

УДК 621.793

## ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ БЫСТРОЙ СМЕНЫ ПОГРУЖНЫХ СТАКАНОВ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША СЛЯБОВОЙ МНЛЗ

*Еронько С.П., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Механическое оборудование заводов черной металлургии» (ersp@meta.ua)*

*Ошовская Е.В., к.т.н., доцент кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии»*

*Ткачев М.Ю., аспирант кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии»*

Донецкий национальный технический университет  
(83000, Украина, Донецк, ул. Артема, 58)

**Аннотация.** Освещены перспективы применения систем быстрой замены погружных стаканов промежуточных ковшей слябовых машин непрерывного литья заготовок и обоснована необходимость их дальнейшего совершенствования с целью повышения надежности. Приведены методика и результаты экспериментальных исследований силовых параметров работы привода механизма перемещения погружных стаканов при различном конструктивном исполнении опорно-прижимного узла разливочной системы для условий обеспечения трения скольжения и трения качения между опорной поверхностью металлической обоймы защитного огнеупорного изделия и прижимающими его элементами. Установлено, что в случае замены в опорном узле плоских прижимных элементов роликами суммарное значение коэффициента сопротивления перемещению погружных стаканов во время их быстрой смены может быть снижено с 0,6 – 1,3 до 0,4 – 1,0, что позволяет уменьшить в 1,2 – 1,3 раза нагрузку на гидравлический привод исследуемой разливочной системы промежуточного ковша МНЛЗ, а также увеличить срок ее безотказной работы в условиях реализации непрерывной разливки стали большими сериями. Полученные данные использованы при расчете и конструировании усовершенствованной системы быстрой смены погружных стаканов.

**Ключевые слова:** непрерывная разливка, погружной стакан, затягивание канала, быстрая смена стакана, опорный узел, система прижатия, трение качения, трение скольжения.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-1-49-56

Преимущества непрерывной разливки качественной стали на слябовую заготовку длинными сериями в полной мере проявляются в том случае, когда удается решить комплекс задач, связанных с обеспечением соответствующей стойкости футеровки промежуточного ковша, огнеупорной части его разливочных устройств, а также с предотвращением затягивания погружных стаканов, защищающих разливаемый металл от вторичного окисления [1, 2]. По ряду известных причин канал защитного огнеупорного изделия часто зарастает вследствие отложения на его стенках тугоплавких неметаллических включений, а это неизбежно ведет к нарушению скоростного режима разливки, установленного технологической инструкцией, и вызывает необходимость замены отработанного стакана новым. Вынужденная замена защитного огнеупорного элемента влечет за собой прекращение на некоторое время истечения жидкой стали в кристаллизатор, что не только вносит сбой в процесс разливки, но и снижает выход годного в среднем на 1,5 % из-за необходимости удаления из непрерывнолитой заготовки участка, на котором она формировалась с прерыванием поступления расплава из промежуточного ковша [3, 4]. В связи с этим промежуточные ковши современных слябовых МНЛЗ

укомплектованы системами быстрой замены погружных стаканов, разработанными известными зарубежными фирмами INTERSTOP, VESUVIUS и DANIELI [5 – 8].

В процессе замены погружного стакана на элементы разливочного устройства промежуточного ковша МНЛЗ действуют статические и динамические нагрузки, численные значения которых могут существенно изменяться в зависимости от условий применения механической системы. Статические силы сопротивления, препятствующие перемещению огнеупорных стаканов, обусловлены с одной стороны трением, возникающим на контактных поверхностях их фланцев, а также в опорном узле между металлической обоймой фланца и прижимными элементами, а с другой стороны – дополнительной нагрузкой, связанной с разрушением слоя отложений оксидов алюминия или корочки застывшего металла на стенках канала. Расчетные и экспериментальные данные свидетельствуют о том, что сила трения скольжения, возникающая между контактными поверхностями металлической обоймы фланца стакана и прижимными элементами опорной части, при различных условиях работы разливочного устройства составляет 30 – 35 % от суммарной нагрузки, дейст-

вующей на его привод [9]. Наряду с этим силы трения вызывают интенсивный износ контактной поверхности прижимных элементов, что требует их частой замены или применения сменных насадок, изготовленных из высокопрочной стали. Поэтому от надежности опорно-прижимного узла в значительной мере в целом зависит безотказность системы быстрой смены погружных стаканов [10]. Требуемая степень надежности указанного узла в системах вышеупомянутых фирм обеспечена за счет применения комплектов витых или тарельчатых цилиндрических пружин сжатия со строго регламентированными упругими характеристиками, которые с установленной периодичностью должны проходить обязательную проверку на специальных стендах и при необходимости заменяться полным комплектом, для чего необходима предварительная разборка всей разливочной системы. В связи с этим повышается не только стоимость разливочного устройства, но и издержки, связанные с его обслуживанием и эксплуатацией.

