



УДК 531.43/46

Виктор В. Точилкин¹, З.В. Камалихина¹,

И.В. Котов², Василий В. Точилкин¹

¹ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия

²Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»
г. Москва, Россия

E-mail: toch56@mail.ru

Дата поступления 11.12.2020

РАЗВИТИЕ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ РАЗЛИВКИ СТАЛИ СИСТЕМЫ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫЙ КОВШ - ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОВШ - КРИСТАЛЛИЗАТОР МНЛЗ

Аннотация

В работе представлен анализ конструктивных особенностей и работы узла промежуточного ковша (ПК), обеспечивающего перемещение жидкой стали в кристаллизатор в разливочных устройствах ковша машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Совершенствование оборудования и методик анализа работы конструкций, обеспечивающих продвижение жидкого металла в кристаллизаторы сортовой МНЛЗ обеспечивает рациональное движение жидкого металла и получение заготовок в соответствии с заданными характеристиками. Представлены процессы управления потоками жидкой стали системы ПК - кристаллизатор. Рассмотрено огнеупорное оборудование в указанной системе. Разработка и использование конструкций комплектов обеспечивает эффективное гашение воронки, возникающей над разливочными отверстиями промежуточного ковша, и обеспечивают правильное формирование струй жидкого металла в ПК. Это обеспечило эффективное формирование движения жидкого металла в разливочной камере промежуточного ковша сортовой МНЛЗ и создает условия для повышения качества металла и уменьшения брака непрерывно-литых заготовок.

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

Введение

В составе МНЛЗ важнейший комплект агрегатов и устройств - система промежуточный ковш (ПК) - кристаллизатор [1]. Его особенность - передача жидкой стали в кристаллизатор машины. Отмеченные агрегаты и устройства работают в условиях больших температур жидкого металла и требуют надежного тепло изолирования зеркала металла в ковшах. В условиях возникновения воронок над разливочным отверстием возникает необходимость исключения попадания шлаков в струю металла, перемещающуюся в кристаллизатор. Важнейшее требование к работе комплекта оборудования – выпуск непрерывно-литой за-

готовки с требуемым качеством, для обеспечения получения проката с заданными характеристиками.

Основная часть.

Особенности оборудования для подачи стали в кристаллизатор

Один из определяющих элементов системы – промежуточный ковш, он обеспечивает распределение потоков жидкого металла и удаление неметаллических включений (НВ), перед разливкой стали в кристаллизаторы [2].

На рисунке 1 отмечены конструктивные особенности узла промежуточного ковша, обеспечивающего перемещение жидкой стали в кристаллизатор открытой струей.

В промежуточном ковше важнейшая камера (камеры – в случае многоручьевого ковша), обеспечивающая передачу жидкой стали в кристаллизатор - разливочная [3].

Данное перемещение жидкого металла сопровождается изменением уровня металла над отверстием (отверстиями) ковша.

Важно оценить параметры движения металла, так как в условиях вращательного движения стали над разливочным отверстием промежуточного ковша. При этом в жидкую сталь попадают частицы шлака и в заготовке возникают строчные шлаковые включения.

Поступление шлака в металл, находящийся в кристаллизаторе, приводит к дефектам заготовки [4]: «ромбичности» и т.п., а также разрыву оболочки непрерывно-литой заготовки и последующему прорыву металла в зоне вторичного охлаждения.

Над конструкциями отверстия, обеспечивающего в системе ковш – кристаллизатор подачу жидкой стали в кристаллизатор, движение потоков жидкого металла представляем в виде стабильного вращательного движения. Движение обеспечивается в системе цилиндрических координат r, θ, z . Координата z ориентирована по оси струи стали, перемещающейся из отверстия ковша [5].

