 784 с.
2. Gushchin V.N., Ul'yanov V.A. Improved tundish refining of steel in continuous-casting machines // *Steel in Translation*. 2017. Vol. 47. № 5. P. 320-324.
3. Analysis of operation of a steel-pouring ladle-tundish system for a section CBCM and improved refractory structures for the tundish receiving chamber / K. N. Vdovin, Vasilii V. Tochilkin [et al.] // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2016. Т. 57, № 3. P. 221-223.
4. Modeling Study of Turbulent Flow in a Continuous Casting Slab Mold Comparing Three Ports SEN Designs / Ismael Calderón-Ramos, Rumualdo Servín-Castañeda, Alejandro Pérez-Alvarado [et al.] // *ISIJ International*. 2019. Vol. 59. № 1. P. 76-85.
5. Optimization of the hydrodynamic characteristics of tundishes in order to remove exogeneous nonmetallic inclusions / A.V. Kuklev, V. V. Tinyakov, Yu. M. Aizin [et al.] // *Metallurgist*. 2004. Vol. 48. № 3/4. P. 153-157.
6. Design and methods for the numerical analyses of the refractory equipment of tundish ladle of a continuous casting machine // Vdovin K.N., Tochilkin Vas. V., Filatova O.A. [et al.] // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2019. Vol. 60. No. 4. P. 323–326.
7. Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Ячиков И.М. Непрерывная разливка стали. Гидромеханика машин непрерывного литья заготовок: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2014. 348 с.
8. Пат. на полезную модель 177995 РФ, МКП В22D 41/00. Ковш промежуточный для непрерывной разливки металла / К.Н. Вдовин, Е.А. Мельничук, В.И. Умнов, В.В. Точилкин. Заявка 2017109623. Заявл. 22.03.2017; 19.03.2018. Бюл. № 8.

Сведения об авторах

Терентьев Дмитрий Вячеславович – доктор технических наук, профессор кафедры машин и технологий обработки давлением, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: dtvterentyev@magtu.ru.

Точилкин Василий Викторович – аспирант кафедры технологий металлургии и литейных процессов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: tochilkin.vas@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DEVELOPING THE STEEL CASTING PROCESS TECHNOLOGY AND IMPROVING THE INTERMEDIATE BUCKET EQUIPMENT DESIGN OF THE BILLET CASTER

Terentev Dmitrii V. – Dr. Sci. (Eng.), Professor Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: terentev.dv@magtu.ru.

Tochilkin Vasilii V. – Postgraduate Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: tochilkin.vas@mail.ru.

Abstract. Problem Statement (Relevance): the article describes design of refractory equipment installed in chambers of tundish for continuous casting machine (CCM). Improving equipment provides effective formation of metal flows and creates conditions for increase of its quality. **Objectives:** improving designs TN, using simulation results casting process for improving the quality of continuous cast billets. **Methods Applied:** design area of machines based on the fundamental laws of conservation of mass, energy, equations of mathematical physics, well-known and proven mathematical techniques. **Originality:** this article examines the configuration of elements of the chambers of a tundish on a four-strand continuous caster and aspects of organizing the movement of the flows of steel within the chambers. It is shown that new configurations and structural elements developed for the system that distributes the flows have a significant effect on their parameters and the removal of nonmetallic inclusions. **Findings:** refinement and practical introduction of the designs will effectively extinguish the eddies that form above the discharge nozzles and improve the quality of the castings by forming a well-organized stream of molten metal. **Practical Relevance:** the improvement provides efficient shaping a flow metal in camera tundish and trouble-free operation CCM.

Keywords: continuous casting machine (CCM), tundish, metal flows, modeling.

Ссылка на статью:

Терентьев Д.В., Точилкин В.В. Развитие технологии процесса раливки стали и совершенствование конструкций оборудования промежуточного ковша сортовой МНЛЗ // Теория и технология металлургического производства. 2020. №4(35). С. 25-28.

Terentev D.V., Tochilkin V.V. Developing the steel casting process technology and improving the intermediate bucket equipment design of the billet caster. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2020, vol. 35, no. 4, pp. 25-28.