

М.Ю. Ткачев, В.Ф. Борисенко /к.т.н./, К.Н. Шаповалов, Д.С. Варницкий
 ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ЗАМЕНЫ ПОГРУЖНОГО СТАКАНА НА УЧАСТКЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОВШ-КРИСТАЛЛИЗАТОР МНЛЗ

Рассматриваются вопросы совершенствования электромеханической системы быстрой смены погружных стаканов на участке промежуточный ковш-кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Предложен роботизированный комплекс, реализующий установочные движения механизма на базе энергосберегающей системы электропривода.

Ключевые слова: манипулятор, погружной стакан, электропривод, система регулирования, преобразователь частоты.

Производство непрерывнолитой заготовки высокого качества является важной задачей, т.к. непрерывная разливка стали – это последний этап сталеплавильного производства. Общеизвестно, что погружные огнеупорные стаканы являются наиболее эффективным средством, обеспечивающим защиту разливаемой струи стали от вторичного окисления на участке промежуточный ковш-кристаллизатор машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Вместе с тем, эксплуатация защитных огнеупорных элементов сопряжена с необходимостью решения ряда задач, среди которых наиболее главной является необходимость ликвидации последствий их износа. Наиболее перспективными техническими решениями, позволяющими обеспечить непрерывность разливки стали на современных высокопроизводительных слябовых МНЛЗ, являются системы быстрой смены погружных стаканов и специальные манипуляторы, обеспечивающие установку резервного и уборку отработанного стаканов разливочного устройства промежуточного ковша [1,2]. Совершенствование систем быстрой смены погружных стаканов с целью обеспечения высокой производительности слябовых МНЛЗ является актуальной научно-технической задачей [3,4].

Следует отметить, что системы быстрой смены погружных стаканов конструкций таких иностранных фирм-производителей, как Interstop Corp., Vesuvius Group, Danieli & C. Officine Meccaniche S.p.A., Voest-Alpine, Stopping AG, Siemens VAI, Puyang Refractories Group, Metacon AG, Flocon INC, наряду с достоинствами имеют технические недоработки [5-8]. Кроме того, их отличает высокая стоимость из-за использования дорогостоящих средств автоматизации, а также значительные временные и материальные затраты

при обслуживании и эксплуатации, и необходимость участия разлищика в выполнении части операций в стесненных условиях высокой опасности в зоне повышенных температур [9,10]. Результаты патентного поиска и литературного анализа свидетельствуют о том, что наибольший вклад в автоматизацию систем быстрой смены погружных стаканов внесли французские, бельгийские и корейские исследователи [9,11,12]. Перспективным направлением совершенствования систем быстрой смены погружных стаканов является применение в них средств автоматизации, обеспечивающих определение положения манипулятора и возможность его плавного изменения относительно разливочного устройства в процессе подготовки к работе (средства пеленгации и обнаружения наличия и/или положения погружного стакана). Автоматика, управляющая работой приводов механизмов манипулятора, обеспечивающих требуемое число степеней свободы механической системы, организована с использованием лазерных детекторов, блоков управления, генераторов импульсов.

Среди отечественных разработок в этой области достаточно хорошо известны конструкции устройств быстрой смены НПП «Вулкан-ТМ» и системы, разработанные сотрудниками кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» [13,14]. Устройства отечественных разработчиков созданы с учетом недостатков зарубежных аналогов, однако вопрос автоматизации всей операции, особенно уборки изношенного стакана, остался неразрешенным до настоящего времени. Устранение данного недостатка требует проведения дальнейших исследований. В данной работе представлены результаты исследований, проведен-

ных авторами, с целью модернизации манипулятора, входящего в систему быстрой смены погружных стаканов, конструкция которой защищена патентами на изобретения [15,16].

