

С.П. Еронько /д.т.н./, М.Ю. Ткачев /к.т.н./, П.М. Матеко
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

СИСТЕМА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПОДАЧИ СТАРТОВОЙ СМЕСИ В КАНАЛ СТАЛРАЗЛИВОЧНОГО КОВША

На основании системного анализа преимуществ и недостатков известных конструкций систем механизированной подачи стартовой смеси в канал сталеразливочного ковша предложено новое решение, позволяющее сократить расход дорогостоящего огнеупорного материала и улучшить условия труда обслуживающего персонала. В лабораторных условиях на физической модели системы установлена точность позиционирования ее рабочего органа.

Ключевые слова: разливочный ковш, выпускной канал, стартовая смесь, гибкий металлорукав, физическая модель, привод, мощность.

Постановка проблемы

Во время подготовки сталеразливочного ковша к приему металла очередной плавки, как известно, необходимо при закрытом шиберном затворе заполнить полость расположенного над ним огнеупорного стакана специальной (стартовой) смесью – порошкообразным или мелкозернистым материалом, предотвращающим попадание в выпускной канал жидкой стали в начале ее слива из плавильного агрегата [1]. Благодаря особым свойствам стартовая смесь не спекается при температурах 1600...1650 °С, не смачивается жидкой сталью и обладает высокой текучестью, что обеспечивает ее незамедлительное высыпание из канала разливочного стакана при первом открывании шиберного затвора, т.е. позволяет начать разливку металла в штатном режиме [2...10].

Выполнение такой операции вручную при обслуживании сталеразливочных ковшей большой вместимости связано не только со значительными физическими нагрузками, но и с нахождением персонала в зоне действия высоких температур.

Анализ последних исследований и публикаций

Результаты выполненного за последние 15 лет патентного поиска показывают, что в ряде стран были признаны изобретениями порядка 10-ти устройств, предназначенных для механизированной подачи смеси в зону расположения гнездового блока (кирпича), центрирующего разливочный стакан в футеровке днища ковша [11...15]. Однако отсутствие в открытых литературных источниках информации о результатах промышленного применения запатентованных за рубежом систем подачи стартовой смеси при подготовке к разливке ковша, а также установ-

ленное влияние условий ковшовой подготовки и перелива металла в промежуточный ковш на стабильность процесса непрерывной разливки длинными сериями [16...18] свидетельствуют в пользу продолжения работ, связанных с созданием вспомогательного оборудования данного класса.

Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является проверка на физической модели системы подачи стартовой смеси в канал сталеразливочного ковша правильности принятых при разработке новой конструкции технических решений, а также эмпирическая оценка эффективности ее функционирования в лабораторных условиях.

Основной материал исследования

В настоящее время подачу смеси в канал разливочного стакана, размещенного в гнездовом блоке футеровки донной части разогретого ковша, осуществляют либо с использованием трубы с внутренним диаметром 40...50 мм и длиной 4...6 м, нижний конец которой удерживают над входным отверстием канала стакана (рис. 1а) [19], либо с помощью специальной емкости, опускаемой в полость ковша и затем опрокидываемой посредством специальной штанги с крюком на конце (рис. 1б) [20].

Часть из технических решений, защищенных патентами на изобретения, предполагает осуществление подачи сыпучего материала в полость ковша из бункера (рис. 1в), установленного на поворотной консоли и имеющего в нижней части заслонку, при открытии которой стартовая смесь самотеком ссыпается сверху в место размещения разливочного стакана. При этом из-за воздействия конвективных потоков нагретого воздуха на вертикальную струю мелкодисперсного