Следует отметить, что задача снижения сил сопротивления в узлах трения для металлургического оборудования, работающего в условиях высоких температур и запыленности, является весьма актуальной [11], а для ее успешного решения необходимо проведение как теоретических, так и детальных экспериментальных исследований [12, 13]. В частности, практический интерес представляет оценка возможности снижения нагрузки на гидравлический привод системы быстрой смены погружных стаканов за счет конструктивного изменения ее опорно-прижимного узла путем применения в нем тел качения (роликов). Это должно способствовать уменьшению значений силы сопротивления перемещению вышедшего из строя защитного огнеупорного изделия, подлежащего немедленной замене в процессе разливки. Данное уменьшение обусловлено

сокращением в суммарной нагрузке, преодолеваемой приводным гидроцилиндром, доли, приходящейся на силу трения, возникающей в опорно-прижимном узле под действием сжимающей силы блоков пружин  $F_{сж}$  и определяемой в случаях трения скольжения и трения качения соответственно по уравнениям

$$F_{тр1} = \mu F_{сж} \text{ и } F_{тр2} = \left( \frac{\mu d + 2k}{D} \right) F_{сж},$$

где  $\mu$  – коэффициент трения скольжения;  $d$  – диаметр цапфы, несущей свободно вращающийся ролик;  $k$  – коэффициент трения качения;  $D$  – наружный диаметр ролика опорно-прижимного узла.

Значение силы трения в опорно-прижимном узле, получаемое расчетом, в силу ряда причин (несимметричное приложение сдвигающей нагрузки к огнеупору, отсутствие точных справочных данных о коэффициентах трения, неравномерное распределение усилия, развиваемое сжимающими пружинами) может существенно отличаться от реального [14]. Учитывая это, информацию о степени снижения сопротивления перемещению сменного погружного стакана в случае применения роликовых опор вместо элементов скольжения получили опытным путем.

Для экспериментальной проверки эффективности принятого технического решения по изменению условий взаимодействия элементов опорно-прижимного узла, образующих пару трения, был изготовлен в масштабе 1:2 лабораторный образец системы быстрой смены погружных стаканов, общий вид которого показан на рис. 1. В конструктивном отношении он соответствовал классической схеме разливочных устройств данного класса и позволял в идентичных экспериментальных условиях поочередно использовать два варианта опор-

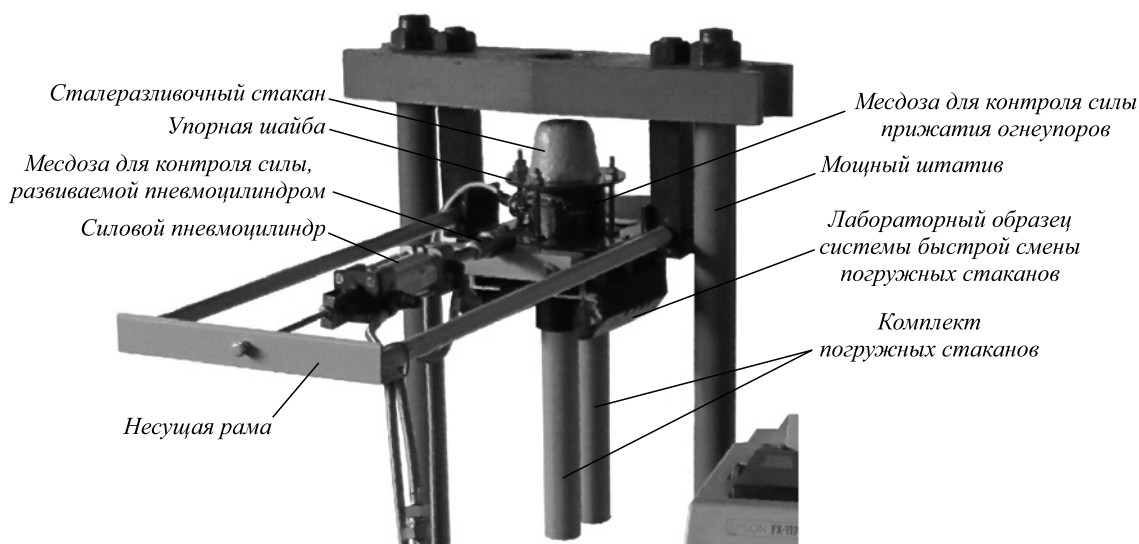


Рис. 1. Лабораторный образец системы быстрой смены погружных стаканов

Fig. 1. Laboratory sample of quick-change system of submerged nozzles

но-прижимного узла, при функционировании которых между их трибоэлементами действуют силы трения скольжения (рис. 2, *а*) или трения качения (рис. 2, *б*). Требуемую длительность процесса замены погружного стакана (не более 0,5 с) в исследуемой системе обеспечили пневматическим цилиндром, в рабочую полость которого подавали под давлением 0,8 МПа из баллона сжатый воздух.

Комплект огнеупорных изделий, предварительно изготовленных для проведения лабораторных экспериментов, включал разливочный и два погружных стакана, которые имели фланцы с размерами 85×115×25 мм, заключенные в металлические обоймы. Контактные поверхности скольжения фланцев всех трех стаканов после их термической обработки были подвергнуты шлифованию алмазным кругом.

