

УДК 621.746.047:669.054.2

РАЗВИТИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ**Точилкин Викт.В., Камалихина З.В., Точилкин Вас.В., Филатова О.А.***ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: toch56@mail.ru*

Постановка задачи (актуальность работы): в статье рассматриваются конструкции оборудования промежуточного ковша машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), работающего в системе: сталеразливочный ковш – промежуточный ковш МНЛЗ. Созданы конструкции оборудования приемной и разливочной камер ковша с использованием расположенных на стенках порогов отверстий. Их наличие обеспечивает заданную ориентацию затопленных струй жидкой стали в процессе поступления металла из сталеразливочного ковша в промежуточный и последующего истечения жидкого металла в кристаллизатор. Совершенствование оборудования системы обеспечивает рациональное расположение затопленных струй стали в разливочной камере промежуточного ковша (ПК). Целью работы стало совершенствование конструкций и методики выбора конструкций оборудования отдельных элементов системы, используя результаты математического и физического моделирования, для обеспечения стабильности процесса работы машины непрерывного литья заготовок в целом, а также отдельных ее агрегатов и узлов. Новизна: впервые приведена и рассмотрена схема для выполнения физического и математического моделирования для условий приемной и разливочной камер пятиручьевого промежуточного ковша, обеспечивающая в процессе анализа выбор рациональной конструкции оборудования. Результат: в статье разработаны основные положения конструирования в системе сталеразливочный ковш – промежуточный ковш на основе результатов физического и математического моделирования. Практическая значимость: выполненные разработки позволили создать рациональные конструкции промежуточного ковша. В результате обеспечивается стабильность процесса в системе оборудования МНЛЗ и повышение качества изготавливаемых изделий.

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

DEVELOPMENT OF STRUCTURES OF THE TUNDISH OF THE CONTINUOUS CASTING MACHINE BASED ON MODELING**Tochilkin Vikt.V., Kamalikhina Z.V., Tochilkin Vas.V., Filatova O.A.***Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk. e-mail: toch56i@mail.ru*

Problem statement (relevance of work): the article deals with the design of the equipment of the tundish of the continuous casting machine (CCM) operating in the system: steel-filling ladle – tundish of CCM. The designs of the equipment of the receiving and filling chambers of the bucket have been created using holes located on the walls of partitions and thresholds, ensuring the orientation of flooded steel jets in the process of steel flow from the steel-filling ladle to the intermediate and the subsequent outflow of liquid metal into the crystallizer. Improvement of the equipment of the system ensures the rational location of flooded steel jets in the filling chamber of the tundish hand further in the crystallizer. The purpose of the work: Development of equipment designs of individual elements of the system, using the results of mathematical and physical modeling, to ensure the stability of the CCM operation process and improve the quality of manufactured cast blanks. The purpose of the work: Development of equipment designs of individual elements of the system, using the results of mathematical and physical modeling, to ensure the stability of the CCM operation process and improve the quality of manufactured cast blanks. Novelty: for the first time, a scheme for performing physical and mathematical modeling for the conditions of the receiving and filling chambers of the five stream tundish has given and considered, which ensures the choice of a rational equipment design during the analysis. Result: the article develops the main design provisions in the system of steel filling bucket – tundish of CCM based on the results of physical and mathematical modeling. Practical significance: The completed developments made it possible to create rational designs for an tundish and a crystallizer. As a result, the stability of the process in the CCM equipment system and the improvement of the quality of manufactured products are ensured.

Keywords: continuous casting machine (CCM), tundish (TS), mathematical modeling, physical modeling, refractory structures

На металлургических предприятиях в последние годы проводят реконструкцию действующих технологических комплексов или сооружают новые, используя современные разработки, в частности, промежуточных ковшей и кристаллизаторов машин непрерывного литья заготовок. Важнейшей частью МНЛЗ является анализ специфики технологии производства, разработка и совершенствование элементов системы МНЛЗ: сталеразливочный ковш – промежуточный ковш – кристаллизатор [1]. В мо-

мент начала разливки жидкого металла отмеченная система агрегатов и узлов должна обеспечивать устойчивое начало разливки жидкой стали и защиту оборудования от потоков открытых струй стали [2].

Цель исследования – совершенствование конструкций и методики выбора конструкций оборудования отдельных элементов системы, используя результаты математического и физического моделирования, для обеспечения стабильности процесса работы машины непрерывного литья

заготовок в целом, а также отдельных ее агрегатов и узлов.