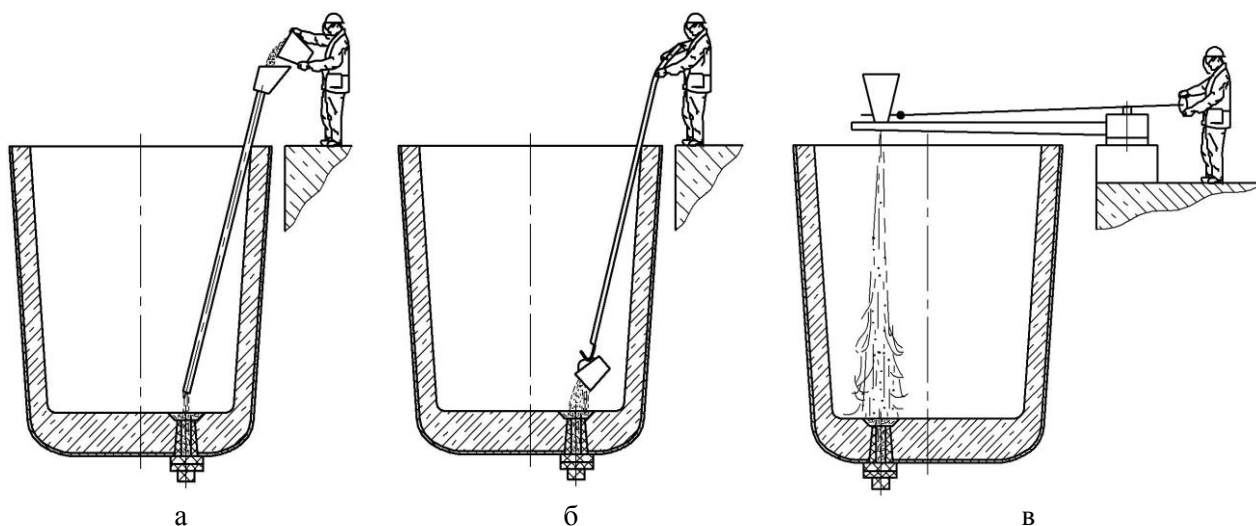


Рис. 1. Способы подачи стартовой смеси в канал сталеразливочного ковша:
а – с помощью трубы; *б* – с помощью специальной емкости; *в* – самотеком из бункера

материала, истекающего из бункера с высоты нескольких метров, некоторая его часть рассеивается в полости ковша, что приводит к повышенному расходу стартовой смеси. С целью исключения негативного действия отмеченного фактора было предложено экранировать струю материала вертикальной цилиндрической камерой, предварительно устанавливаемой соосно с выпускным каналом ковша на футеровку его днища, что требовало использования кранового оборудования.

Необходимость задействования мостового крана возникает также при заполнении канала разливочного стакана ковша из подвесных бункеров, снабженных коллекторами, к нижней части которых прикреплены подвижные раструбы с установленными внутри них толкателями, приподнимающимися при контакте с футеровкой днища конические заглушки в выпускных отверстиях бункеров для свободного высыпания стартовой смеси.

Для решения поставленной цели специалистами кафедры механического оборудования заводов черной металлургии Донецкого национального технического университета на основании результатов проведенного сопоставительного анализа достоинств и недостатков известных отечественных и зарубежных аналогов разработана усовершенствованная система механизированной подачи сыпучих материалов в выпускной канал разливочного ковша, схематично показанная на рис. 2. Она включает поворотную колонну 14, установленную на основании 17, и несущую консоль, выполненную из двух балок 13, жестко связанных поперечиной 3. Вдоль балок расположены направляющие для колесных пар подвижной тележки 7, поддерживающей бункер 5 с прикрепленным к его нижней части гибким

металлорукавом 2. Привод перемещения тележки, состоящий из реверсивного червячного мотор-редуктора 11 с закрепленной на его выходном валу ведущей звездочкой 12, посредством пластичной цепи 9 передает через ведомую звездочку 6 вращение вала, установленного в подшипниковых опорах на поперечине 3. При этом пластичная цепь, обвивающая звездочки 6 и 12, своими концами связана с рамой тележки с помощью натяжных винтов и сообщает ей поступательное движение по направляющим вдоль консоли. Нижняя ветвь пластинчатой цепи 9 поддерживается несколькими скользящими, что уменьшает ее провисание.

