

УДК 621.967.3

д.т.н. Еронько С. П., Цыхмистро Е. С.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР),
к.т.н. Вишневский Д. А., Иваненко А. С.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОПОРНОЙ РАЗЛИВОЧНОЙ СИСТЕМЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША МНЛЗ

Представлены результаты модельных исследований стопорной системы промежуточного ковша МНЛЗ, позволившие разработать усовершенствованную конструкцию узла крепления ее керамического стопора-моноблока, который позволяет минимизировать концентрации напряжений в зоне сопряжения несущего металлического стержня с верхней частью огнеупорного элемента и тем самым повысить надежность его работы, а также упростить выполнение операций, связанных с подготовкой устройства к началу разливки.

Ключевые слова: *промежуточный ковш, стопорная разливочная система, огнеупорный моноблок, узел крепления, концентрация.*

Разработка нового оборудования для реализации прогрессивных технологий, обеспечивающих повышение качества и снижение себестоимости выпускаемой металлопродукции, является приоритетным направлением развития сталеплавильного производства в современных условиях. Особое внимание при этом уделяется процессу непрерывной разливки стали. Уровень достигаемых показателей эффективности процесса получения непрерывнолитой заготовки во многом определяется производительностью действующих и вводимых в эксплуатацию МНЛЗ. Существенного повышения производительности машин непрерывного литья заготовок можно достичь за счет увеличения числа плавок, разливаемых без остановки машины [1, 2]. Рост серийности непрерывной разливки стали ужесточает требования как к промежуточному ковшу, так и к устройствам, которыми он оборудован. Получивший распространение в отечественной и зарубежной практике способ регулируемого перелива стали из промежуточного ковша в кристаллизаторы, основанный на применении стопорных систем, требует дальнейшего совершенствования с целью повышения стабильности их функционирования [3].

Как известно, стопорная система промежуточного ковша МНЛЗ, схематично показанная на рисунке 1, включает огнеупорный моноблок, посредством резьбового соединения закрепленный на конце консоли, которая жестко связана с подвижной стойкой, имеющей возможность вертикального возвратно-поступательного перемещения с помощью специального привода при работе в автоматическом режиме. В случае необходимости система переводится на ручное управление с использованием реечного или рычажного механизмов [4].

В условиях разливки стали на современных МНЛЗ большими сериями промежуточные ковши оборудованы стопорными системами зарубежных производителей «Ставерма» (Германия), «Фосеко» (Великобритания), «Везувиус» (Бельгия). Достижимые при их использовании показатели серийности непрерывной разливки значительно разнятся, причиной чему является действие целого ряда факторов, требующее детальной проработки конструктивного исполнения всех узлов стопорных систем и изучения условий их эксплуатации. Установлено, что наиболее уязвимым элементом стопорной системы промежуточного ковша является огнеупорный моноблок. Как пока-

зали результаты выполненного анализа данных о надежности стопоров-моноблоков, поставляемых ведущими зарубежными фирмами, частые поломки керамического

элемента связаны с высокими напряжениями, действующими в зоне запрессовки крепежных гаек в теле огнеупорного изделия и вызывающими его растрескивание (рис. 2).