Материалы и методы исследования

В системе машины непрерывного литья заготовок определяющую роль выполняют агрегаты, обеспечивающие продвижение жидкого металла [3]. Они служат в конечном итоге одной цели – транспортированию стали через разливочные отверстия промежуточного ковша в кристаллизаторы [4]. Использование сложных комплексов оборудования промежуточного ковша и других агрегатов системы приводит к значительным затратам на подготовку комплекса МНЛЗ к разливке жидкой стали. Применение рациональных конструкций системы машин непрерывного литья заготовок требует проведения физического и математического моделирования [5]. Выполнено большое число работ для определения характера движения потоков жидкого металла в промежуточных емкостях [6]. В этих статьях рассматривались вопросы математического моделирования с использованием решений двумерных уравнений движения – уравнений Навье – Стокса с учетом турбулентного характера движений [7]. Основное направление работ – получение данных о направлениях движения потоков стали, о виде полей скоростей и оценке их величин с данными результатов измерений, проведенных как в лабораторных условиях при физическом моделировании, так и в условиях действующих машин непрерывного литья заготовок [4]. Различие между теоретическими предсказаниями и результатами экспериментальных исследований в системах в условиях начала разливки требует проведения экспериментальных исследований в условиях физического моделирования [7].

С учетом особенностей работы конструкций оборудования для движения жидкого металла определены необходимые условия для проведения физического и математического моделирования [4]:

– Разрабатывается конструкция оборудования сталеразливочного ковша для подачи металла из него [2]. Используется комплект в виде защитной трубы с необходимым уплотнением и система подачи защитного газа – аргона. Особое внимание здесь уделяется конструкции уплотнения, определяющего рациональное прохождение жидкого металла в промежуточный ковш без насыщения газами, в частности азотом.

– Уточняются параметры защитного газа – аргона, подаваемого в защитную трубу и конструкции узла уплотнения между защитной трубой и оборудованием разливочного отверстия сталеразливочного ковша [5].

– Представляется компоновка приемной камеры промежуточного ковша. При этом уточняются параметры разрабатываемых новых изделий с учетом габаритов модели промежуточного ковша, представленного на стенде для физического моделирования (рис. 1). В данном случае определяются параметры подаваемой жидкой стали в приемную камеру промежуточного ковша: температура; уровень стали в промежуточном ковше при номинальном режиме; аварийный уровень и т.п. [8].

– Определяются основные уравнения для проведения математического моделирования: движения жидкой стали, неразрывности потока жидкого металла, а также граничные и начальные условия.

– Результаты математического моделирования (рис. 2) позволяют вносить изменения в конструкцию моделей деталей и узлов, устанавливаемых в макете ковша для физического моделирования.

Результаты исследования и их обсуждение

В процессе оценки результатов математического и физического моделирования определили, что для промежуточного ковша многоручьевых машин непрерывного литья заготовок с несимметричным расположением приемной камеры (рис. 1) характерно:

1. В приемной камере промежуточного ковша, при разливке открытой струей из сталеразливочного ковша, формируются скоростные потоки металла (более 0,2 м/с) [9]. Это приводит к интенсивному захвату неметаллических включений (НВ) на поверхности металла и последующему затягиванию НВ в металл, а также оголению зеркала металла в приемной камере.

2. Наибольшие скорости потоков металла при номинальном режиме разлива обнаружены в приемной камере промежуточного ковша в местах выхода боковых стенок ковша в районе дна и стыка дно – борт промежуточного ковша.

Анализ особенностей работы системы СРК – открытая струя – промежуточный ковш многоручьевой сортовой МНЛЗ показал:

– Специфику наполнения открытой струей промежуточного ковша многоручьевой сортовой машины с интенсивными скоростными потоками (скорости выше допустимых) по дну приемной камеры и боковым поверхностям – бортам промежуточного ковша, прилегающим ко дну приемной камеры, в начальный период разливки стали из сталеразливочного ковша, а также особенности воздействия скоростных потоков жидкого металла по мере наполнения приемной камеры и внутреннего объема ковша до номинального уровня.