Между подшипниковыми опорами на валу ведомой звездочки 6, в средней его части, жестко закреплен шкив 4, имеющий кольцевую канавку, форма которой соответствует половинному поперечному сечению металлорукава 2. Причем диаметр шкива по максимальному углублению продольной канавки равен диаметру ходового колеса тележки. Вдоль консольной балки в одной вертикальной плоскости с одинаковым шагом установлены несколько свободно вращающихся на осях направляющих роликов 8, препятствующих провисанию металлорукава при нахождении его в горизонтальном положении. Для поворота всей системы относительно сталеразливочного ковша 1 служит электромеханический привод, состоящий из червячного мотор-редуктора 16 с вертикальным валом, на хвостовике которого закреплена прямозубая шестерня 15, находящаяся в зацеплении с зубчатым венцом опорного диска 18, удерживающего поворотную колонну 14.

Система размещена на участке обслуживания сталеразливочных ковшей и функционирует следующим образом.

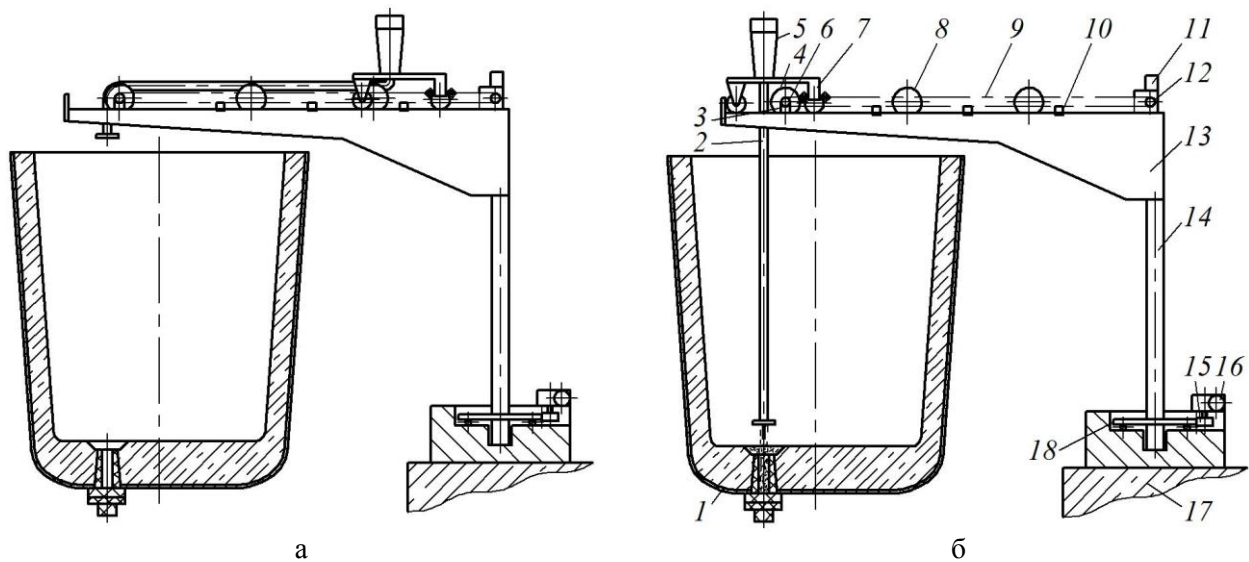


Рис. 2. Конструкция системы механизированной подачи стартовой смеси в канал ковшового затвора:
а – положение элементов конструкции системы после поворота консоли в рабочее положение;
б – положение элементов конструкции системы в момент ссыпания стартовой смеси в канал сталеразливочного ковша