Манипулятор (рис. 1) состоит из основания 16, на котором смонтирована поворотная колонна 15, установленная в нижней 17 и верхней 14 неподвижных подшипниковых опорах и снабженная пустотелой консолью 2, жестко связанной с платформой 9. На этой платформе размещен силовой гидроцилиндр 7 и на цапфах 4 и 6 закреплена скоба 8, несущая сменный погружной стакан 5. Скоба 8 имеет возможность поворота в вертикальной плоскости относительно пустотелой консоли с помощью механизма, включающего трансмиссионный вал 3, установленный внутри консоли в подшипниковых опорах 10 и 11 и удерживающий на конце, обращенном к поворотной колонне 15, рычаг 12, снабженный роликом 13, размещенным в профилированном направляющем пазу, выполненном на наружной цилиндрической поверхности корпуса верхней неподвижной подшипниковой опоры 14 поворотной колонны. Другой конец трансмиссионного вала жестко связан с цапфой 4 несущей скобы 8. Нижняя часть поворотной колонны 15 снабжена зубчатым венцом 1, посредством зубчатых передач связанным с электромеханическим приводом 18, закрепленным на основании 16.

Принцип работы предлагаемой системы быстрой замены погружных стаканов поясняет рис. 2.

Во время серийной разливки стали манипулятор расположен в исходной позиции на рабочей площадке 19 перед промежуточным ковшом 20, оборудованным разливочным устройством 21, снабженным защитным стаканом 22, нижняя часть которого погружена в расплав, находя-

щийся в кристаллизаторе 23. В этой позиции поворотная колонна 15, консоль 2 и несущая скоба 8, с установленным в ней сменным погружным стаканом 5, занимают относительное положение, показанное на рис. 2а. При этом разогретый до нужной температуры сменный стакан 5 расположен горизонтально и удерживается зажимами несущей скобы 8, развернутой в вырезе платформы 9. Фиксация скобы со стаканом относительно платформы обеспечена трансмиссионным валом 3, рычаг 12 которого своим роликом 13, находящимся в профилированном направляющем пазу, удерживает указанные элементы механизма в заданном положении.

Для замены погружного стакана запускают привод 18, который через зубчатые передачи и венцы 1 осуществляет поворот колонны 15 в нижней 17 и верхней 14 неподвижных подшипниковых опорах. Вместе с колонной поворачивается пустотелая консоль 2 и установленный внутри неё в подшипниковых опорах 10 и 11 трансмиссионный вал 3 (см. рис. 1) с прикрепленным рычагом 12. Ролик 13, перекатываясь в направляющем пазу, выполненном на наружной цилиндрической поверхности верхней неподвижной опоры 14, воздействует на конец рычага 12, поворачивающего трансмиссионный вал в опорах 10 и 11 относительно консоли 2. Вращение вала 3 через цапфу 4 передается скобе 8, которая осуществляет поворот относительно платформы 9 сменного погружного стакана 5 (рис. 2б) до полного его перевода в вертикальное положение. Этот перевод завершится при подходе стакана к торцу разливочного устройства 21 и расположении его соосно с направляющими. После этого силовым цилиндром 7, расположенным на платформе 9, сменный стакан 5 перемещается по направляющим разливочного устройства 21 до тех пор, пока он не займет место вы-