Уравнение Бернулли в пространстве движения жидкой стали в ковше можно представить в виде [5]:

$$\frac{p}{\rho g} + z + \frac{v_{\theta}^2}{2g} = const, \quad (1)$$

Дифференцируя данную зависимость по r , получаем:

$$\frac{\partial p}{\partial r} = -\rho v_{\theta} \frac{\partial v_{\theta}}{\partial r}. \quad (2)$$

Анализируя зависимости (1, 2) [5] для вращательного движения жидкой стали над разливочным отверстием промежуточного ковша необходимо сказать, что параметры движения - скорости v_r и v_z практически нулевые, градиент давления в окружном направлении отсутствует, а v_{θ} не зависит от z и

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \rho \frac{v_{\theta}^2}{r}. \quad (3)$$

При анализе зависимостей (2) и (3) можно получить значения для соотношения скорости и радиусов

$$v_{\theta} \cdot r = const. \quad (4)$$

Можно отметить:

- По мере уменьшения радиуса r скорость увеличивается.
- Область контура над разливочным отверстием расположена в рамках радиуса r_m .
- В рамках данного радиуса давление сравнивается с давлением сжимаемой среды, в которой работает ковш.

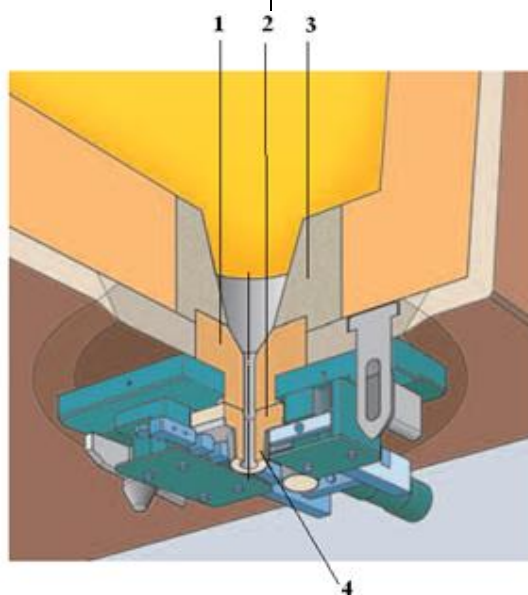


Рисунок 1. Конструктивные особенности узла промежуточного ковша, обеспечивающего перемещение жидкой стали в кристаллизатор:

1- узел ковша; 2 – корпус; 3 – торкрет-масса; 4 – втулка

Верхняя поверхность стали при безвихревом перемещении металла в разливочное отверстие можно представить в виде

$$h = h_0 - \frac{v_0^2}{2g}.$$

где h_0 – номинальный уровень жидкого металла в объеме промежуточного ковша.

В результате изменения площади разливочного отверстия изменяется уровень контура поверхности жидкой стали над разливочным отверстием (см. кривую 2, рисунок 2). На вид контура поверхности в данном случае также влияет движение теплоизолирующей смеси над отверстием ковша.

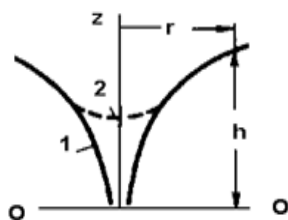


Рисунок 2. Вид движения жидкого металла над разливочным отверстием:

- 1 – верхняя поверхность стали при безвихревом перемещении металла в разливочное отверстие;
- 2 – контур поверхности жидкой стали в результате изменения проходного сечения отверстия; О-О горизонтальная поверхность над разливочным отверстием

Моделирование работы конструкций разливочной камеры ковша

Оценка параметров движения жидкой стали в системе ковш – кристаллизатор выполнена численными методами [4, 5], здесь основное внимание уделено движения жидкости:

- 1. Перемещение жидкого металла по пространству промежуточного ковша;
- 2. Перемещение стали в системе промежуточный ковш – кристаллизатор через конструкции ковша.

Модель включает оценку геометрии конструкций ковша, его разливочного отверстия, уравнения Навье-Стокса для жидкой стали и уравнения неразрывности потока для несжимаемой жидкости [6].