Сталеразливочный ковш по завершении операций, связанных с осмотром и обслуживанием его разливочного узла (промывка кислородом выпускного канала для удаления застывших остатков шлака и металла, закрытия затвора), устанавливают краном в обозначенном месте возле поворотной колонны при отведенной в сторону консоли и находящейся в исходном положении тележки с заполненным бункером. Затем колонну поворачивают на требуемый угол и останавливают с таким расчетом, чтобы продольная ось симметрии консоли проходила над центром выпускного канала ковша (рис. 2а). Далее с помощью цепного привода тележку переводят в рабочую позицию. Во время поступательного движения тележки, благодаря равенству диаметров ее ходового колеса и шкива, в месте контакта с огибающим его металлорукавом, последний будет перемещаться синхронно с тележкой. В результате этого свободный конец металлорукава совершает вертикальное движение вниз и в момент перехода тележки в рабочую позицию окажется непосредственно над входным отверстием канала разливочного ковша.

При этом металлорукав выпрямится, образуя вертикальный подающий тракт (рис. 2б), по которому стартовая смесь, обладающая высокой текучестью, начнет ссыпаться из бункера в выпускной канал ковша, не подвергаясь воздействию воздушных конвективных потоков. Как только бункер опорожнится, тележку переводят в положение парковки, и металлорукав, связанный верхним концом с бункером, окажется уложенным на направляющие ролики. Перед нача-

лом транспортировки ковша краном к сталеплавильному агрегату для приема металла очередной плавки необходимо отвернуть консоль в исходное положение.

Проектированию промышленных образцов предложенной системы для обслуживания ковшей различной вместимости предшествовала разработка методики расчета конструктивных и энергосиловых параметров ее механизмов поворота колонны и перемещения тележки. При этом предварительно установили значения технологических нагрузок, действующих на исполнительные органы указанных механизмов, и с учетом размеров их конструктивных элементов получили теоретические зависимости, позволяющие определить мощность электрических приводов, обеспечивающих с заданной скоростью вращательное движение колонны и поступательное перемещение тележки, несущей расходный бункер со стартовой смесью [21].

Для экспериментальной проверки правильности принятых технических решений и корректности полученных теоретических зависимостей, с их использованием и с учетом рекомендаций работы [2], рассчитали и сконструировали лабораторный образец, который был изготовлен в масштабе, соответствующем размерам 8-тонного литейного ковша (рис. 3).

Согласно подготовленному плану эксперимента лабораторные исследования проводили в два этапа, предусматривающих оценку эффективности функционирования структурных механизмов предлагаемой системы и достигаемого при ее использовании показателя экономии стартовой смеси.