Оценку в режиме реального времени сопротивления, преодолеваемого приводным цилиндром при перемещении комплекта погружных стаканов относительно разливочного стакана для фиксированных значений силы прижатия их фланцев, осуществляли с использованием контрольно-измерительного комплекса, включавшего две мсдозы, усилитель переменного тока, АЦП и ЭВМ.

Мсдоза для контроля усилия прижатия фланцев погружных стаканов к нижней части сталевыпускного стакана выполнена в виде гильзы, одним торцом опирающейся на его металлическую обойму, а другим контактирующей с упорной шайбой, жестко связанной посредством четырех шпилек с корпусом разливочной системы. На гильзе наклеены четыре фольговых датчика с сопротивлением 200 Ом каждый, соединенных по мостовой схеме. Рабочие тензодатчики, включенные в противоположные плечи моста, ориентированы вдоль образующих гильзы, а компенсационные – в окружном направлении, т. е. перпендикулярно рабочим.

Аналогично была выполнена и вторая мсдоза, предназначенная для контроля суммарной силы сопро-

тивления, преодолеваемой при замене погружного стакана приводным цилиндром. Она отличалась меньшим диаметром и крепилась к хвостовику штока цилиндра, т. е. передавала силу, сдвигающую комплект сменных огнеупоров.

Электрические сигналы, возникающие при разбалансе измерительных мостов в процессе измерений, по экранированным кабелям поступали на входы каналов усилителя переменного тока УТ4-1. Усиленные сигналы после преобразования аналого-цифровым преобразователем L-154 в двенадцатиразрядный числовой код обрабатывались при помощи прикладной программы OSCILLOSCOPE фирмы L-CARD, поставляемой в комплекте с АЦП.

Во время эксперимента при фиксированных значениях силы прижатия к разливочному стакану погружного стакана контролировали нагрузку, преодолеваемую в процессе его замены приводным цилиндром для двух вариантов конструктивного исполнения опорно-прижимного узла исследуемой механической системы, показанных на рис. 2. Характерный вид зарегистрированных при этом сигналов приведен на рис. 3.

Обработка и результаты анализа полученных экспериментальных данных позволили установить следующие характерные особенности изменения силы, затрачиваемой на перемещение сменного комплекта погружных стаканов. Независимо от конструктивного исполнения опорно-прижимного узла разливочной системы и задаваемого сжимающего усилия, в начале относительного сдвига погружных стаканов фиксируются максимальные значения суммарной силы сопротивления их совместному перемещению. Это связано с ударной нагрузкой, прикладываемой к сменному комплекту огнеупорных изделий, и возникновением динамической составляющей, доля которой достигает 25 – 30 %.

Замена пары трения скольжения парой трения качения в опорно-прижимном узле системы способствует снижению в 1,2 – 1,3 раза суммарной силы сопротивле-

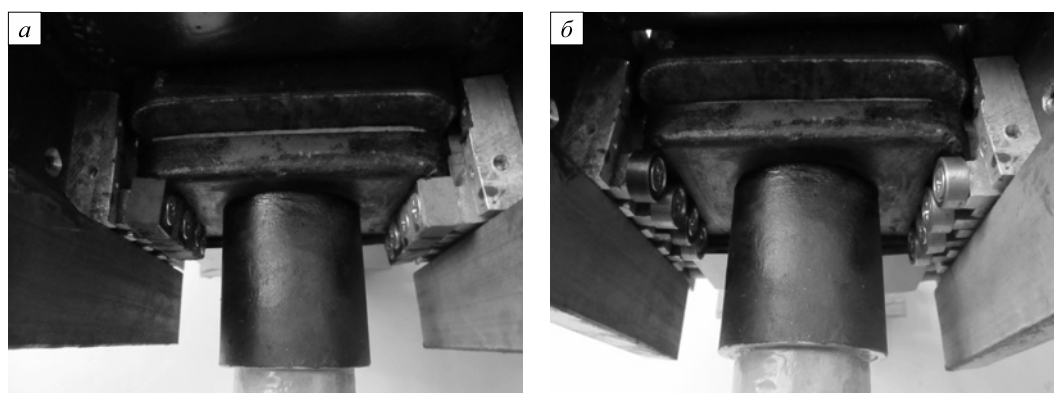


Рис. 2. Реализуемые варианты конструктивного исполнения опорно-прижимного узла системы быстрой смены погружных стаканов: с использованием пар трения скольжения (*а*) и пар трения качения (*б*)

Fig. 2. Implemented variants of design of support-clamping unit of quick-change system of submerged nozzles: using pairs of friction (*a*) and rolling friction pairs (*b*)

