

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ БЫСТРОЙ СМЕНЫ ПОГРУЖНЫХ СТАКАНОВ СЛЯБОВОЙ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

На основании анализа преимуществ и недостатков известных отечественных и зарубежных конструкций систем быстрой смены погружных огнеупорных стаканов слябовых машин непрерывного литья заготовок предложено и запатентовано новое решение, использование которого позволяет автоматизировать технологическую операцию, сократить ее продолжительность и исключить образование некондиционной заготовки, формирующейся в этот период времени в кристаллизаторе. Работоспособность системы подтверждена в процессе испытаний физической модели.

Ключевые слова: машина непрерывного литья заготовок, погружной огнеупорный стакан, промежуточный ковш, разливочное устройство, манипулятор.

Постановка проблемы

Погружные огнеупорные стаканы, экранирующие струю непрерывно разливаемой стали от окисления атмосферным кислородом на участке промежуточный ковш – кристаллизатор слябовой машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), подвержены влиянию комплекса физико-химических факторов, что приводит к их преждевременному выходу из строя по ряду причин:

- зарастания внутренних полостей тугоплавкими отложениями [1];
- эрозийного разрушения поверхности огнеупора в зоне шлакового пояса [2];
- растрескивания тела стакана по причине теплового удара, а также из-за необоснованно завышенного значения усилия его прижатия к сталевыпускному стакану [2].

В процессе производства данного вида огнеупоров применяют различные приемы, повышающие стойкость и срок службы стаканов в ходе эксплуатации. К ним относятся: нанесение специальных покрытий, установка вставок из циркония в зоне шлакового пояса, разработка особых конструкций изделия и т.д. Однако на практике полного устранения негативного влияния перечисленных процессов не удалось достичь.

В настоящее время срок службы кварцевых стаканов составляет 2,5...3 плавки, а при использовании корундографитовых огнеупоров с цирконовыми вставками – 8...10 плавков. До недавнего времени операцию по смене вышедшего из строя погружного стакана проводили с помощью ручного манипулятора при кратковременном перекрытии выпускного отверстия сталевы-

пускного стакана промежуточного ковша стопором-моноблоком или с использованием шиберного затвора, что вызывало необходимость снижения скорости разливки и приводило к формированию так называемого «пояса» (пережима) на слитке. Сегодня замена погружных стаканов на отечественных и зарубежных предприятиях, как правило, выполняется с применением силового гидроцилиндра, осуществляющего смену без прекращения разливки. Однако длительное нахождение нового и отработанного погружных стаканов в кристаллизаторе, обусловленное тем, что подача первого и уборка второго проводится вручную, влечет нарушение гидродинамики потоков расплава в нем, а это приводит к снижению качества заготовки и выхода годного [3...6]. На некоторых заводах были предприняты попытки механизации операции, но ожидаемого эффекта эти мероприятия не принесли, поскольку эксплуатация конструкций специальных захватных устройств с ручным приводом вынуждает рабочих находиться в стесненных условиях с повышенной температурой воздуха окружающей среды. Длительность операции зависит при этом от их навыков и оперативности взаимодействия. Таким образом, задача механизации и автоматизации операции замены погружного стакана слябовой МНЛЗ является до настоящего времени полностью не решенной и актуальной.

Анализ последних исследований и публикаций

Анализ результатов проведенного патентного поиска и литературного обзора свидетель-

ствуется о том, что используемые для замены погружного стакана устройства (силовой гидроцилиндр; разливочное устройство промежуточного ковша, непосредственно удерживающее защитный огнеупор во время разливки и смены; специальные захватные приспособления, манипуляторы), применяются и работают автономно в строгой последовательности. Более того, большинству из них присущи существенные недостатки (табл. 1), приводящие к необоснованному увеличению временных и материальных затрат в процессе технического обслуживания и ремонта.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о том, что ни зарубежным, ни отечественным ведущим разработчикам и производителям металлургического оборудования не удалось до настоящего времени удовлетворительно разрешить задачу автоматизации замены погружного стакана слябовой МНЛЗ.