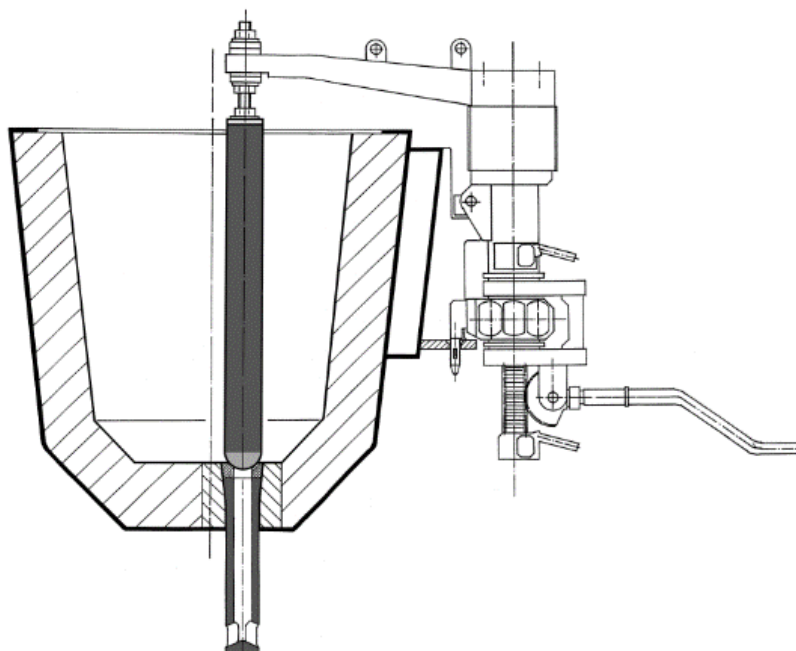


Рисунок 1 Схема стопорного разливочного устройства промежуточного ковша МНЛЗ



Рисунок 2 Разрушение огнеупорного стопора-моноблока в зоне узла

Сами гайки из-за конструктивных особенностей их формы (рис. 3) являются источниками концентраций напряжений. Наряду с этим в случае несовпадения продольных осей огнеупорного моноблока и выпускного канала промежуточного ковша при работе разливочной системы возникают силы, также способствующие преждевременному выходу из строя керамического элемента [4]. Поэтому в состав последних модификаций стопорных систем были введены дополнительные винтовые механизмы, обеспечивающие возможность регулировки относительного положения контактных поверхностей стакан-дозатора и стопора-моноблока путем перемещения всего разливочного устройства в горизонтальной плоскости в нужном направлении. Следует отметить, что такое конструктивное решение повлекло заметное увеличение массы стопорной системы.

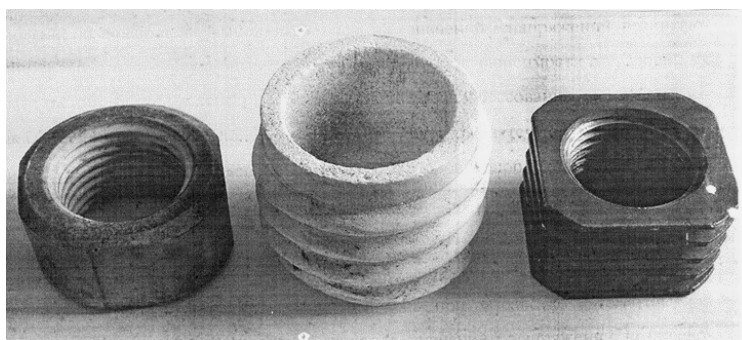


Рисунок 3 Конструктивное исполнение гаек узла крепления стопоров-моноблоков, производимых зарубежными фирмами

В данной работе поставлена задача, направленная на повышение надежности узла крепления огнеупорного моноблока стопорной системы промежуточного ковша МНЛЗ за счет минимизации концентраций напряжений в зоне размещения фиксирующих элементов в теле керамического стержня, а также упрощение регулировки его положения относительно продольной оси сталевыпускного канала.

Для качественной сравнительной оценки уровня концентрации напряжений в зоне узла крепления стопоров-моноблоков различного конструктивного исполнения использовали поляризационно-оптический метод, основанный на свойстве большинства прозрачных изотропных материалов приобретать под действием напряжений (деформаций) способность двойного лучепреломления. С этой целью из оптически активного материала (органического стекла) изготовили плоские модели стопоров-моноблоков, в узлах крепления которых использованы гайки, отличающиеся наружной формой (рис. 4). Указанные образцы плоских моделей поочередно закрепляли на консоли действующей натурной модели стопорной системы промежуточного ковша, которую затем размещали между двумя поляроидами поляризационной установки. В этом случае ближний к источнику света поляроид являлся поляризатором, а дальний — анализатором. Во время просвечивания плоских моделей стопоров-моноблоков при взаимно перпендикуляр-

ном расположении плоскостей поляризации поляризатора и анализатора были видны изоклины — темные линии, соединяющие на изображении модели точки, в которых направления главных напряжений одинаковы. Полученные картины свидетельствуют о заметном влиянии конструкции крепежных элементов на концентрацию напряжений в зоне их размещения. Росту указанных напряжений в момент перекрытия выпускного канала промежуточного ковша способствует также несовпадение продольных осей моноблока и стакана-дозатора. С учетом вышеизложенного при разработке усовершенствованной стопорной системы предусматривались две новации, связанные с модернизацией элементов крепления с несущим стержнем огнеупорного блока и обеспечением возможности регулировки его положения относительно канала стакана-дозатора промежуточного ковша.