Зависимости для оценки параметров движения жидкого металла:

$$\begin{cases} \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \vec{u}, \\ \rho \nabla \vec{u} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

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

При анализе расчетов приняты следующие положения [7]:

- 1. Удельная масса жидкой стали постоянная.
- 2. Уровень жидкой стали в сталеразливочном ковше максимальный.
- 3. Уровень металла в промежуточном ковше находится на номинальном значении.

С учетом проведенного моделирования разработаны компоновка нового промежуточного ковша и отдельные элементов разливочной камеры [8], обеспечивающих уменьшение воронки вращения металла над разливочным отверстием и исключение разрыва сплошности покровного шлака над сталью в промежуточном ковше. Данные конструкции обеспечивают формирование затопленных потоков стали в объеме воронки вращения над разливочным отверстием.

Заключение

- 1. Выполнен анализ работы оборудования промежуточного ковша, обеспечивающего движение разливаемого металла из камеры ковша в кристаллизатор. В процессе разливки стали, в условиях наличия вращательного движения стали над разливочным отверстием промежуточного ковша, в непрерывно-литой заготовке возникают строчные шлаковые включения. Они возникают в периоды неустановившихся процессов разливки металла: замены сталеразливочного или промежуточного ковшей, окончание периода разливки стали на машине.
- 2. Создано оборудование [8] исключающее формирование воронки вращения

и проникновение строчных шлаковых включений в объем жидкой стали, поступающей в кристаллизатор и далее в зону вторичного охлаждения МНЛЗ. Это значительно уменьшает число дефектов непрерывно-литой заготовки.

Библиографический список

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. Совершенствование конструкций огнеупоров разливочной камеры промежуточного ковша МНЛЗ / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, О. А. Филатова // *Новые огнеупоры*. – 2015. – № 9. – С. 3-7.
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. Vdovin K.N., Tochilkin Vas. V., Filatova O.A, Tochilkin Vik. V. Design and methods for the numerical analyses of the refractory equipment of tundish ladle of a continuous casting machine // *Refractories and Industrial Ceramics*. 2019. Volume 60, No. 4, P. 323–326. DOI. 10.1007/s11148-019-00361-7
7. Проектирование цехов сталеплавильного производства / К.Н. Вдовин, В.Ф. Мысик, В.В. Точилкин, Н.А. Чиченев. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. – 505 с.
8. Пат. 37476 РФ, МПК7 В22D 41/00. Ковш промежуточный для непрерывной разливки металла / В.Ф. Рашников, В.Ф. Дьяченко, К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, В.М. Корнеев, Е.Ю. Мацко, В.С. Климов. Опубл. 27.04.2004. Бюл. № 12.

Information about the paper in English

Viktor V. Tochilkin¹, Z.V. Kamalikhina¹,
I.V. Kotov², Vasily V. Tochilkin¹

¹Nosov Magnitogorsk State Technical University
Magnitogorsk, Russia

²MISIS National University of Science and Technology
Moscow, Russia

E-mail: toch56@mail.ru

Received 11.12.2020

DEVELOPING STRUCTURES FOR CASTING STEEL THROUGH THE LADLE - TUNDISH - CCM MOLD

Abstract

The paper analyzes the design features and operation of the tundish assembly used to transfer liquid steel to the mold in pouring units of the ladle on continuous casting machines (CCM). By improving the facilities and methods of analyzing the operation of units ensuring the liquid steel flow to molds of a billet CCM, we promote a reasonable liquid steel flow and production of billets in compliance with the set parameters. The paper describes processes of controlling liquid steel flows through the tundish – mold. Refractory equipment of the stated system is described. Developing and using structures of sets ensure the efficient dissipation of the swirling effect above the casting openings of the tundish and promote well-organized flows of liquid steel in the tundish. This contributes to the efficient organization of steel flows in the casting chamber of the tundish of the billet CCM and creates conditions to improve the steel quality and reduce the number of rejected concast billets.

Keywords: continuous casting machine (CCM), tundish, mathematical simulation, refractory structures.