Цель (задачи) исследования

Целью настоящей работы является обобщение опыта разработки перспективной с точки зрения внедрения системы быстрой смены погружных стаканов слябовой МНЛЗ, обеспечивающей механизацию всех выполняемых при этом операций.

Основной материал исследования

С целью устранения необходимости привлечения рабочих в количестве трех человек (рис. 1) для выполнения технологической операции замены изношенного погружного стакана (рис. 2), а также ее автоматизации, сотрудниками ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (ДНУ) и ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический уни-

верситет «МИСиС» (РФ) была разработана и запатентована конструкция специального манипулятора (рис. 3) [15].

Манипулятор стационарно располагается на разливочной площадке МНЛЗ с боку промежуточного ковша 26, тем самым не создавая помех для перевода его из рабочей позиции в резервную. Его основными компонентами являются механизм подачи нового погружного стакана 6; переталкивающее устройство, осуществляющее благодаря наличию гидроцилиндра 10 смену огнеупоров в течение 0,2...0,3 с без прекращения разливки; механизм уборки изношенного погружного стакана 27; механизм настройки положения основания (базы) 2 манипулятора и, следовательно, его захватных устройств 11 и 29 относительно главной оси разливки в системе координат x, y, z .

Механизм настройки положения основания 2 обеспечивает его перемещение вдоль трех взаимно перпендикулярных осей относительно стационарно размещенной на разливочной площадке МНЛЗ рамы манипулятора. Причем для перемещения в горизонтальной плоскости служат два винтовых механизма, приводимых в действие вручную с помощью маховичков 3 и 5, а движение основания в направлении вертикальной оси вдоль фиксирующих направляющих стоек 23 обеспечено с помощью мотор-редуктора 24, конической зубчатой пары и винтовой передачи. Мотор-редуктор 24 имеет систему управления с обратной связью и датчиком положения промежуточного ковша 26, который на несколько сантиметров приподнимается в процессе разливки для продления срока службы погружного стакана, подверженного эрозии в зоне шлакового пояса.

Табл. 1. Устройства, применяющиеся при замене погружных стаканов

Разработчик (фирма, организация)		Недостатки
Vesuvius Group SA (Бельгия) [7]		Необходимость прекращения разливки на время проведения операции
НПО «Доникс» (Украина) [8]		Несоответствие условиям разливки на двухручье-вых МНЛЗ, так как манипулятор является помехой для самоходной тележки промежуточного ковша
Кафедра «Механическое оборудование заводов чёрной металлургии» (МОЗЧМ) ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»	[9]	Отсутствие механизированной уборки изношенного стакана. Неприспособленность конструкции к изменению положения промежуточного ковша
	[10]	
Yoohan Prec CO LTD (Корея) [11]		Необходимость наличия большого количества свободного места на разливочной площадке и непосредственного присутствия оператора
Sumitomo Heavy Industries (Япония) [12]		Ручной привод
Posco (Корея) [13]		Избыточное количество приводов
Конструкция инженера С.Дж. Кнапика (Бельгия) [14]		Нерациональные компоновочная схема и габаритные размеры



а



б



в

Рис. 1. Замена погружного стакана слябовой МНЛЗ на зарубежных предприятиях:
а – с использованием манипулятора с ручным приводом; б – доставка предварительно разогретого стакана на специальной тележке; в – ручная установка нового огнеупорного стакана в разливочное устройство промежуточного ковша

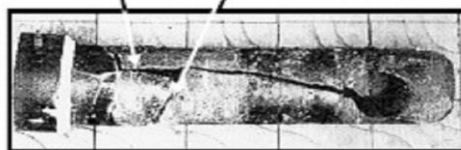


а



а

Продольная трещина Окружная трещина



в

Рис. 2. Характерные причины преждевременного выхода из строя погружных стаканов:
а – зарастание выпускных отверстий тугоплавкими отложениями;
б – эрозийный износ в зоне шлакового пояса; в – растрескивание стакана