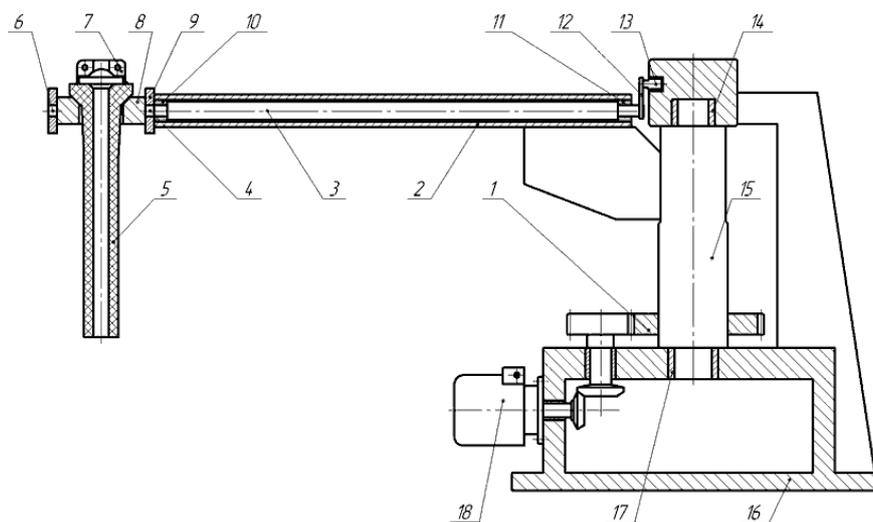
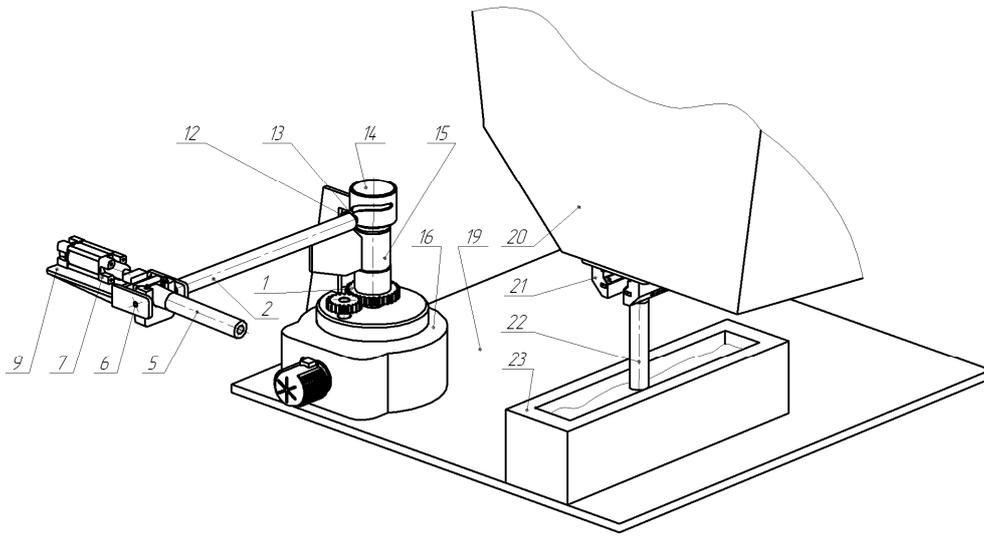
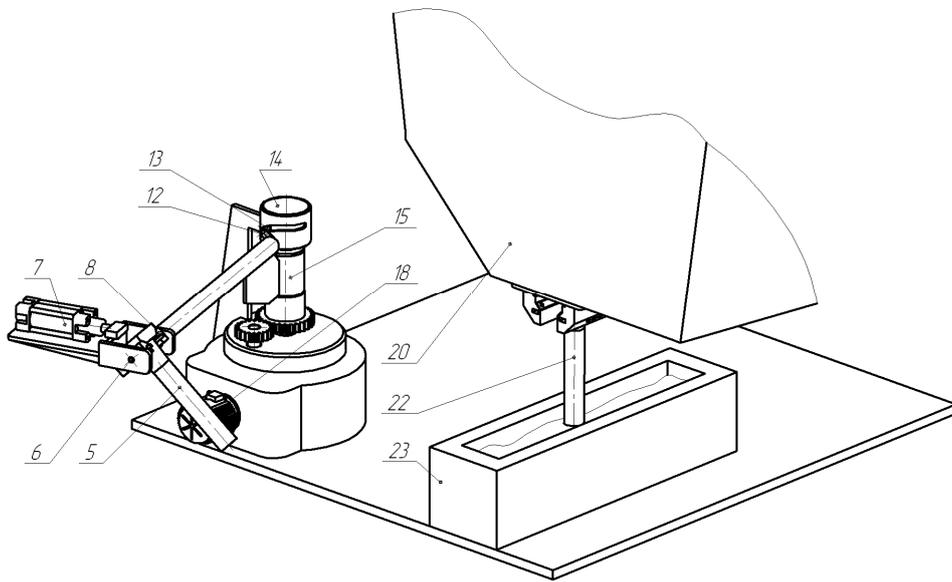


