



УДК 621.746.047:669.016.2

В.В. Точилкин, О.А. Филатова
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
г. Магнитогорск, Россия
E-mail: toch56@mail.ru
Дата поступления 27.05.2019

КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ СТАЛИ, МОДЕРНИЗИРУЕМЫХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОВШЕЙ МНЛЗ

Аннотация

Рассмотрено огнеупорное оборудование системы сталеразливочный ковш (СРК) – струя металла (СМ) – промежуточный ковш (ПК) сортовых машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Рассмотрены процессы управления потоками металла. Отмечены особенности конструкции элементов МНЛЗ, которые обеспечивают рациональное прохождение разливаемого металла в системе СРК – СМ - ПК. Это обеспечило эффективное формирование потоков стали в приемной камере промежуточного ковша сортовой МНЛЗ и создало условия для повышения качества металла и уменьшения брака непрерывно-литых заготовок.

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

Введение

Промежуточный ковш (ПК) и его устройства, формирующие потоки течения металла в ковше и истечения его в кристаллизатор - важнейшие технологические элементы машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) [1, 2]. При разливке стали они в значительной степени определяют стабильность процесса, оказывая большое влияние на повышение качества разливаемого металла. Важным показателем, определяющим качество непрерывно-литой заготовки, является содержание неметаллических включений (НВ) в стали. Существует ряд способов, позволяющих повысить чистоту металла по НВ. Один из них - рафинирование стали в ПК [3].

Основная часть

Для этого современные ПК снабжаются оборудованием для регулирования потоков металла. В настоящее время в электросталеплавильном цехе (ЭСПЦ) ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК) функционируют две сортовые пятиручьевые МНЛЗ с расстоянием между ручьями 1250 мм. На введенных в

эксплуатацию машинах используют Т - образный ПК (рисунок 1). В связи с конструктивными особенностями данного ПК затруднено использование типичных рафинирующих устройств, поэтому возникла необходимость в разработке специальных рафинирующих устройств, которые бы создали благоприятные условия для всплытия НВ [4].

Разработан ПК, в конструкциях элементов которого учитываются особенности движения потоков стали в его рабочем пространстве [5]. Разработанные элементы ПК позволяют более эффективно формировать восходящие потоки стали, что и обеспечивало быстрое всплытие НВ и увеличение времени пребывания стали перед истечением из ПК.

На рисунке 2 представлен многогранный огнеупор приемной камеры с выемкой [5].

Металл из сталеразливочного ковша поступает в ПК, где перемещается из приемной камеры в разливочную камеру и далее через разливочные стаканы в кристаллизатор [6, 7]. При поступлении металла в приемную камеру часть его потока перемещается ко дну камеры и через отверстия

многогранного огнеупора поступает в разливочную камеру [8].

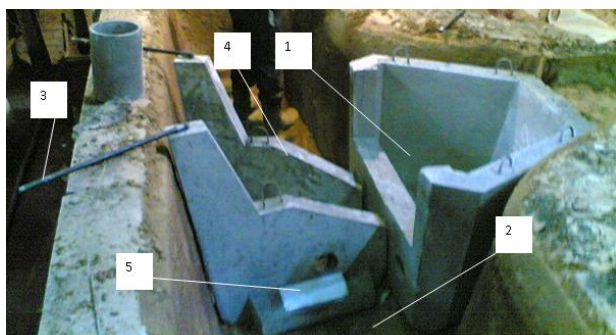


Рисунок 1. Комплект оборудования Т-образного ПК

- 1 – приёмная камера, оснащенная многогранным огнеупором; 2 – разливочная камера; 3 – трубопровод для подачи аргона; 4 – комплект оборудования СРП; 5 – боковой элемент блока

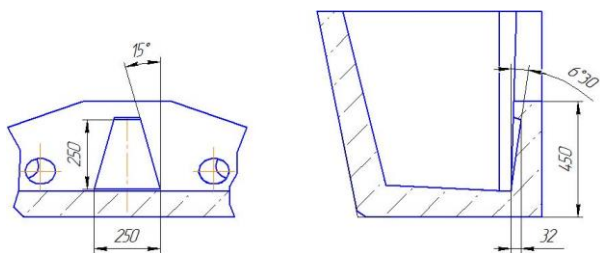


Рисунок 2. Разработанная конструкция многогранный огнеупор приемной камеры с выемкой

Для оценки работы модернизируемого ПК оснащенного многогранным огнеупором с выемкой и определения его рациональных размеров, было проведено моделирование движения потоков стали.