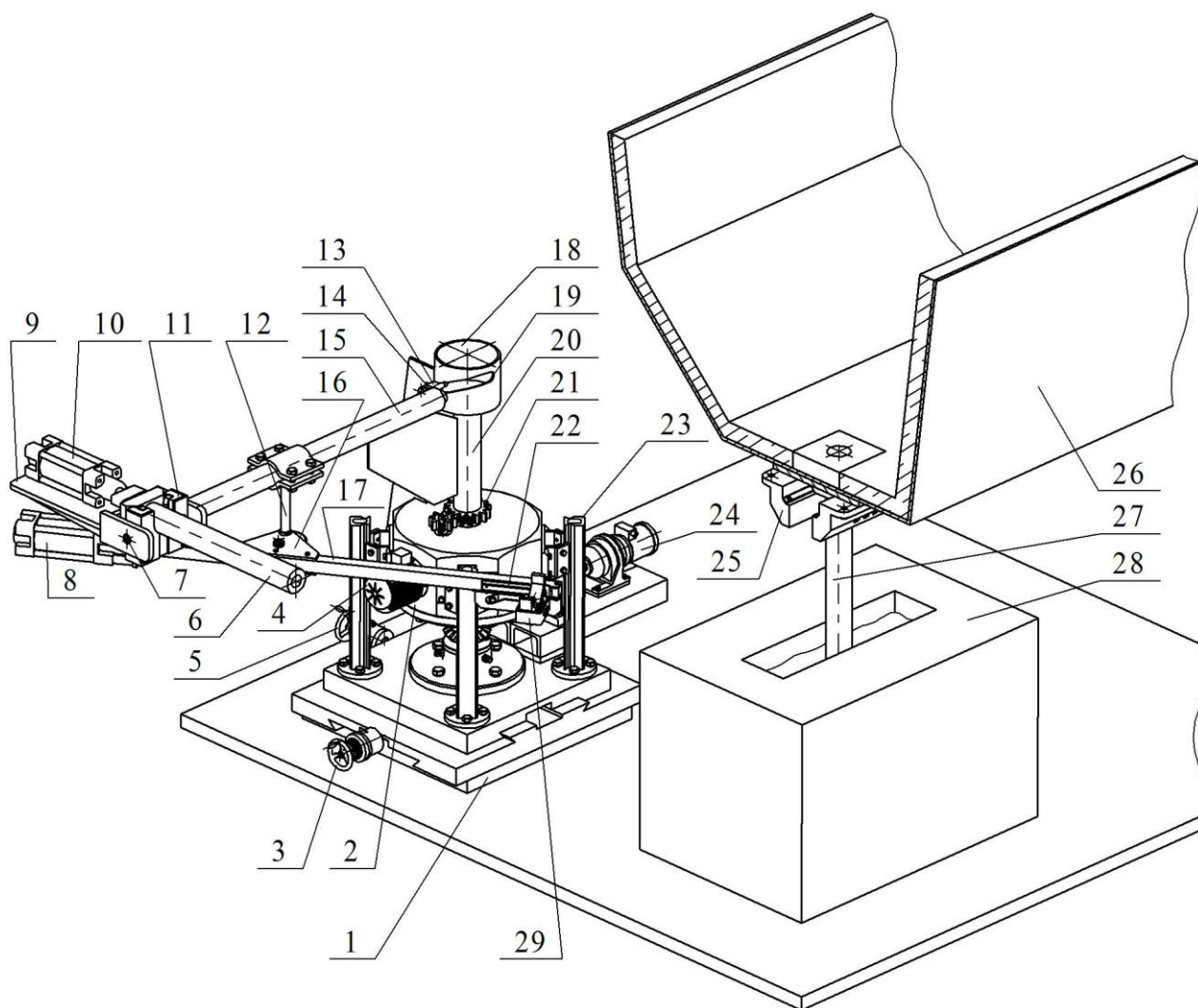


Рис. 3. Новая конструкция манипулятора для замены погружного стакана на слябовой МНЛЗ