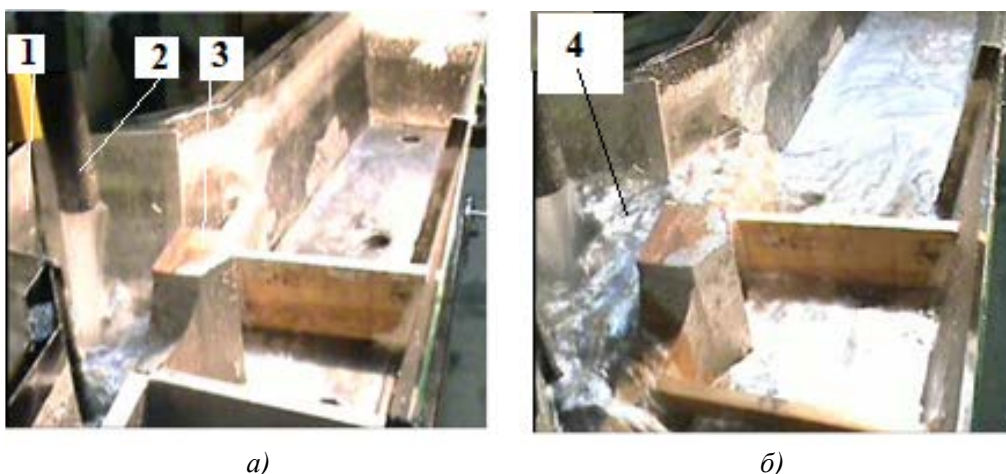


Рис. 1. Компонка модели комплекта оборудования приемной и разливочной камер ПК на стенде для физического моделирования: защитная труба сталеразливочного ковша – конструкции промежуточного ковша: а – подача рабочей жидкости в приемную камеру ковша; б – распределение рабочей жидкости в рабочем пространстве ковша по разливочным камерам; 1 – приемная камера; 2 – защитная труба; 3 – порог приемной камеры; 4 – заполнение жидкостью приемной камере ковша

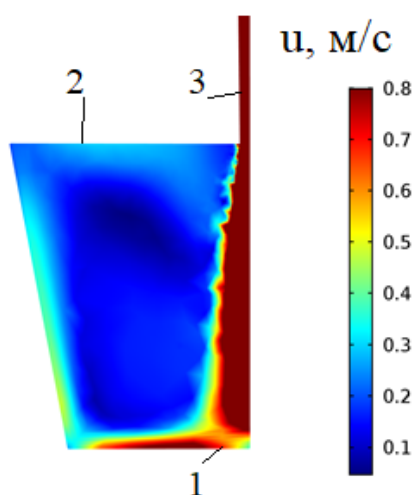


Рис. 2. Картина распределения скоростей при подаче стали в приемную камеру промежуточного ковша открытой струёй из сталеразливочного ковша: 1 – бойное место промежуточного ковша; 2 – верхний уровень стали; 3 – поток металла из сталеразливочного ковша

– Для защиты дна промежуточного ковша и внутренних покрытий боковых стенок, выполненных в виде специально нанесенной торкрет-массы, необходимо применение специальных защитных устройств (рис. 3). Это позволит исключить аварийные ситуации в момент начала разливки и воздействие скоростных струй стали на оборудование ковша. Применение защитных устройств позволит исключить прямое воздействие на дно приемной камеры ковша и соответствующий стык дна и боковых поверхностей.

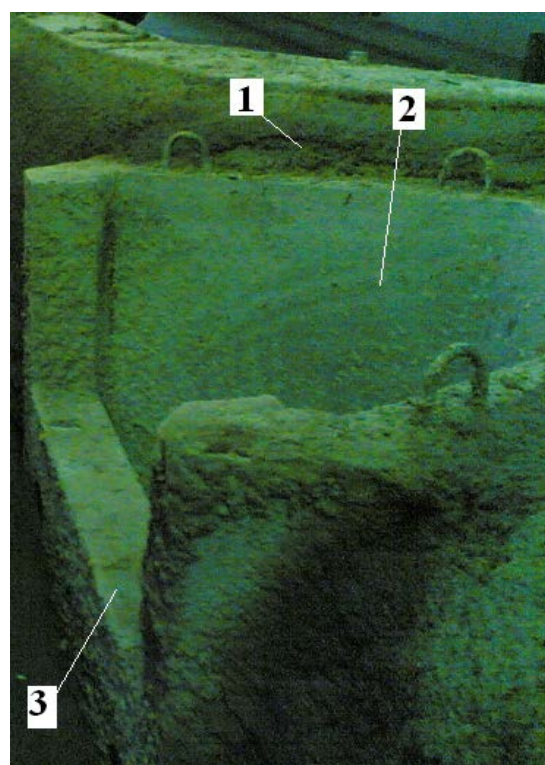


Рис. 3. Модуль для защиты приемной камеры при подаче стали в приемную камеру промежуточного ковша: 1 – борт приемной камеры; 2 – защитное устройство; 3 – порог для защиты разливочного отверстия

– Из-за наличия скоростных потоков металла, направленных в сторону разливочного отверстия ПК, необходимо использовать на границе приемной и разливочных камер

конструкции, защищающие разливочное отверстие ковша от интенсивных скоростных потоков из приемной камеры.

– Устройство для защиты в приемной камере должно иметь компактные формы в виде законченного модуля, полностью выполняющего отмеченные требования по защите оборудования промежуточного ковша от скоростных струй жидкого металла, интенсивно перемещающихся по дну ковша в начальный период разливки.