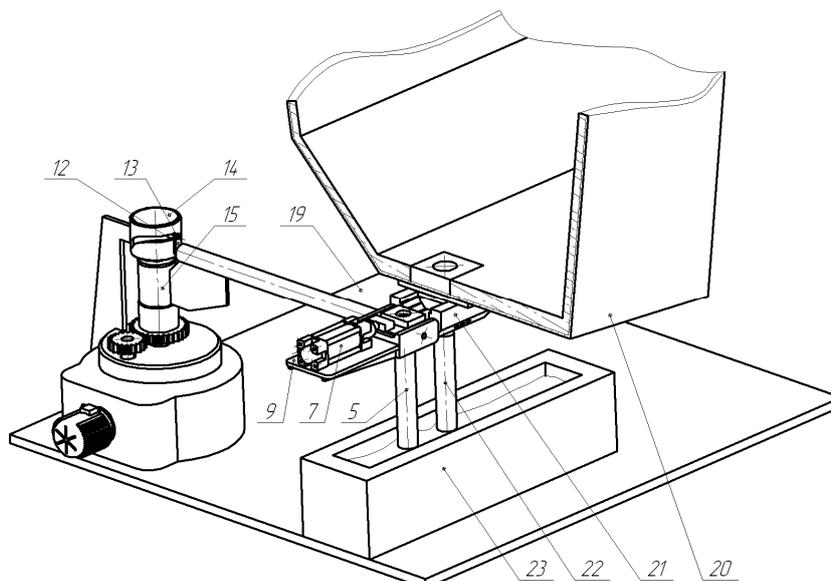
Рис. 1. Схема разработанной системы быстрой смены погружного стакана



а



б



в

Рис. 2. Последовательность выполнения операции быстрой смены погружных стаканов

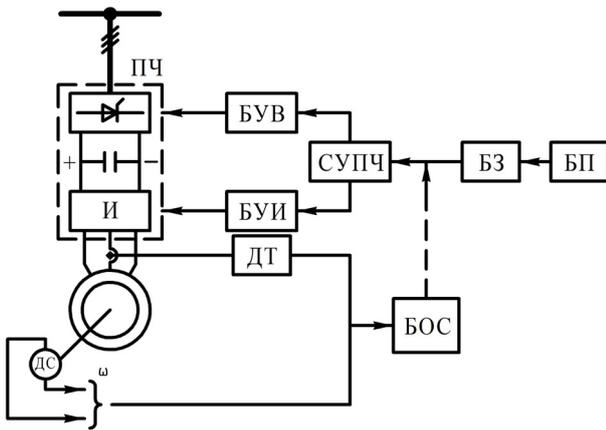


Рис. 3. Предлагаемая система регулирования электропривода ПЧ-АД:

И – инвертор; ПЧ – преобразователь частоты;
 БУВ – блок управления выпрямителем;
 БУИ – блок управления инвертором;
 СУПЧ – система управления преобразователем частоты; БЗ – блок задания; БП – блок питания;
 ДС – датчик скорости; ДТ – датчик тока;
 БОС – блок обратных связей