Механизм подачи нового погружного стакана 6 к направляющим разливочного устройства 25, установленного на днище промежуточного ковша 26, включает в себя поворотную колонну 20, снабженную зубчатым венцом 21 и жестко соединенную с пустотелой консолью 15. Внутри консоли расположен трансмиссионный вал, соединенный с одной стороны с захватным устройством 11, а с другой – с рычагом 14, несущим ролик 13, размещенный в профилированном пазу 19 верхней неподвижной подшипниковой опоры 18 колонны 20. Механизм приводится в движение мотор-редуктором 4. Заведение нового погружного стакана в полость кристаллизатора 28 осуществляется по сложной траектории, являющейся результатом перемещений в пространстве захватного устройства 11 (абсолютного в горизонтальной плоскости – во время вращения колонны и консоли относительно неподвижного основания, и относительного в вертикальной плоскости – при вращении трансмиссионного вала с захватным устройством 11 относительно шарнирной опоры 7).

По завершении подачи нового стакана 6 к направляющим разливочного устройства 25 осуществляется быстрая смена комплекта огнеупоров силовым гидроцилиндром 10, расположенным на платформе 9, жестко соединенной с консолью 15.

Механизм уборки изношенного стакана 27 соединен с механизмом уборки посредством неподвижно закрепленной на консоли 15 оси 12. Приводится в движение механизм при помощи гидроцилиндра 8. Благодаря конструктивным особенностям (наличию планетарной и реечной передач 22, кулачкового механизма в кинематической цепи) захват замененного стакана и его удаление из полости кристаллизатора также осуществляются по сложной траектории, состоящей из абсолютного перемещения в пространстве захватного устройства 29 во время вращения горизонтальных щек 16 с корпусом 17 механизма уборки относительно оси 12, а также двух относительных перемещений (поступательного – в горизонтальной плоскости и вращательного – в вертикальной). После завершения выведения из-

ношенного стакана из кристаллизатора манипулятор возвращается в исходное положение за счет реверса мотор-редуктора 4.

Благодаря выше представленной компоновке элементов в системе удастся сократить общую продолжительность проведения операции, во-первых, за счет отсутствия дополнительной необходимости манипулирования в пространстве гидроцилиндром, во-вторых, в силу исключения человеческого фактора. Сокращение времени, затрачиваемого на проведение операции, в свою очередь приводит к снижению длительности действия неблагоприятных гидродинамических условий кристаллизации непрерывнолитого слитка. Вследствие этого повышается выход годного за счет отсутствия некондиционного участка заготовки, формирующегося при использовании устройств-аналогов.

Особенностью разработанной конструкции манипулятора является реализация меньшим количеством приводных двигателей (степеней свободы механизма) большего числа координат, предопределяющих положение в пространстве его захватного устройства. Таким образом, в рассмотренной конструкции воплощен принцип механической автоматизации, что позволяет показатели надежности манипулятора (вспомогательной машины) приблизить к показателям по МНЛЗ как агрегату (основному оборудованию) в целом.

В ходе исследований, результаты которых

отображены в [16], была доказана целесообразность оценки эффективности конструкции манипулятора, состоящего из нескольких функциональных механизмов, работающих в условиях ограниченного пространства, представлять в виде отношения суммы независимых и зависимых координат, описывающих движение захватных устройств, к числу приводов, обеспечивающих реализацию этих движений. Значение такого, впервые предложенного критерия, находится в пределах 1...3, и с его повышением в пределах указанного диапазона пропорционально уменьшаются на 17...68 % масса, 17...47 % стоимость и 22...35 % энергопотребление приводов манипулятора.