В качестве прототипа при разработке усовершенствованной стопорной системы промежуточного ковша МНЛЗ для соединения огнеупорного блока с несущим стержнем выбран вариант, предложенный сотрудниками кафедры механического оборудования заводов черной металлургии Донецкого национального технического университета и позволяющий в значительной мере сократить число концентраторов напряжений в зоне сопряжения крепежных элементов с огнеупорной частью. Конструкция данной системы схематично пока-

зана на рисунке 5. Она включает вертикальный цилиндрический стержень 2, который посредством наружной резьбы связан с прижимной гайкой 3, опирающейся на шайбу 4, расположенную на поверхности верхнего торца стопора моноблока 1 (рис. 5, а). В верхней части корпуса огнеупора запрессована металлическая

вставка 5, имеющая форму полого усеченного конуса. Внутри конуса расположена нижняя часть разрезной втулки 6, связанной своей верхней частью с шайбой 4. В свою очередь, нижняя часть вертикального стержня выполнена в виде конического хвостовика 7, размещенного в разрезной втулке, как показано на рисунке 5, б.

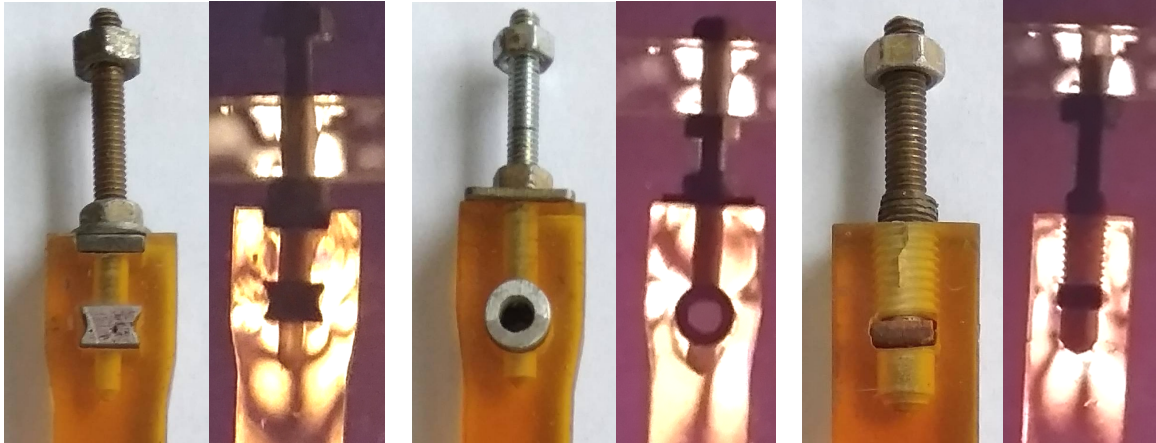


Рисунок 4 Картины распределения полей напряжений в узлах крепления моделей стопоров-моноблоков различного конструктивного исполнения