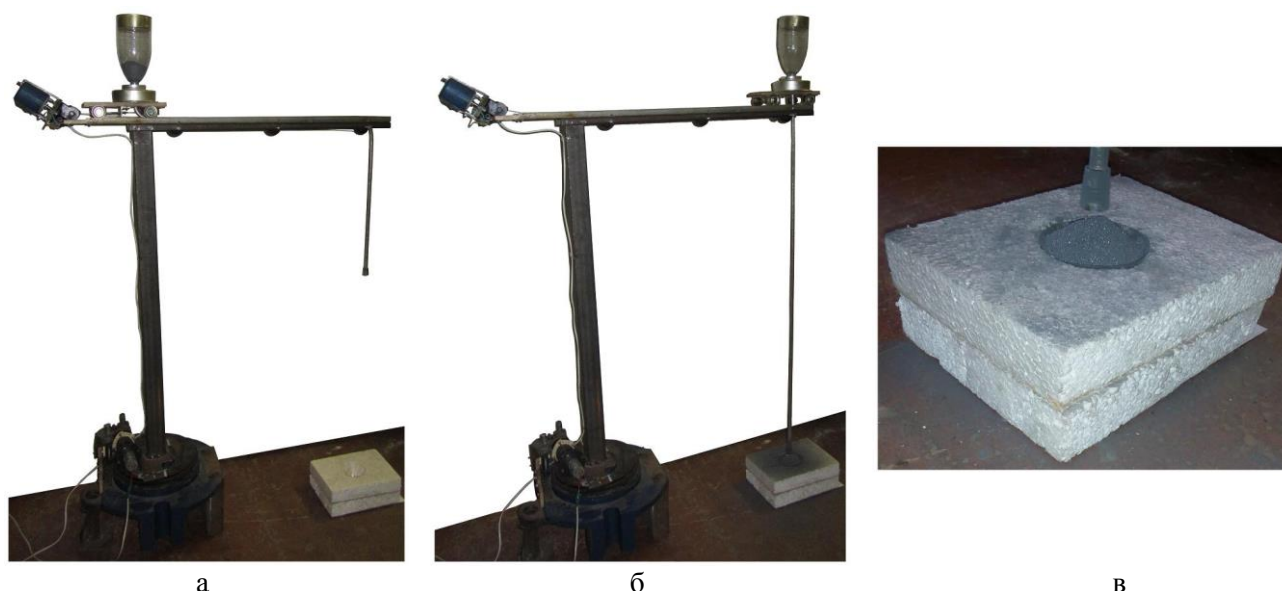


Рис. 3. Лабораторный образец системы механизированной подачи стартовой смеси в канал ковшового затвора:
а – в исходном положении; *б* – в конечном положении;
в – гнездовой блок модели ковша с заполненным смесью выпускным каналом

В ходе проводившихся тестовых испытаний осуществляли контроль точности позиционирования подающего металлорукава относительно центральной продольной оси модели выпускного канала сталеразливочного ковша, а также стабильности процесса его заполнения сыпучим материалом. При этом проверили функционирование механизмов поворота колонны и передвижения тележки и оценили вносимую ими долю погрешности позиционирования металлорукава относительно выпускного канала ковша. С этой целью предварительно выполнили настройку конечных выключателей, обеспечивающих остановку подвижных элементов исследуемой системы в нужных положениях относительно емкости, имитирующей верхнюю часть выпускного канала сталеразливочного ковша. Затем многократно осуществили перевод системы из исходного в рабочее положение и визуально контролировали процесс взаимодействия подвижно сопряженных деталей и точность подачи сыпучего материала в полость модели выпускного канала ковша. За абсолютную погрешность позиционирования принимали измеренное смещение оси металлорукава от оси выпускного канала.

Относительную погрешность позиционирования $\Delta_{отн}$ рассчитывали как отношение абсолютной погрешности $\Delta_{абс}$ к максимальному расстоянию $L_{макс}$ от оси ближайшей к основанию системы кинематической пары (т.е. поворотной колонны) до границы рабочей зоны:

$$\Delta_{отн} = \frac{\Delta_{абс}}{L_{макс}} \cdot 100\% .$$

Осредненное значение относительной погрешности позиционирования при моделировании определяли как среднеквадратическое по результатам 10-ти измерений. По полученным данным путем пересчета с использованием линейного масштаба лабораторного образца системы определили значения обеспечиваемых абсолютной и относительной погрешностей позиционирования промышленных систем, предназначенных для обслуживания сталеразливочных ковшей вместимостью 50, 100 и 250 т (табл. 1). Экспериментальная проверка функционирования механизмов предложенной системы механизированной подачи стартовой смеси подтвердила их работоспособность и обеспечение ими требуемой точности позиционирования металлорукава относительно выпускного канала разливочного ковша. Колебание металлорукава во время его опускания практически отсутствовало, что способствовало точному попаданию сыпучего материала в канал ковша.