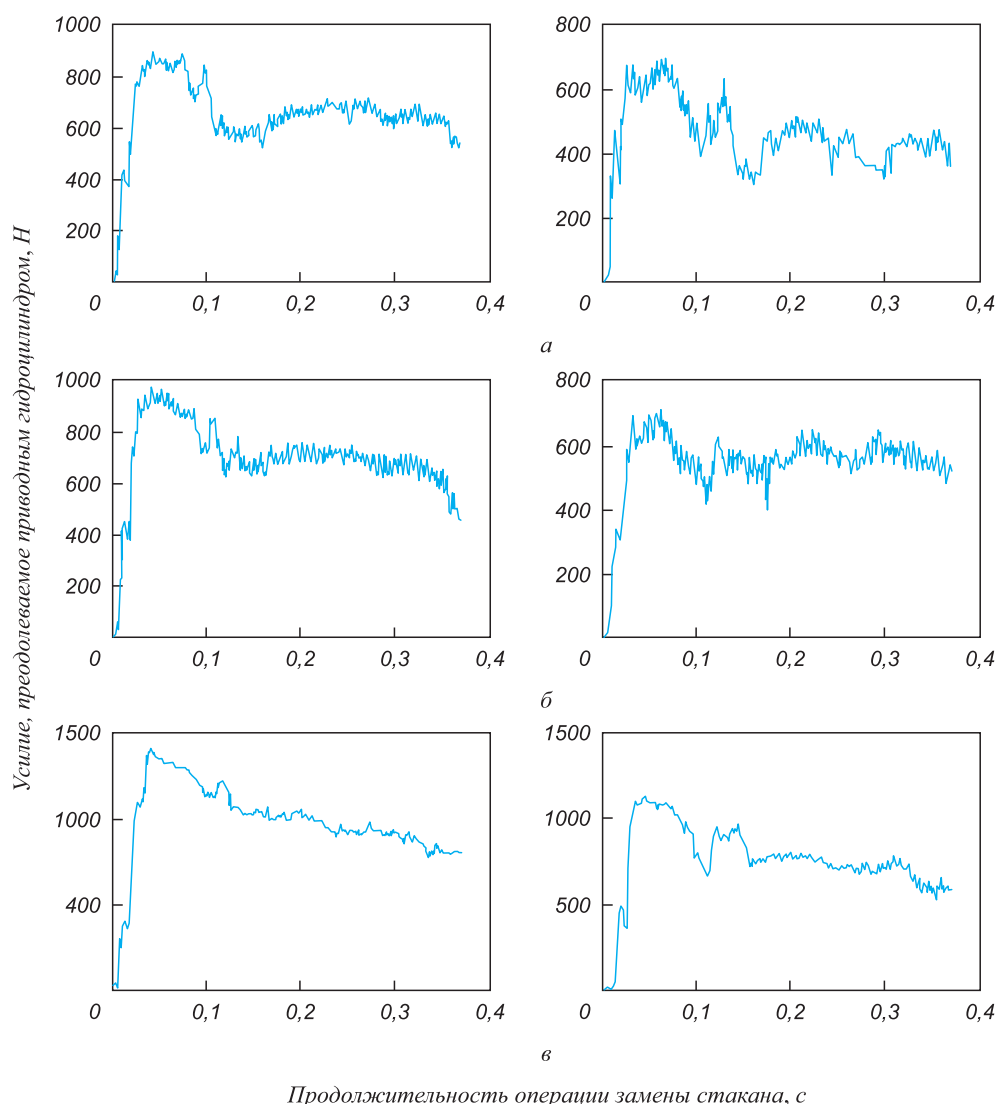


Рис. 3. Характер изменения силы сопротивления перемещению сменного комплекта погружных стаканов при силе их прижатия 500 Н (а), 1000 Н (б), 1500 Н (в) в случае действия в опорно-прижимном узле трения скольжения (левый столбец) и трения качения (правый столбец)

Fig. 3. Nature of changes in resistance force of displacement of replacement set of submerged nozzles with their pressing force of 500 N (a); 1000 N (б), 1500 N (в) in the case of actions in support-presser unit of sliding friction (left column) and rolling friction (right column)

ния перемещению сменного комплекта защитных огнеупоров. Вместе с этим на записях сигналов, относящихся к опорно-прижимному узлу, снабженному роликами, наряду с общим снижением значений действующей на привод нагрузки зафиксированы ее всплески по ходу перемещения сменного комплекта погружных стаканов. Число отмечавшихся скачков значений силы сопротивления в точности совпадало с числом пар прижимных роликов. Это связано с образованием опорными поверхностями состыкованных металлических обойм фланцев стаканов поперечно расположенной полости, в результате чего происходит кратковременное увеличение коэффициента трения качения в момент контакта стыка с цилиндрической поверхностью прижимного ролика (рис. 4).

Визуальный контроль состояния опорных поверхностей металлических обойм погружных стаканов после

их замены позволил также сделать вывод о том, что при цилиндрической форме опорных роликов велика вероятность нарушения их линейного контакта с прижимаемыми обоймами. Это связано с возможными отклонениями как в меньшую, так и в большую сторону толщины фланцев огнеупорных изделий от значений, принятых при проектировании разливочной системы. В этих случаях из-за поворота даже на малый угол элемента, несущего ролик, последний контактирует с опорной поверхностью металлической обоймы фланца стакана по схеме клиновое тело – плоскость (рис. 5), что приводит к росту деформаций в зоне контакта и увеличению коэффициента трения качения. Поэтому в опорно-прижимном узле промышленного образца разливочной системы целесообразно использовать ролики иной формы.