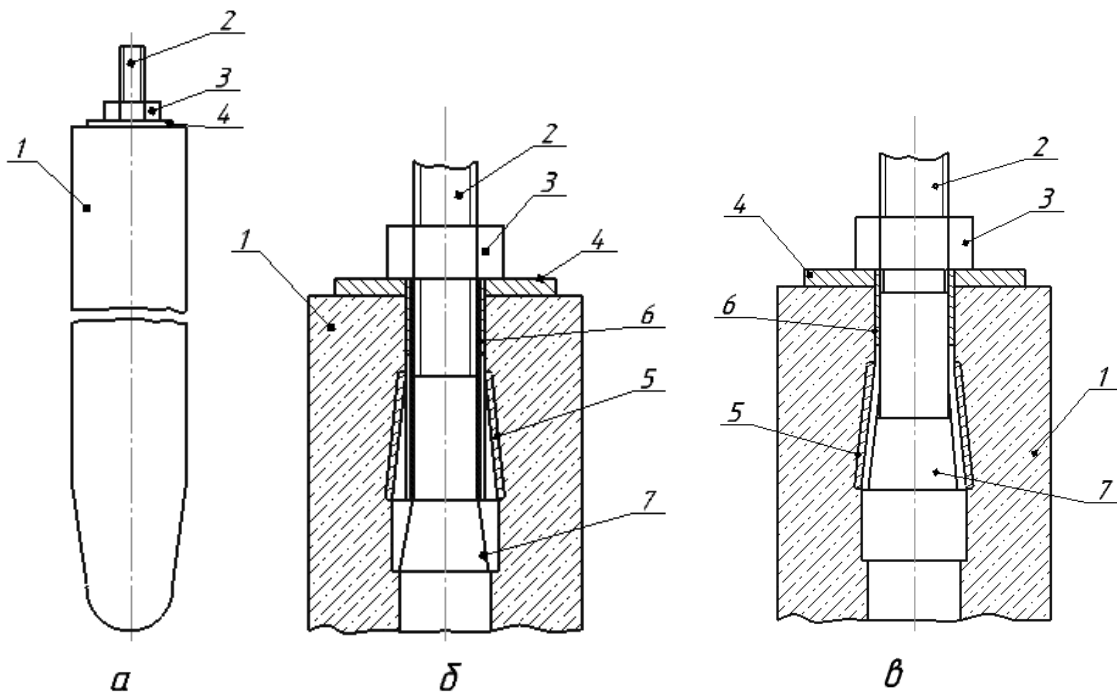


Рисунок 5 Конструктивная схема предложенного узла крепления стопора-моноблока

Сборку стопора-моноблока осуществляют в следующей последовательности. Предварительно разрезную втулку 6 с металлической шайбой 4 надевают на вертикальный цилиндрический стержень 2 и навинчивают гайку 3 до тех пор, пока нижний конец разрезной втулки не установится на уровне верхнего основания конического хвостовика стержня 7. После этого нижнюю часть стержня вводят в полость металлической вставки 5 до упора шайбы 4 в верхний торец корпуса 1 стопора-моноблока. Удерживая от проворота стержень 2, на его резьбовую часть навинчивают гайку 3. При этом стержень 2 перемещается вверх относительно корпуса стопора-моноблока 1, в результате чего его конический хвостовик 7 разводит лепестки нижней части разрезной втулки 6, что обеспечивает расклинивание металлической вставки 5 и фиксацию стержня 2 относительно корпуса 1 стопора-моноблока (рис. 5, в). После завершения разливки узел можно разобрать в обратном порядке и затем повторно использовать в комплекте с новым огнеупорным элементом [5].

Как уже отмечалось, возникновение в теле огнеупорного моноблока предельно опасных напряжений часто возникает из-за

дефектов сборки стопорной системы, обусловленных несовпадением продольной оси огнеупорного изделия с осью канала стакана-дозатора промежуточного ковша. Для устранения действия указанного фактора за счет обеспечения возможности регулировки положения стопора-моноблока относительно сталевыпускного канала была разработана новая конструктивная схема соединительного узла стопорной системы. На рисунке 6 схематично показан модернизированный узел крепления стопора-моноблока к консоли разливочного устройства. Он включает горизонтальный резьбовой штырь 4, снабженный вилкой 5 и имеющий возможность относительного перемещения вдоль несущей консоли 2, а также фиксации в нужном положении с помощью двух гаек 1 и 3. Внутри вилки размещен вкладыш 7 с подшипниковой втулкой, который может поворачиваться относительно вертикального пальца 8 на угол 30° в обоих направлениях. Такое движение вкладыша обеспечивается благодаря выполненному на нем сектору в виде фрагмента червячного колеса, находящегося в зацеплении с червяком 6, горизонтально размещенным в двух опорах перпендикулярно продольной оси резьбового штыря 4.