Учитывая то, что одной из мотиваций для разработки усовершенствованной системы механизированной подачи стартовой смеси была необходимость устранения присущего известному прототипу недостатка, заключающегося в неравномерном расходе порошкообразного материала из-за его частичного развеивания в полости ковша под воздействием поднимающихся вверх потоков теплого воздуха, практический интерес представляет информация об исключаемых потерях смеси при использовании предложенной установки на ковшах различной вместимости.

Табл. 1. Расчетные параметры механизмов системы подачи стартовой смеси

Параметр	Вместимость ковша, т		
	50	100	250
Механизм поворота колонны			
скорость поворота, рад/с	0,26	0,26	0,26
мощность привода, кВт	0,3	0,5	1,0
абсолютная погрешность позиционирования, град.	0,3	0,4	0,5
относительная погрешность позиционирования, %	0,5	0,7	0,9
масса, кг	600	1200	2200
Механизм перемещения тележки			
скорость движения, м/с	0,3	0,4	0,5
мощность привода, кВт	0,12	0,15	0,2
абсолютная погрешность позиционирования, мм	10	15	20
относительная погрешность позиционирования, %	0,3	0,4	0,5
масса, кг	120	200	320

Табл. 2. Потери стартовой смеси при ее подаче свободной струей из расходного бункера в канал ковшового стакана

№ опыта	Высота расположения бункера над гнездовым блоком, м	Объем смеси в бункере перед высыпанием, см ³	Объем смеси в канале ковшового стакана, см ³	Относительные потери смеси, %
1	1,0	350	342	2,3
2			338	3,5
3			340	2,9
4	1,5	350	310	11,4
5			305	12,9
6			308	12,0
7	2,0	350	300	14,3
8			298	15,1
9			302	13,7

В связи с этим провели сопоставительный эксперимент, во время которого последовательно выполнили подачу одинакового объема стартовой смеси одного состава по двум вариантам: путем ее высыпания свободной струей из питающего бункера (рис. 1в) и подачи через гибкий направляющий рукав. При этом для создания поднимающегося вверх конвективного потока теплого воздуха в зоне расположения гнездового блока устанавливали мощный нагревательный элемент. Потери смеси определяли как разницу между объемом сыпучего материала, засыпаемого в расходный бункер, располагаемый на заданной высоте над гнездовым блоком ковша, и объемом материала, оказавшегося в канале ковшового стакана после пересыпания из бункера. В случае подачи стартовой смеси в канал разливочного стакана с использованием гибкого рукава потери материала полностью исключались (рис. 3в). Свободное ссыпание порошкообразного материала сопровождалось выделением из его конусообразной струи легковесных частиц под воздействием восходящего потока нагретого воздуха. Количество смеси, оседавшей за пределами периметра входного отверстия канала разливочного

стакана, заметно зависело от высоты расположения расходного бункера, о чем свидетельствуют результаты серии замеров, приведенные в табл. 2.

На основании полученной информации можно сделать предположение о том, что потери стартовой смеси, подаваемой в канал разливочного стакана ковша большой вместимости свободной струей с высоты от 3 до 5 м, могут достигать 20 %.

Выводы

Внедрение предложенной разработки позволит не только улучшить условия труда персонала сталеплавильных цехов, занятого обслуживанием разливочных ковшей, но и повысить качество и сократить время выполнения необходимых операций, а также обеспечить рациональное использование дорогостоящих стартовых смесей.

Список литературы

1. Еронько, С.П. Разливка стали. Оборудование. Технология / С.П. Еронько, С.В. Быковских. – К.: Техніка, 2003. – 216 с.
2. Россихина, Г.С. Разработка составов стартовых смесей для шибберных затворов сталеплавильных цехов.