Результаты выполненных экспериментальных исследований послужили основой при расчете и конст-

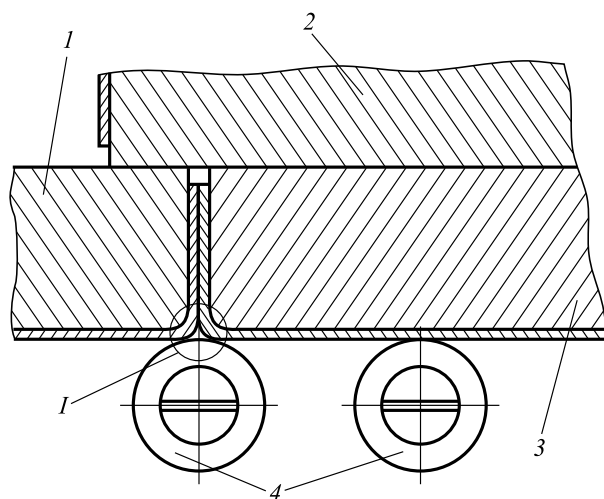


Рис. 4. Схема зоны контакта *I* опорных поверхностей состыкованных металлических обойм фланцев погружных стаканов с прижимным роликом:

*1, 3* – фланцы погружных стаканов; *2* – фланец разливочного стакана; *4* – прижимные ролики

Fig. 4. Scheme of the contact zone *I* of support surfaces of stacked metal clips of flanges of submerged nozzles with pressure roller:

*1, 3* – flanges of submerged nozzles; *2* – nozzle flange; *4* – pressure rollers

руировании запатентованной усовершенствованной разливочной системы (патент 104227 Украины) промежуточного ковша слябовой МНЛЗ, схематично представленной на рис. 6. Она включает металлический корпус *1*, снабженный средствами крепления в виде штырей *2* с отверстиями под клинья *3* к наружной поверхности днища промежуточного ковша *4*. Корпус имеет центральное вертикальное отверстие, в котором размещена нижняя часть сталевыпускного стакана *5*, закрепленного в гнездовом блоке *6*. В теле корпуса выполнен продольный направляющий паз для размещения рабочего *7* и резервного *8* огнеупорных погружных стаканов, верхние части которых помещены в металлические обоймы.

Погружной стакан примыкает снизу к сталевыпускному стакану и установлен с возможностью перемещения вдоль продольного паза силовым гидроцилиндром *9*. Прижатие погружного стакана к нижней части сталевыпускного стакана осуществляется механизмом, который включает поворотные элементы *10* с отверстиями, симметрично установленные на осях *11* по обе стороны погружного стакана вдоль оси его перемещения в направляющем пазу металлического корпуса. При этом каждый поворотный элемент снабжен консольно закрепленной цапфой *12*, несущей свободно вращающийся ролик *13*. Тело ролика имеет форму поверхности вращения с образующей в виде дуги с радиусом, составляющим  $0,5b \dots 0,5d$ , где *b* и *d* соответственно толщина и внешний диаметр ролика в поперечном сечении симметрии, находящиеся между собой в соотношении  $d/b = 2$ . Благодаря указанным значениям ге-

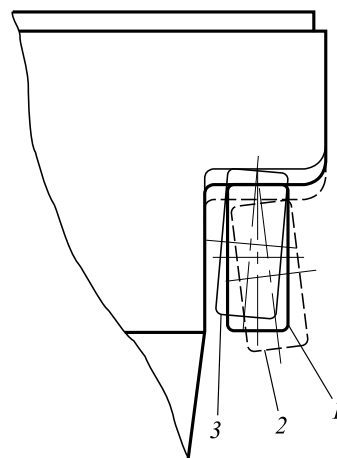


Рис. 5. Возможные схемы контакта цилиндрического прижимного ролика с опорной поверхностью металлической обоймы фланца погружного стакана при отклонении его толщины от заданного значения (*I*) в большую (*2*) или меньшую (*3*) сторону

Fig. 5. Possible schemes of the contact of cylindrical pressure roller with the bearing surface of metal clip of flange of submerged nozzle at a deviation of the thickness of the set value (*I*): more (*2*) or less (*3*)

ометрических параметров ролика, обеспечивается его постоянный контакт с опорной поверхностью металлической обоймы фланца огнеупорного стакана по схеме сферическое тело–плоскость при допустимых углах поворота элемента, несущего сам ролик. Это позволяет понизить значение коэффициента трения качения и в итоге уменьшить сопротивление, действующее в опорно-прижимном узле.