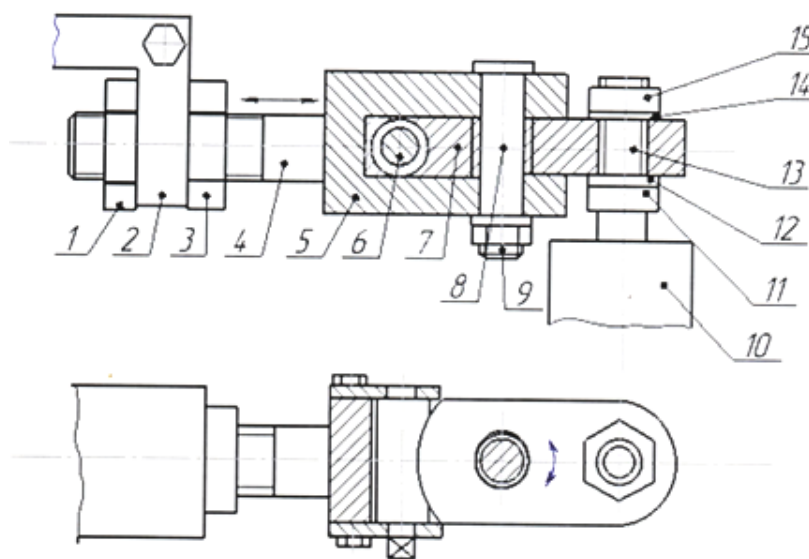


Рисунок 6 Конструктивная схема устройства регулирования положения огнеупорного моноблока относительно выпускного канала промежуточного ковша МНЛЗ

Для вращения червяка одна из его опорных цапф снабжена хвостовиком с лысками под ключ. Вертикальный палец 8 зафиксирован относительно вилки 5 с помощью гайки 9. В теле вкладыша 7 имеется отверстие для вертикального резьбового стержня 13, несущего огнеупорный моноблок 10. Положение стержня 13 относительно вкладыша 7 осуществляется с помощью двух гаек 11 и 15, а также шайб 12 и 14.

Данное конструктивное исполнение узла крепления огнеупорного моноблока позволяет во время подготовки стопорной системы к разливке осуществлять регулировку положения огнеупорного элемента относительно стакана-дозатора благодаря возможности последовательного перемещения в двух направлениях. Осуществляя поступательное и поворотное движения вертикального огнеупорного элемента относительно продольной оси сталевыпускного канала промежуточного ковша во время настройки разливочной системы, можно исключить возникшие в ней перекосы, отрицательно влияющие на напряженно-деформированное состояние ее деталей.

С целью сопоставительной проверки работоспособности усовершенствованного узла крепления стопора-моноблока с соблюдением условий геометрического подобия в масштабе 1:2,5 изготовили три натуральных модели керамических элементов.

В качестве исходного материала использовали огнеупорную бетонную массу, которую предварительно увлажняли, добавляя 5 % воды, тщательно перемешивали, а затем засыпали в подготовленную прозрачную пластиковую форму, в которой соосно была закреплена металлическая трубка для формирования центрального сквозного канала в стержне стопора-моноблока.

В первой модели моноблока над верхней частью трубки размещена стальная полая коническая вставка, а в двух других — соответственно стальные круглая и шестигранная гайки.

Заполненную огнеупорным материалом форму подвергали воздействию вибрации.

Для возбуждения вибрации использовали дебалансный вибратор. Оптимальную частоту и продолжительность вибрирования устанавливали опытным путем. При этом в соответствии с рекомендациями, приведенными в работе [6], применили двухстадийную вибрационную обработку. На первой (начальной) стадии продолжительностью 3 минуты частота вибрации была меньше (~60 Гц), что способствовало лучшей укладке крупных частиц, а завершение обработки проводили при частоте 150 Гц для укладки мелких частиц.

Благодаря ослаблению внутреннего трения в бетонной массе, за счет вибрационного воздействия на нее по указанной схеме, создавали благоприятные условия для равномерной и плотной укладки частиц огнеупорного материала при отсутствии на него давления, в результате чего формирующийся стопор-моноблок приобретал структуру, не обладающую анизотропией свойств.