Задачу решали путем математического моделирования [8], при этом был описан и смоделирован процесс движения потоков стали в объеме системы: сталеразливочный ковш – приемная камера ПК.

Математическая модель была основана на уравнении Навье-Стокса для жидкого металла и уравнения неразрывности потока для несжимаемой жидкости [8].

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 объемных 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 допущения [9]:

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

Было проведено математическое моделирование потоков жидкого металла с целью оценки влияния конструкции многогранного огнеупора приемной камеры ПК на движение потоков металла [3, 5].

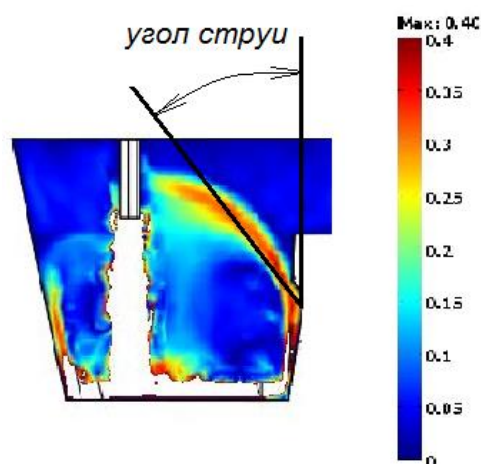
При этом необходимо выполнение условия работоспособности: скорость стали на границе раздела металл-шлак не должна превышать допустимой скорости, т.е.

$$u_i \leq [u_i],$$

где u_i – скорость стали на границе раздела металл-шлак, м/с; $[u_i]$ – допустимая скорость на границе раздела металл-шлак, м/с.

На рисунке 3 представлена картина движения потоков стали в приемной камере ПК, оснащенного многогранным огнеупором.

По результатам моделирования была получена зависимость влияния угла наклона боковых граней выемки на значение максимальной скорости на зеркале металла. График зависимости представлен на рисунке 4. Рациональным значением угла наклона боковых стенок выемки, согласно результатам моделирования, является угол (β) находящийся в диапазоне - $14^\circ \div 17^\circ$, при этом наблюдаются минимальные значения скоростей.



а

б

Рисунок 3. График зависимости угла струи от угла выемки
а - график изменения угла наклона струи, выходящей на поверхность раздела шлак – сталь;
б – картина движения потоков стали в приемной камере ковша

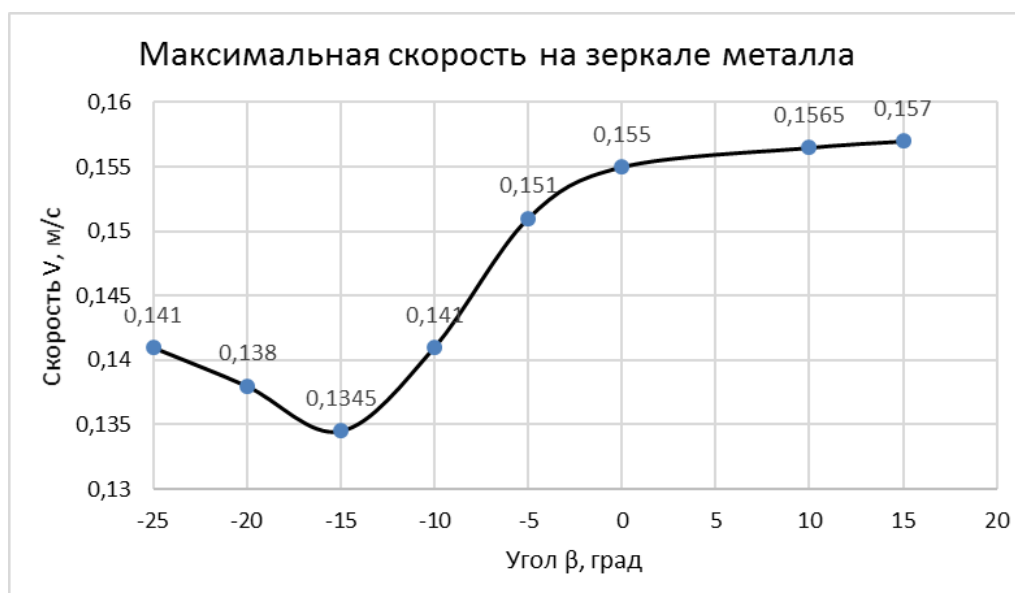


Рисунок 4. График зависимости максимальной скорости U на зеркале металла от угла наклона (β) выемки