Передача усилия прижатия погружному стакану осуществляется благодаря кинематической связи поворотных элементов с предварительно сжатыми пружинами *15*. Пружины установлены в выполненных в корпусе наклонных цилиндрических каналах на направляющих стержнях *14* с поджатием к их опорным буртикам *16* с помощью винченных в цилиндрические каналы пробок *17*. Каждая из пробок своей торцевой частью выходит наружу металлического корпуса *1*. Для поворота пробок на их выходящих торцевых частях предусмотрены шлицы под отвертку или головки под ключ.

При обслуживании разливочного устройства для контроля жесткости пружин в отверстие каждого из поворотных элементов поочередно вводится хвостовик динамометрического ключа и с его помощью элемент поворачивают на небольшой угол на оси, сжимая пружину и контролируя по шкале ключа развиваемую ею силу. В случае необходимости регулирования усилия сжатой пружины пробку, контактирующую с нею, необходимо повернуть в резьбовом отверстии в нужном направлении, дополнительно сжимая или отпуская упругий силовой элемент. Если изменением высоты пружины не удастся достичь заданного значения усилия прижатия, ее заменяют новой, для чего предварительно выворачивают пробку из цилиндрического канала металлического корпуса. Такое конструк-

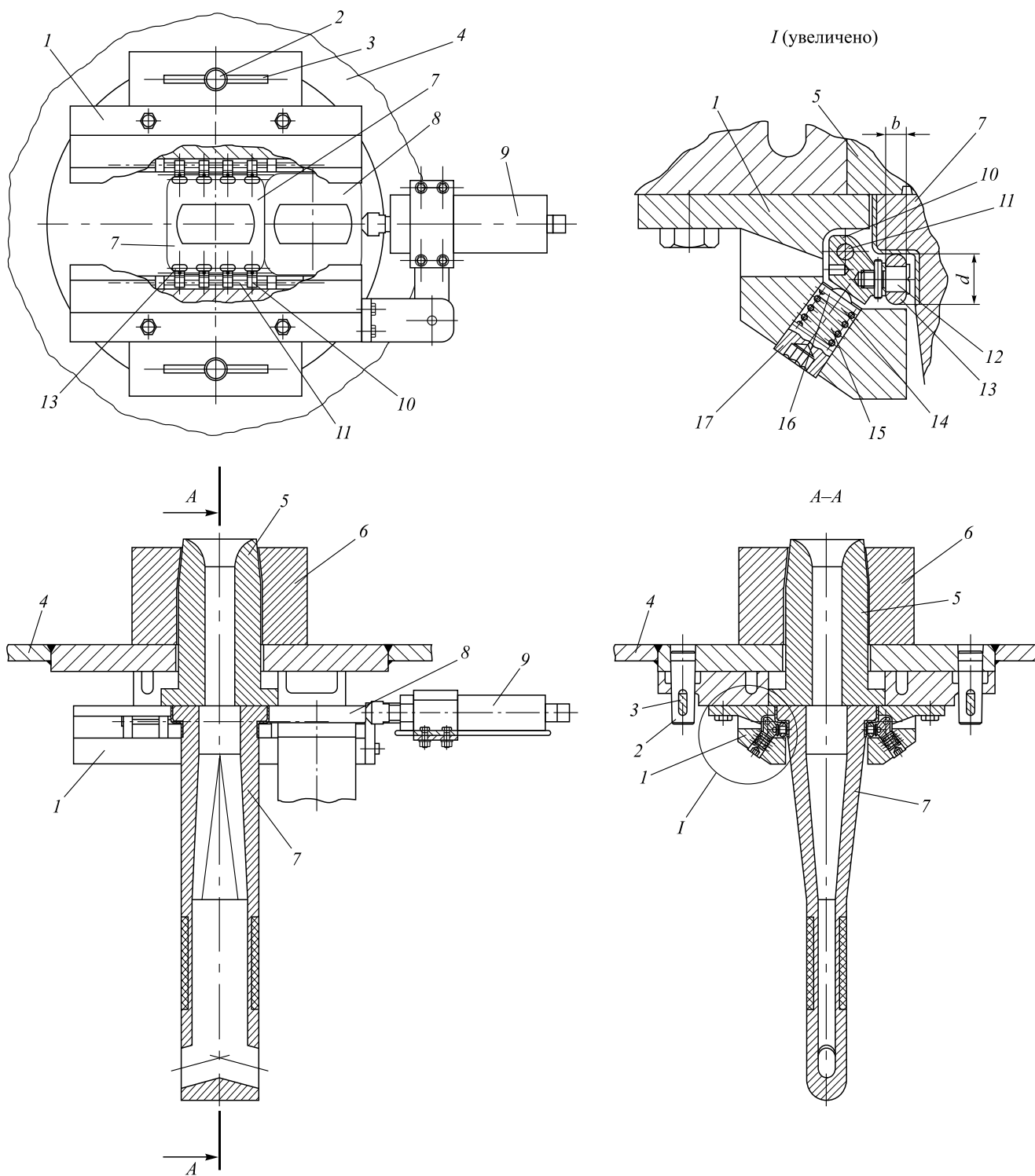


Рис. 6. Конструкция усовершенствованной системы быстрой смены погружных стаканов

Fig. 6. Design of improved system of quick change of submerged nozzles

тивное исполнение опорно-прижимного узла выгодно отличает предложенную разливочную систему от зарубежных аналогов. При ее эксплуатации снижается нагрузка на привод и интенсивность износа трущихся поверхностей, не требуется обеспечение в узких пределах жесткости применяемых пружин благодаря возможности выполнения контроля и регулирования ука-

занной характеристики без снятия устройства с ковша и последующей полной или частичной разборки, что является обязательным условием для импортных систем [15].