На основании анализа картины проведенных исследований по физическому и математическому моделированию создана конструкция (рис. 3) защитного модуля [9].

Комплект оборудования представляет собой компактный монолитный объект, устанавливаемый в приемной камере на границе центральной разливочной камеры. Он обеспечивает:

– Защиту борта 1 (рис. 3) приемной камеры ковша благодаря использованию защиты 2, установленной до уровня аварийного слива жидкого металла.

– Применение порога 3 обеспечивает защиту разливочного отверстия центрального ручья от интенсивных придонных течений со скоростями более 0,2 м/с. В пороге выполняют специальные переливные отверстия. Они обеспечивают формирование затопленных струй стали в период работы машины в номинальном режиме, а также обеспечивают максимальный слив жидкого металла в конце периода разливки.

Выводы

1. Рассмотрена специфика работы системы сталеразливочный ковш – промежуточный ковш МНЛЗ в периоды разливки стали: при начальном периоде разливки стали – при его наполнении и номинальный режим – при полностью наполненном промежуточном ковше и открытых разливочных отверстиях. Определено, что для эффективной разливки жидкого металла в начале разливки и далее в номинальном режиме работы МНЛЗ необходимо применение рациональных конструкций [10] по защите оборудования от скоростных потоков жидкого металла [5].

2. В целях выбора рациональных защитных конструкций ПК проведено математическое и физическое моделирование, позволившее разработать основные элементы конструкций промежуточного ковша, защитной трубы сталеразливочного ковша и других элементов системы сталеразливочный ковш – промежуточный ковш, требующих модернизации.

3. Разработана конструкция защиты приемной камеры промежуточного ковша в виде законченного модуля, компактно расположенного в приемной камере. Модуль выполнен в виде прилегающего контура стенок к бортам приемной камеры. Особое внимание уделено компоновке дна модуля. Толщина дна модуля выполняется с учетом длительности работы промежуточного ковша на машине непрерывного литья заготовок, количества разливаемых сталеразливочных ковшей в конкретной серии, а также параметров сталеразливочного ковша, в частности уровня стали в сталеразливочном ковше перед началом разливки. На границе приемной и разливочных камер ковша в данном модуле выполнен порог для защиты разливочных отверстий в момент начала разливки стали [9].

Список литературы

- Guschin V.N., Ulyanov V.A. Improved tundish refining of steel in continuous-casting machines. *Steel in Translation*. 2017. Vol. 47. No. 5. P. 320–324.
- Еротько С.П., Понамарева Е.А., Цысмистро Е.С. Разработка вибрационной системы снижения интенсивности процесса затягивания выпускного канала сталеразливочного ковша // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2021. № 2. С. 165–174.
- Сотников А.Л., Стриченко С.М., Киреев В.М., Фоменко Ю.В. Состояние и перспективы совершенствования оборудования сортовых МНЛЗ // *Сталь*. 2020. № 10. С. 7–16.
- Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Марочкин О.А., Умов В.И. Новые вставки из пластичных огнеупоров для защиты струи металла при разливке на МНЛЗ // *Новые огнеупоры*. 2014. № 7. С. 41–43.
- Solorio-Diaz G., Morales R.D., Barreto J. de J., Vergara-Hernandez H.J., Ramos-Banderas A., Galvan S.R. Numerical Modelling of Dissipation Phenomena inside a New Ladle Shroud for Fluidynamic Control and its Effect on Inclusion Removal in a Slab Tundish. *Steel Research International*. 2014. Vol. 85. No. 5. P. 863–874.
- Протопопов Е.В., Числавлев В.В., Темлянец В.В., Головатенко А.В. Повышение эффективности рафинирования рельсовой стали в промежуточных ковшах МНЛЗ на основе рациональной организации гидродинамических процессов // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2020. Т. 63. № 5. С. 298–304.
- Vdovin K.N., Tochilkin V.V., Yachikov I.M. Designing refractories for the tundish of a continuous caster. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2016. T. 56. No. 6. P. 569–573.
- Еротько С.П., Стародубцев Б.И., Понамарева Е.А., Цысмистро Е.С. Разработка новой конструкции и модельные исследования функционирования катапульты для ковшевого затвора // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2021. № 5. С. 540–546.
- Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Добрынин С.М., Мельничук Е.А., Точилкин В.В. Конструкции и расчет металлоприемника промежуточного ковша симметричной многоручьевой МНЛЗ // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2019. Т. 17. № 3. С. 25–30.
- Sotnikov A.L., Sholomitskii A.A. Monitoring alignment of mold oscillatory motion with CCM process stream axis. *Metallurgist*. 2017. Vol. 60. No. 9/10. P. 1046–1053.