Закключение

1. Струя металла из СРК воздействует на боковую поверхность ПК. Это приводит к интенсивному размыву поверхности ПК по всей высоте.
2. Струя металла, поступающая через защитную трубу в приемную камеру ПК, создает скоростные (более 0,2 м/с) вертикальные восходящие и интенсивные боковые потоки металла в сторону борта ПК.
3. В приемной камере ПК наблюдаются потоки металла со скоростью больше

допустимой. Это приводит к захвату НВ на поверхности раздела шлак–сталь приемной камеры и даже оголению зеркала металла.

4. Применение защиты приемной камеры ПК с выемкой, имеющей рационально выбранные углы наклона, позволит снизить воздействие потоков жидкого металла на боковую поверхность ковша и уменьшить скорость потока стали на поверхности сталь-шлак до допустимых значений. Это будет способствовать: снижению размыва торкрет-массы

борта ПК; исключению аварийных ситуаций при разливке стали на МНЛЗ; стабильности процесса непрерывной разливки; повышению качества разливаемой жидкой стали.

Библиографический список

1. Inclusion removal in a tundish by gas dubbing / J. P. Rogler, L. J. Heaslip, M. Mehrvar // Can. Met. Quart. - 2004. - Vol. 43, № 3. - P. 407-415.
2. Оптимизация гидродинамических характеристик промежуточного ковша УНРС с целью удаления экзогенных неметаллических включений / А. В. Куклев, В. В. Тиняков, Ю. М. Айзин [и др.] // Metallurg. - 2004. - № 4. - С. 47-49.
3. 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.
4. Vdovin K. N., Tochilkin V. V., Yachikov I. M. Designing refractories for the tundish of a continuous caster // Refractories and Industrial Ceramics. 2016. Vol. 56. №6. P. 569-573. DOI:10.1007/s11148-016-9889-6
5. Патент на полезную модель 91016 РФ, МПК В22D 41/00. Промежуточный для непрерывной разливки металла / Ушаков С.Н., К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин и др. Заявка 2009137813. Заявл. 12.10.2009; Опубл. 27.01.2019.
6. Разработка конструкции огнеупорных элементов для рафинирования стали при непрерывной разливке / В. В. Числавлев, С. В. Фейлер, Д. В. Бойков и др. // Новые огнеупоры. 2017. № 11. С. 22-26.
7. Gushchin, V. N. Improved tundish refining of steel in continuous-casting machines / V. N. Gushchin, V. A. Ul'yanov // Steel in Translation. - 2017. - Vol. 47, № 5. - P. 320-324. DOI: 10.3103/S0967091217050060.
8. Analysis of the Process of Metal Casting and the Structure of Refractory Equipment of the "Tundish Ladle - Submerged Nozzle - Crystallizer" System of a Section CBCM / Victor V. Tochilkin, O.A. Filatova, V.I. Umnov [et al.] / Refractories and Industrial Ceramics. 2018. Volume 59, No. 1, pp. 6-9.
9. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Технологии современной металлургии. - М.: Новые технологии, 2004. - 784 с.

Information about the paper in English

V.V. Tochilkin, O.A. Filatova

Nosov Magnitogorsk State Technical University
Magnitogorsk, Russian Federation

E-mail: toch56@mail.ru

Received 27.05.2019

DESIGN OF STEEL DISTRIBUTION SYSTEM COMPONENTS IN RETROFITTED CONTINUOUS CASTER TUNDISH LADLES

Abstract

This paper examines the refractory components of the system Ladle – Metal Stream – Tundish Ladle of continuous billet casters and how to manage the metal streams in it. The authors point out certain design components of continuous casters that ensure efficient passage of metal through the above system. This ensured efficient forming of metal streams in the inlet chamber of the tundish and creates conditions for steel quality enhancement and a lower rejection rate among continuously cast billets.

Keywords: continuous caster, ladle, tundish ladle, metal streams, mathematical modelling, refractory structures.