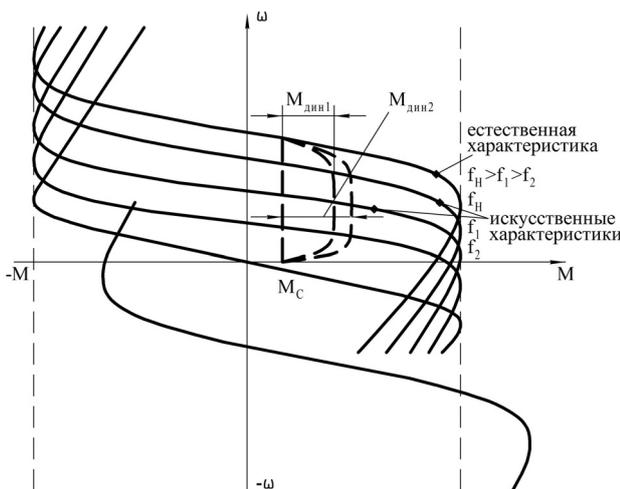


Рис. 4. Механические характеристики привода манипулятора

шедшего из строя погружного стакана 22, экранящего струю стали, истекающей из промежуточного ковша 20 в кристаллизатор 23 (рис. 2в). Скорость перемещения стаканов такова, что процесс их замены длится 0,2-0,3 с, т.е. практически без прерывания струи жидкой стали. Заменённый погружной стакан удаляют из направляющих пазов разливочного устройства с помощью специального приспособления, а консоль манипулятора возвращается в исходную позицию при повороте колонны в обратном направлении. В исходной позиции элементы конструкции манипулятора не препятствуют перемещению тележки с промежуточным ковшом при аварийном съезде или в случае передачи ковша на ремонтную площадку для замены его футе-

ровки.

Для управления угловой скоростью ω асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором электромеханического привода манипулятора рекомендуется использовать систему частотного регулирования ПЧ-АД (преобразователь частоты-асинхронный двигатель), структурная схема которой приведена на рис. 3. Указанная система регулирования электропривода хорошо зарекомендовала себя в эксплуатации благодаря ряду преимуществ. Среди них, безусловно, следует отметить простоту наладки; возможность обеспечения удаленной диагностики привода по промышленной сети; реализацию плавного пуска и управляемого торможения, а также автоматический перезапуск при пропадании сетевого напряжения; стабилизацию скорости вращения при изменении нагрузки; гарантию высокой точности регулирования.

Основными звеньями системы регулирования являются приводной двигатель и преобразователь частоты, который может быть настроен на работу либо со скалярной системой управления, либо – с векторной. Для реализации системы предварительно необходимо выразить закон управления. Отношение напряжения U к его частоте питающей сети f наиболее часто принимают постоянным. В этом случае в большом диапазоне регулирования $D = \omega_{max}/\omega_{min}$, максимальный момент двигателя остается неизменным [17]. Система регулирования позволяет сформировать желаемый закон управления $\omega(t)$ посредством задания значений динамического момента как функции от угловой скорости $M_{дин}(\omega)$ с учетом статического момента сопротивления M_c на валу электродвигателя. Типовые кривые механических характеристик электропривода манипулятора для замены погружных стаканов приведены на рис. 4.

На рис. 4 момент сил сопротивления M_c принят постоянной величиной (в действительности изменяется в пределах 27,6 %). Это допущение значительно упрощает выбор характера изменения динамического момента двигателя $M_{дин}(\omega)$. В процессе выбора $M_{дин}(\omega)$ предполагается, что на начальном этапе разгона системы и при выходе ее на режим установившегося вращения имеет место ограничение ускорения, что требует, в свою очередь, плавного изменения динамического момента от нуля до установившегося $M_{дин}$ на этапе активного набора скорости. В данном случае характер изменения $M_{дин}(\omega)$ может быть принят трапецеидальным, что и было реализовано на физической модели роботизированного комплекса. Авторами работы рассматривались два крайних значения $M_{дин1}$ и $M_{дин2}$, реализую-

щих ускорения системы в заданном диапазоне угловых ускорений $\varepsilon_{\min}-\varepsilon_{\max}$. При этом в процессе разгона системы, как отмечалось выше, обеспечивался закон регулирования $U/f=\text{const}$ при задании частоты от $f_{\text{нач}}$ до f_n , и, наоборот, – от f_n до $f_{\text{нач}}$ при ее замедлении.