- разливочных ковшей / Г.С. Россихина, Т.И. Золотарева // *Материалы Международной конференции «Технологии и оборудование для производства огнеупоров. Использование новых видов огнеупорных изделий в металлургической промышленности»*, 15-16 февраля 2006 г., Москва. – М., 2006. – С. 73-78.
3. Вислогузова, Э.А. Стартовые смеси для шибберных затворов – необходимое условие производства качественного металла / Э.А. Вислогузова, Л.В. Серова, М.А. Хороших // *Сталь*. – 2008. – №6. – С. 33-34.
 4. Земляной, К.Г. Стартовые смеси нового поколения / К.Г. Земляной, А.А. Куровский // *Новые огнеупоры*. – 2008. – №1. – С. 23-24.
 5. Особенности новых разработок в области основных огнеупоров / Л.М. Аксельрод [и др.] // *Новые огнеупоры*. – 2008. – №9. – С. 23-28.
 6. Голоперов, Ю.Л. Неформованные огнеупоры ООО «Метпромснаб» для металлургических предприятий России и СНГ / Ю.Л. Голоперов, Л.М. Антонов // *Новые огнеупоры*. – 2008. – №11. – С. 33-34.
 7. Chromium-bearing starting mixture for filling the steel-discharge channel of casting ladles / L.M. Aksel'rod [et al.] // *Steel in translation*. – 2010. – No.3. – Vol.40. – P. 265-267.
 8. Unmolded refractory material produced by ООО «Gruppa Magnezit» for filling the steel discharge channel of steel pouring ladles / L.M. Aksel'rod [et al.] // *Refractories and industrial ceramics*. – 2009. – No.6. – Vol.50. – P. 412-414.
 9. Опыт применения неформованных огнеупоров в металлургических агрегатах сталеплавильного производства ОАО «Уральская Сталь» / А.М. Степашин [и др.] // *Материалы Международной конференции «Технологии и оборудование для производства огнеупоров. Использование новых видов огнеупорных изделий в металлургической промышленности»*, 15-16 февраля 2006 г., Москва. – М., 2006. – С. 66-72.
 10. Пат. 2381088 РФ, МПК В22D 41/46. Огнеупорная смесь для засыпки канала сталеразливочного ковша / В.В. Смертин [и др.]; ООО «Группа «Мagneзит». – №2008139714/02; заявл. 06.10.2008; опубл. 10.02.2010.
 11. Pat. 2015009249 Japan, B22D 41/46, 11/10. Filler casting apparatus and filler casting method / S. Norio, Y. Mitsuru; JFE steel corp. – No.2013-135282; filed 27.06.2013; published 19.01.2015.
 12. Pat. 20110108970 Korea, B22D 41/46, 11/10. Apparatus and method for throwing filler into the nozzle of ladle / K.H. Gon, L.J. Hyeob; Hyundai steel CO. – No.10-2010-0028494; filed 30.03.2010; published 06.10.2011.
 13. Pat. 2002361404 Japan, B22D 41/46, 11/10. Bucket for charging sand and method for filling packing sand / T. Shimazaki [et al.]; Kurosaki harima corp. nisshin steel CO LTD. – No.2001-170145; filed 05.06.2001; published 18.12.2002.
 14. Pat. 2001353571 Japan, B22D 41/46, 11/10, F27D 3/14, C21C 5/46. Method for plugging molten metal discharging hole in molten metal vessel / K. Takahashi; Kawasaki steel CO. – No.2000-176227; filed 13.06.2000; published 25.12.2001.
 15. Pat. 0002688 Germany, B22D 41/46. Method for optimising the opening rate of steel-casting ladles / M. Dislich, H. Liebig, S. Kirchhoff; Siemens AG, Schulz Egon. – No.PCT/EP99/04671; filed 06.07.1999; published 20.01.2000.
 16. Штайнер, Б. Решения по автоматизации для шибберного ковшового затвора / Б. Штайнер, У. Труттман // *Черные металлы*. – 2009. – №5. – С. 28-35.
 17. Современные системы повышения качества и разливки стали для металлургических и литейных производств / В.И. Золотухин [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2012. – №3. – С. 222-227.
 18. Смирнов, А.Н. Влияние условий ковшовой подготовки и перелива металла в промежуточный ковш на стабильность процесса непрерывной разливки / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, Е.Н. Максаев // *Черная металлургия*. – 2016. – №1. – С. 51-56.
 19. Куклев, А.В. Практика непрерывной разливки стали / А.В. Куклев, А.В. Лейтес. – М.: Металлургиздат, 2011. – 432 с.
 20. Смирнов, А.Н. Непрерывная разливка стали / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, Е.В. Штепан. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.
 21. Разработка системы механизированной подачи стартовой смеси в канал ковшового затвора / С.П. Еронько [и др.] // *Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация»*. – 2017. – №3. – С. 54-59.