Режим сушки сформированного стержня был следующим. Первые 24 часа форму с уплотненной бетонной массой выдерживали при комнатной температуре, после чего полученный стержень извлекали из пластиковой оболочки и подвергали сушке в муфельной печи при температуре 800 °С в течение 6 часов с последующим охлаждением с печью до температуры окружающей среды.

В соответствии с полученными присоединительными размерами верхней части первой натурной модели огнеупорного блока (рис. 7, а) изготовили металлические элементы его крепления (рис. 7, б), после чего осуществили сборку каждой из трех моделей стопоров-моноблоков (рис. 7, в).

По плану эксперимента провели силовые испытания узла крепления моделей стопора-моноблока на специально подготовленном контрольно-измерительном стенде, включавшем металлическую раму, силовой винтовой механизм, месдозу и усилитель переменного тока с показывающим прибором для фиксации значений аналогового сигнала (рис. 8).

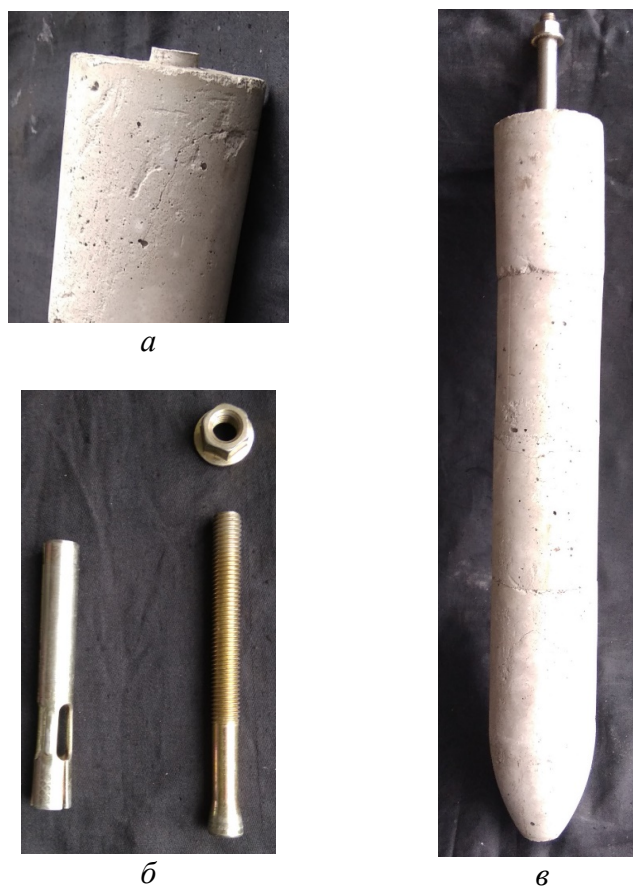


Рисунок 7 Верхняя часть огнеупора с металлической вставкой (а); гайка, разрезная втулка и стержень (б); моноблок в собранном виде (в)

Месдоза конструктивно представляла собой полый стальной цилиндр, на наружной поверхности которого с помощью специального клея закреплены четыре фольговых тензодатчика, соединенных по мостовой схеме. Причем два из них размещены вдоль образующей цилиндра и являлись рабочими, а два других — в кольцевом направлении, т. е. служили для температурной компенсации моста сопротивлений.

Перед проведением экспериментов предварительно осуществили тарировку месдозы. Для этого ее размещали на столе винтового пресса и подвергали действию нагрузки, передаваемой через динамометр, снабженный стрелочным индикатором. По показаниям индикатора и соответствующим им значениям аналогового сигнала, регистрируемого электрическим прибором, построили график тарировочной зависимости.

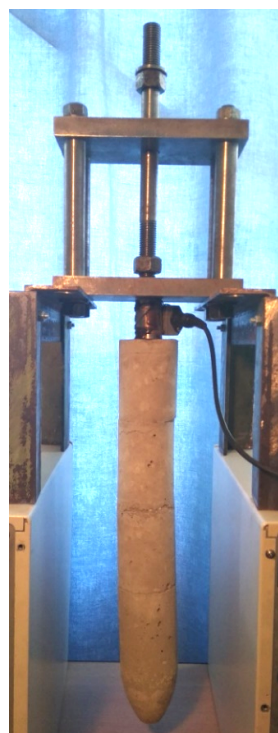
Результаты испытаний, в ходе которых осуществляли визуальный контроль состояния верхних частей моделей огнеупорного моноблока в зоне размещения узла его крепления к несущему металлическому стержню, позволили установить значения осевой силы, при которых наблюдалось образование трещин на корпусе керамического элемента.