**Выводы.** Использование прижимных элементов, снабженных телами качения, вместо плоских насадок в опорном узле системы быстрой замены погружных ог-

неупорных стаканов промежуточных ковшей слябовых МНЛЗ позволяет:

- уменьшить на 20 – 25 % силы сопротивления, преодолеваемые ее гидравлическим приводом;
- снизить интенсивность износа трущихся металлических поверхностей и за счет этого повысить ресурс работы устройства в условиях реализации сериной разливки стали на заготовку.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнов А.Н., Пилошенко В.Л., Минаев А.А. и др. Процессы непрерывной разливки. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 536 с.
2. Куклев А.В., Лейтес А.В. Практика непрерывной разливки стали. – М.: Metallurgizdat, 2011. – 432 с.
3. Аксельрод Л.М., Паршин В.М., Мазуров Е.Ф. Механизм зарастания погружных стаканов при непрерывной разливке стали // Сталь. 2007. № 4. С. 30 – 33.
4. Аксельрод Л.М., Вяткин А.А., Вяткина Н.А. и др. Предотвращение процесса затягивания канала сталеразливочного узла промежуточного ковша МНЛЗ // Новые огнеупоры. 2007. № 2. С. 9 – 14.
5. Brevet 1132163 European Patent Office. Pièce réfractaire rainurée pour coulée métallurgique, assemblage de pièces réfractaires, installation de coulée et procédé de restauration de la surface d'une pièce réfractaire / R. Jean-Luc, B. Luigi; le demandeur Vesuvius Crucible Company Wilmington (US). – № 00870038.7, date de dépôt 07.03.2000; publié 12.09.2001, Bul. № 37. – 13 p.
6. Chaudhuri J., Choudhury G., Kumar S. etc. New generation ladle slide gate system for performance improvement // MPT International. 2007. Vol. 30. Issue 6. P. 38 – 42.
7. Mutsaerts P. Submerged entry nozzle exchange system for tundishes // Millenium Steel. 2006. P. 143 – 146.
8. Chaudhuri J., Choudhury G., Kumar S. etc. Achieving higher performance & longer service life of slide plate // Iron & Steel Review. 2007. Issue June. P. 86 – 91.
9. Еронько С.П., Ошовская Е.В., Яковлев Д.А. и др. Расчет энергосиловых параметров системы быстрой замены погружных стаканов при непрерывной разливке стали // Черная металлургия. Бюл. ин-та «Черметинформация». 2010. № 8. С. 30 – 35.
10. Золотухин В.И., Провоторов Д.А. Исследование устойчивости перемещаемых стаканов-дозаторов под воздействием упругих сил // Изв. ТулГУ. В 2-х томах. Т. 1. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. С. 35 – 43.
11. Дукмасов В.Г., Агеев Л.М. Состояние и развитие технологий и оборудования в мировой черной металлургии. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – 187 с.
12. Смирнов Г.Ф., Бондаренко Л.М. Зависимость сопротивления движению качения и скольжения от соотношения модулей упругости при сжатии // Теория и практика металлургии. 2002. № 5 – 6. С. 72 – 75.
13. Добров И.В. К вопросу о приведенном коэффициенте трения скольжения трибосистемы // Теория и практика металлургии. 2002. № 5 – 6. С. 122 – 129.
14. Алленштейн Й. и др. Огнеупорные материалы. Структура, свойства, испытания: Справочник: Пер. с нем. / Под ред. Г. Рочка, Х. Вутнау. – М.: Интернет Инжиниринг, 2010. – 392 с.
15. Еронько С.П., Сотников А.Л., Ткачев М.Ю. Совершенствование системы быстрой смены погружных стаканов для серийной разливки стали на слябовых МНЛЗ // Металлургические процессы и оборудование. 2012. № 3. С. 26 – 38.

Поступила 3 декабря 2014 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2016. VOL. 59. No. 1, pp. 49–56.