S.P. Eron'ko /Dr. Sci. (Eng.)/, M.Yu. Tkachev /Cand. Sci. (Eng.)/, P.M. Mateko
 Donetsk National Technical University (Donetsk)

THE SYSTEM OF MECHANIZED FEEDING OF THE STARTING MIXTURE INTO THE LADLE CHANNEL

Background. A comparative analysis of the advantages and disadvantages of the use of known meth-

ods and mechanisms for supplying a special starting mixture to the channel of the steel ladle, used at the stage of its preparation for filling with melt, showed that the current use of special devices with manual drives and existing mechanisms entails an unreasonable increase in the consumption of the starting mixture due to the lack of the necessary accuracy of feeding to a given point, as well as the impact on the unshielded jet of air convective flows outgoing from the heated lining of the ladle.

Materials and/or methods. The development of the system based on the fundamental principles of theoretical mechanics, the theory of mechanisms and machines, mechanics of liquids and gases, the theory of inventive problem solving (TIPS) and implemented with the use of methods of comparison, analysis, synthesis. Empirical studies of the parameters of the system carried out using methods of physical modeling through the laboratory experiments, followed by the use of the theory of errors and mathematical statistics in the processing of the results of the experiments.

Results. Design features and principle of operation developed by the authors of the system of mechanized feeding of the starting mixture into the ladle outlet channel, equipped with a gate valve, are the following. The starting mixture is fed by a flexible metal hose from a hopper placed on a trolley mounted on a rotary console and having the possibility of translational movement along it by means of a chain drive. The results of laboratory testing of the physical model of the system, as well as the method and the results of evaluation of the relative positioning error of the feed metal hose relative to the central longitudinal axis of the ladle outlet channel, confirm the performance of the main components and mechanisms of the new system which allows to automate this operation. The capacity values of the drives of the column rotation mechanism of the system for the feed conditions of the starting mixture into ladles with a capacity of 50, 100 and 250 tons respectively amounted to 0.3, 0.5, 1.0 kW, and the trolley movement mechanism – 0.12, 0.15, 0.2 kW.

Conclusion. The use of the system in the industry allows improving the conditions and increasing the safety of the personnel of steelmaking shops of metallurgical enterprises, reducing the consumption of expensive starting mixture, increasing the accuracy of its feed and remotely controlling this technological operation implemented thanks to the proposed new design at a qualitatively new technical level.

Keywords: steel ladle, outlet channel, starting mixture, flexible metal hose, physical model, drive, power.

Сведения об авторах

С.П. Еронько

SPIN-код: 5911-0900
 Author ID: 6701708282
 ORCID iD: 0000-0002-5806-4723
 Телефон: +380 (62) 301-08-39
 Эл. почта: ersp@meta.ua

П.М. Матико

Телефон: +380 (62) 301-08-35

М.Ю. Ткачев

SPIN-код: 9855-0447
 Author ID: 57189358257
 ORCID iD: 0000-0001-5795-9595
 Телефон: +380 (95) 360-92-22
 Эл. почта: mishel-tkachev@ya.ru

Статья поступила 22.01.2019 г.

© С.П. Еронько, М.Ю. Ткачев, П.М. Матико, 2019

Рецензент д.т.н., проф. А.В. Яковченко