В настоящее время авторами рассматривается несколько более сложных законов управления (первый из них – оптимальный по ограничению ускорений, в том числе во время пуска; второй – оптимальный по реализации разгона за минимально допустимое время), в отличие от изложенного выше, а также возможность использования двигателя с повышенным скольжением с целью минимизации времени разгона в регламентируемых пределах при ограничении динамических нагрузок на допустимом уровне. Предполагается, что с их помощью удастся в большей степени удовлетворить комплекс требований, предъявляемых технологией непрерывной разливки стали на современных высокопроизводительных МНЛЗ.

Выводы

Таким образом, усовершенствованный роботизированный комплекс, включающий манипулятор для замены погружного стакана слябовой МНЛЗ, обслуживающий разливочное устройство, позволит реализовать операцию быстрой замены стаканов полностью дистанционно и в автоматическом режиме для машин с любым количеством ручьев и типом подъемно-транспортного механизма промежуточного ковша. Несмотря на значительные капитальные затраты из-за использования дорогостоящих средств регулирования электропривода, предлагаемая система управления ПЧ-АД оправдывает свое применение за счет обеспечения стабилизации скорости движения звеньев манипулятора в условиях переменной нагрузки от изменяющегося в пространстве положения погружного огнеупорного стакана, возможности удаленной диагностики электродвигателя и максимально гибкой его адаптации к разнообразным производственным условиям.

Список литературы

1. Смирнов А.Н., Куберский С.В., Штепан Е.В. Непрерывная разливка стали. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.
2. Паршин В.М., Буланов Л.В. Непрерывная разливка стали. – Липецк: ОАО «НЛМК», 2011. – 221 с.
3. 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.

4. Еронько С.П., Ошовская Е.В., Яковлев Д.А. Расчет энергосиловых параметров системы быстрой замены погружных стаканов при непрерывной разливке стали / *Черная металлургия*. – 2010. – №8. – С. 30-35.
5. Ткачев М.Ю., Еронько С.П. Модернизация системы быстрой смены погружных стаканов промежуточного ковша при производстве слябовой заготовки / *Материалы IV между- студентской науч.-практ. конф. «Техника и технология машиностроения»*. – Омск: ОмГТУ, 2015. – С. 243-250.
6. Chaudhuri J., Choudhuri G., Kumar S., Rajgopalan V. New generation ladle slide gate system for performance improvement / *MPT International*. – 2007. – Vol.30, No.6. – P. 38-42.
7. Mutsaerts P. Submerged entry nozzle exchange system for tundishes / *Millenium Steel*. – 2006. – P. 143-146.
8. Achieving higher performance & longer service life of Slide Plate / J. Chaudhuri, G. Choudhuri, S. Kumar et. al. // *Iron & Steel Review*. – 2007. – June. – P. 86-91.
9. Brevet 1011299 Royaume de Belgique, B22D41/56. Appareil de manutention automatique d'un tube de coulée / S.J. Knapik; S.J. Knapik. №09700638; date de dépôt 23.07.1997; publié 06.07.1999. – 18 p.
10. Patent 5971060 USA, B22D11/10. Slab continuous casting machine having immersing nozzle replacing apparatus and method of replacing immersing nozzle / M. Ikeda, M. Hashio, M. Koide; Sumitomo Heavy Industries Ltd, Japan. №09/008,630; filed 16.01.1998; date of patent 26.10.1999. – 27 p.
11. Patent 20030001662 Korea, B22D41/56. Apparatus for exchanging submerged nozzle / C.S. Yeop; Yoohan Prec Co Ltd, Korea. №20010036467; filed 26.06.2001; date of patent 01.08.2003. – 14 p.
12. Patent 20040031309 Korea, B22D41/56. Exchange apparatus of submerged nozzle for tundish / A.D. Yeong, K.Y. Min, K.J. Seok; Posco, Korea. №1020020060699; filed 04.10.2002; date of patent 13.04.2004. – 8 p.
13. Еронько С.П., Цупрун А.Ю., Дубойский К.В. Совершенствование разливочных систем промежуточных ковшей МНЛЗ / *Электрометаллургия*. – 2009. – №7. – С. 37-43.
14. Еронько С.П., Смирнов А.Н., Яковлев Д.А. Устройство для быстрой замены стаканов-дозаторов промежуточного ковша сортовой МНЛЗ / *Черная металлургия*. – 2007. – №2 –