Благодаря тому, что у модернизированного узла крепления моноблока раскливающие усилия, возникающие во время навинчивания гайки на резьбовой хвостовик несущего стержня, воспринимаются полый металлической вставкой в форме усеченного конуса и не передаются в радиальном направлении на охватывающую ее огнеупорную часть, а также отсутствию на внешней поверхности самой вставки острых ребер удалось уменьшить напря-

жения в теле керамического элемента и в итоге повысить его надежность. В пользу этого свидетельствует то, что разрушение верхней части модели моноблока, снабженного новой конструкцией узла его крепления к несущему металлическому стержню, происходило при значении осевой силы, достигшем 3100 Н, а у моделей моноблока с крепежными элементами в виде круглой и шестигранной гаек трещины на корпусе появились соответственно при осевой силе в 2650 Н и 2300 Н, т. е. меньшей в 1,17–1,35 раза в сравнении с опытным образцом.

Для оценки условий функционирования в целом всей разработанной стопорной системы по методике, приведенной в работе [7], рассчитали, спроектировали и изготовили в масштабе 1:2,5 действующую натурную модель (рис. 9, а), которая позволяла выполнять в реальном виде регулировочные операции, предусмотренные при подготовке к работе промышленного об-

разца разливочного устройства. В качестве наглядного примера на рисунке 9, б в плане показаны различные положения модели стопора-моноблока, которые можно обеспечить благодаря червячному механизму, входящему в состав предложенной стопорной системы. Следует отметить, что указанную регулировку на известных зарубежных аналогах осуществляют с помощью винтовых механизмов путем перемещения всей стопорной системы относительно сталевыпускного канала промежуточного ковша. Таким образом, усовершенствования, внесенные в конструкцию структурных элементов разливочной системы стопорного типа, позволяют повысить ее надежность в работе за счет сокращения числа механических поломок керамического моноблока, а также облегчить обслуживание и эксплуатацию, поскольку при настройке механизма исключается использование громоздких регулировочных узлов.



а



б

Рисунок 8 Стенд для силовых испытаний узла крепления моделей огнеупорного моноблока (а) и место размещения месдозы (б)