### INVESTIGATION AND IMPROVEMENT OF THE RAPID CHANGE SYSTEM OF SUBMERGED NOZZLE OF SLAB CCM TUNDISH

**S.P. Eron'ko**, *Dr.Sci. (Eng.), Professor; Head of Chair "Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgical Plants"* (ersp@meta.ua)

**E.V. Oshovskaya**, *Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgical Plants"*

**M.Yu. Tkachev**, *Postgraduate of the Chair "Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgical Plants"*

**National Technical University of Donetsk** (58, Artema str., Donetsk, 83000, Ukraine)

**Abstract.** The article describes the application prospects of rapid change systems of the submerged nozzles slab continuous casting machines of tundishes and the necessity of its further improvement to increase of reliability. The technique and results of experimental investigations of the drive power parameters of mechanism for moving of the submerged nozzles are shown. The casting system had various design of support-clamping unit for providing the conditions of slide friction and rolling friction between the supporting surface of metal holder of the protective refractory and elements that its presses. It was found that, if plane press elements in support unit are changed on the rollers, the total value of opposing coefficient of submerged nozzles displacement during its rapid change can be reduced from 0.6 – 1.3 to 0.4 – 1.0. It allows to reduce the load of the hydraulic drive of the casting system of CCM tundish in 1.2 – 1.3 times and to extend its terms of no-failure operation

in the continuous of implementation of big series casting. The obtained data can be used in calculation and design of improved rapid change system of submerged nozzles.

**Keywords:** continuous casting, submerged nozzle, delaying channel, rapid change of the nozzle, support assembly, pressing system, rolling friction, sliding friction.

**DOI:** 10.17073/0368-0797-2016-1-49-56

#### REFERENCES

1. Smirnov A.N., Pilyushenko V.L., Minaev A.A. etc. *Protsessy nepreryvnoi razlivki* [Continuous casting process]. Donetsk: DonNTU, 2002, 536 p. (In Russ.).
2. Kuklev A.V., Leites A.V. *Praktika nepreryvnoi razlivki stali* [Practice of continuous casting of steel]. Moscow: Metallurgizdat, 2011, 432 p. (In Russ.).
3. Aksel'rod L.M., Parshin V.M., Mazurov E.F. Mechanism of submersible-nozzle clogging in continuous casting of steel. *Steel in Translation*. 2007, vol. 37, no. 4, pp. 370–374.
4. Aksel'rod L.M., Vyatkin A.A., Vyatkina N.A. Prevention of the tightening process of channel of steel teeming unit of the CCM tundish. *Novye ognepory*. 2007, no. 2, pp. 9–14. (In Russ.).
5. Brevet 1132163 European Patent Office. *Pièce réfractaire rainurée pour coulée métallurgique, assemblage de pièces réfractaires, installation de coulée et procédé de restauration de la surface d'une pièce réfractaire*. R. Jean-Luc, B. Luigi; le demandeur Vesuvius Crucible Company Wilmington (US). no. 00870038.7, date de dépôt 07.03.2000; publié 12.09.2001, Bul. no. 37, 13 p.

6. Chaudhuri J., Choudhury G., Kumar S. etc. New generation ladle slide gate system for performance improvement. *MPT International*, 2007, vol. 30, Issue 6, pp. 38–42.
7. Mutsaerts P. Submerged entry nozzle exchange system for tundishes. *Millenium Steel*. 2006, pp. 143–146.
8. Chaudhuri J., Choudhury G., Kumar S. etc. Achieving higher performance & longer service life of slide plate. *Iron & Steel Review*. 2007. Issue June, pp. 86–91.
9. Eron'ko S.P., Oshovskaya E.V., Yakovlev D.A. Calculation of the energy–force parameters of the system for quick replacement of the submerged entry nozzles during continuous casting of steel. *Chernaya metallurgiya*. OAO “Chermetinformatsiya”. 2010, no. 8, pp. 30–35. (In Russ.).
10. Zolotukhin V.I., Provotorov D.A. Investigation of the stability of moved dosing cup under the influence of the elastic forces. *Izvestiya TulGU*. Part. 1. Tula. Izd-vo TulGU. 2009, pp. 35-43. (In Russ.).
11. Dukmasov V.G., Ageev L.M. *Sostoyanie i razvitie tekhnologii i oborudovaniya v mirovoi chernoi metallurgii* [Status and development of technology and equipment in the global steel industry]. Chelyabinsk: Izd-vo YuUrGU, 2002, 187 p. (In Russ.).
12. Smirnov G.F., Bondarenko L.M. Dependence of the opposing to rolling and sliding motion from the ratio of compressive modulus. *Teoriya i praktika metallurgii*. 2002, no. 5–6, pp. 72–75. (In Russ.).
13. Dobrov I.V. The question of reducing the sliding friction coefficient of tribosystems. *Teoriya i praktika metallurgii*. 2002, no. 5–6, pp. 122–129. (In Russ.).
14. Allenstein Jochen u.a. *Feuerfeste Werkstoffe. Aufbau. Eigenschaften. Prüfung*. Routschka G., Wuthnow H. Hrsg. Essen, Auflage Vulkan Verlag. 2007. (Russ.ed.: Allenstein J. *Ogneupornye materialy. Struktura, svoistva, ispytaniya: spravochnik*. Routschka G., Wuthnow H. eds. Moscow: Intermet Inzhiniring, 2010, 392 p.).
15. Eron'ko S.P., Sotnikov A.L. Improvement of the rapid change system of submerged nozzles for serial casting on slab CCM. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie*. 2012, no. 3, pp. 26–38. (In Russ.).

Received December 3, 2014