- С. 70-73.
15. Патент 96891 Україна, В22D41/56, В22D11/106. Маніпулятор для заміни занурювального стакану на слябовій машині безперервного лиття заготовок / С.П. Єронько, М.Ю. Ткачов, К.В. Дубойський; Донец. нац. техн. ун-т. №2010155511; заявл. 23.12.2010; опубл. 12.12.2011. Бюл. №23. – 5 с.
16. Патент 104227 Україна, В22D41/56. Пристрій для заміни занурювального стакану проміжного ковша машини безперервного лиття заготовок / С.П. Єронько, М.Ю. Ткачов; Донец. нац. техн. ун-т. №201208740; заявл. 16.07.2012; опубл. 10.01.2014. Бюл. №1. – 7 с.
17. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.

M.Y. Tkachev, V.F. Borisenko /Cand. Sci. (Eng.)/, K.N. Shapovalov, D.S. Varanitsky
Donetsk National Technical University (Donetsk)

**DEVELOPMENT OF A ROBOTIZED COMPLEX
 FOR THE SUBMERGED NOZZLE CHANGE
 AT THE STAGE OF A TUNDISH-MOLD CCM**

Background. Current foreign and native systems of a quick change of submerged nozzles, which provides continuous steel casting at the stage of a tundish-mold CCM, have a number of disadvantages: high cost, design defects, high time consumption and money expenses on their exploitation and maintenance, manual drive manipulators, presence of an operator in the hazardous area. The improvement of the quick change systems of submerged fireproof nozzles due to the substantiation of their rational parameters is an important scientific technical task.

Materials and/or methods. The research implies patent search and comparative analysis of the advantages and disadvantages of technical solutions concerning the manipulators for the submerged nozzles change and their drive automation.

Results. A new design of the manipulator for the submerged nozzle change of the slab CCM tundish has been provided, as well as for its electromechanical drive regulation system by way of its frequency regulation 'frequency converter-asynchronous motor' which eliminates all the disadvantages of modern technical solutions. The main components of the regulation system are a drive motor and a frequency converter. The given system allows us to frame the necessary law of the electromechanical drive control of the system manipulator of a quick change of submerged nozzles.

Conclusion. Industrial exploitation of the given robotized complex enables the remote and semi-automatic quick change of a submerged nozzle at the stage of a tundish-mold CCM. The present solution complies with the conditions of the continuous steel casting at modern highly efficient slab CCMs with any number of strands, as well as various types of lifting-and-shifting mechanisms of the tundish. The introduction of this engineering development allows us to increase the prime yield by 0.15 %, to reduce the operation time on submerged nozzle change by 42 %, to facilitate operating CCM personnel work in highly hazardous conditions, to fully substitute the import of the quick change systems. The regulation system of the manipulator electric drive enables us to minimize energy consumption, to provide soft start and controlled drive motor braking, to stabilize the rotation speed while the load changes, to ensure high precision of regulation.

Keywords: manipulator, submerged nozzle, electric drive, system of regulation, frequency converter.

Сведения об авторах

М.Ю. Ткачев

SPIN-код: 9855-0447
 Телефон: +380 (95) 360-92-22
 Эл. почта: mishel-tkachev@yandex.ru

К.Н. Шаповалов

Телефон: +380 (95) 255-97-70
 Эл. почта: kiko895623@gmail.com

В.Ф. Борисенко

Телефон: +380 (50) 109-13-49
 Эл. почта: borissenko.vp@gmail.com

Д.С. Вараницкий

Телефон: +380 (66) 859-32-90
 Эл. почта: deman820@gmail.com

Статья поступила 11.06.2015 г.

*© М.Ю. Ткачев, В.Ф. Борисенко, К.Н. Шаповалов, Д.С. Вараницкий, 2016
 Рецензент д.т.н., проф. С.П. Єронько*