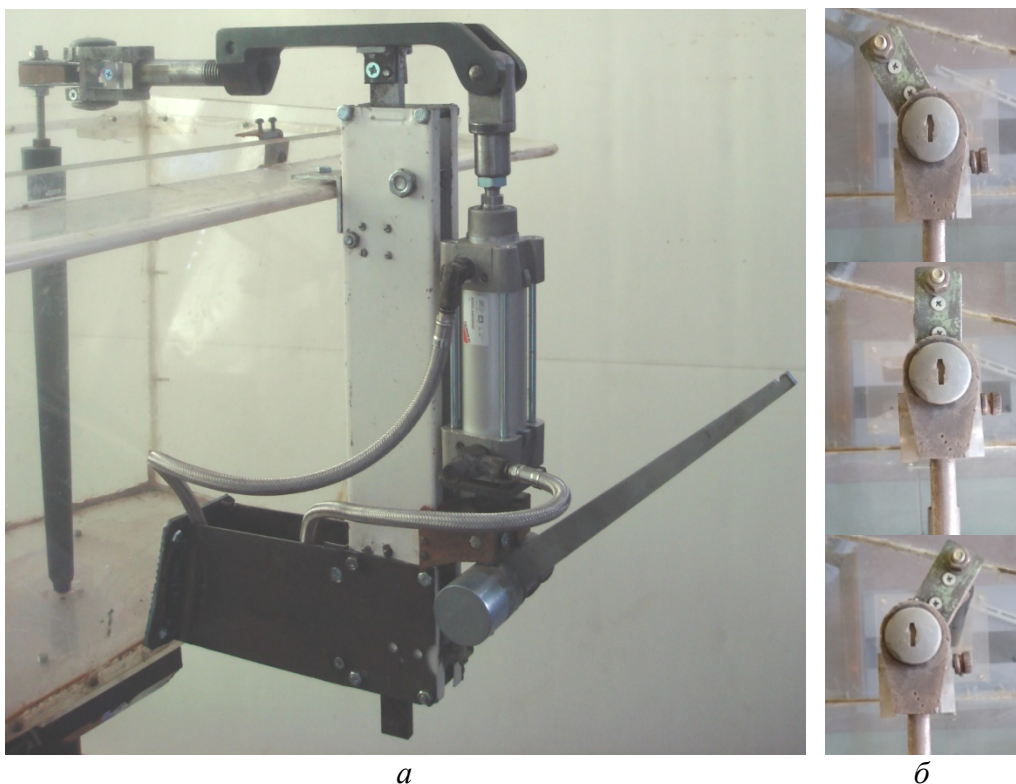


Рисунок 9 Действующая натурная модель разработанной стопорной системы промежуточного ковша МНЛЗ (а) и возможные позиции ее несущего элемента при регулировке положения моноблока относительно выпускного канала (б)

Результаты выполненных исследований будут использованы при разработке отечественных стопорных разливочных устройств, эксплуатируемых на промежуточных ковшах машин непрерывного литья заготовок, и послужат основой решению

задач импортозамещения, имеющих острую актуальность для металлургических предприятий ДНР и ЛНР в условиях действия санкций, запрещающих поставку импортного технологического оборудования зарубежными фирмами-производителями.

Библиографический список

1. Смирнов, А. Н. Непрерывная разливка стали [Текст] / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, Е. В. Штепан. — Донецк : ДонНТУ, 2011. — 482 с.
2. Куклев, А. В. Практика непрерывного литья заготовок [Текст] / А. В. Куклев, А. В. Лейтес. — М. : Металлургиздат, 2011. — 432 с.
3. Гидродинамические и физико-химические процессы в промежуточных ковшах для непрерывного литья стали [Текст] / В. И. Дубоделов [и др.]. — К. : Наукова думка, 2018. — 263 с.
4. Условия работы стопора-моноблока при регулировании истечения стали из промежуточного ковша МНЛЗ [Текст] / А. Н. Смирнов [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 2004. — № 4. — С. 96–99.
5. Разработка эффективных разливочных систем промежуточных ковшей машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) [Текст] / С. П. Еронько [и др.] // Металлургические процессы и оборудование. — 2009. — № 2 (16). — С. 39–48.
6. Смирнов, А. Н. Совершенствование конструкции узла крепления стопора-моноблока промежуточного ковша МНЛЗ [Текст] / А. Н. Смирнов, С. П. Еронько, И. А. Орлов // Металлургическая и горнорудная промышленность. — 2006. — № 4. — С. 70–72.

7. Физическое моделирование технических систем сталеплавильного производства [Текст] / С. П. Еронько [и др.]. — Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. — 324 с.

© Еронько С. П.
© Цыхмистро Е. С.
© Вишневский Д. А.
© Иваненко А. С.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТИ Харламовым Ю. А., д.т.н., доц., зав. каф. «Управление качеством» ДонНТУ Ченцовым Н. А.

Статья поступила в редакцию 04.10.2021.

Doctor of Technical Sciences Eronko S. P., Tsykhmistro E. S. (DonNTU, Donetsk, DPR),

PhD in Engineering Vishnevskiy D. A., Ivanenko A. S. (DonSTI, Alchevsk, LPR)

DESIGN IMPROVEMENT AND MODEL STUDIES OF STOPPER POURING SYSTEM OF THE INTERMEDIATE CASTER LADLE

The paper presents the results of model studies of stopper system of the intermediate caster ladle, which allows to develop an improved design of the attachment fitting for its ceramic monoblock stopper, which minimize stress concentrations in the interface zone of the supporting metal rod with the upper part of the refractory element and thereby increase the reliability of its operation, as well as simplify the operations related to preparing the device for the start of casting.

Key words: *intermediate ladle, stopper pouring system, refractory monoblock, attachment fitting, concentration.*