С целью проверки работоспособности заложенных в конструкцию системы решений была спроектирована и изготовлена в масштабе 1:2,5 физическая модель манипулятора (рис. 4). Для решения этих задач предварительно была разработана методика расчета конструктивных, кинематических и энергосиловых параметров механизмов манипулятора (подачи нового и уборки изношенного погружных стаканов), установленного на нем силового гидроцилиндра, реализующего быструю замену [17,18].

Тестирование манипуляционной системы на различных режимах, в том числе с имитацией аварийного прерывания разлива, подтвердило правильность принятых на этапе разработки конструкции технических решений.



Рис. 4. Физическая модель манипулятора для быстрой замены погружного стакана слябовой МНЛЗ

Эмпирические исследования, проводившиеся с использованием физической модели манипулятора системы быстрой смены погружных стаканов, были направлены на верификацию впервые разработанной его математической модели. Модель учитывает ограничения, налагаемые свободным объемом рабочего пространства разливочной площадки, и включает формулы для расчета момента сопротивления, действующего на привод механизма подачи нового стакана, и силы сопротивления, преодолеваемой приводом механизма уборки отработанного стакана. При этом принимались во внимание следующие факторы: силы и моменты инерции структурных групп, реакции в опорах и моменты трения в них.

Экспериментальные исследования позволили также получить уточняющие данные для обоснования в теории расчета кинематических и энергосиловых параметров системы ее необходимого быстродействия и выдать рекомендации для проектирования промышленного образца [5].

На физической модели манипуляционной системы по общеизвестной методике определили класс точности с установлением погрешности позиционирования двух ее захватных устройств. Исследование показало, что манипулятор относится к 3-му классу точности, поскольку средняя точность позиционирования захватных устройств механизма подачи и уборки погружных

стаканов составила соответственно 0,4 и 0,3 %. Поэтому он может эксплуатироваться в современных сталеплавильных цехах, имеющих в своем составе слябовые МНЛЗ с любым количеством ручьев.

Технические характеристики системы быстрой смены погружных стаканов на слябовой МНЛЗ приведены в табл. 2.

Использование разработанной системы позволит сократить продолжительность операции в 2,4 раза (с 70 до 29 с) в сравнении с зарубежными аналогами. Благодаря этому, а также отсутствию кратковременного прекращения разлива для проведения операции по старой технологии повышается выход годного на 152 т в год в условиях сталеплавильного цеха с годовой производительностью 2,5 млн. т.

Наряду с этим, благодаря повышению ремонтпригодности и надежности структурных механизмов системы, снизятся годовые расходы на заработную плату ремонтному персоналу и покупку запасных частей. Согласно проведенным расчетам, ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения разработки составляет 2 632 940 руб., а срок окупаемости – 15 месяцев.

Направлением дальнейших работ следует признать уточняющие исследования сложного деформированного состояния погружных стаканов слябовой МНЛЗ, смена которых проводится системой в динамическом режиме работы.

Табл. 2. Техническая характеристика опытно-промышленного образца системы быстрой смены погружных стаканов

Структурная часть системы	Параметр		Значение
Манипулятор	Мощность приводного двигателя механизма поворота колонны, кВт		0,25
	Мощность приводного двигателя механизма уборки стакана, кВт		0,18
	Мощность приводного двигателя механизма вертикального перемещения базы манипулятора		0,25
	Продолжительность подачи сменного стакана с позиции загрузки к разливочному устройству, с		15
	Продолжительность захвата и уборки отработанного стакана из рабочей зоны, с		18
	Масса, кг		206
Силовой гидроцилиндр	Тип гидроцилиндра		плунжерный
	Диаметр плунжера, мм		80
	Ход плунжера, мм		180
	Сила прижатия стакана, кН		26,2
	Рабочее давление, МПа		10
	Скорость перемещения плунжера, м/с	при запуске от маслостанции	0,15
		при запуске от гидроаккумулятора	0,45
	Максимальное развиваемое усилие, кН		50
	Масса, кг		23

Выводы

Внедрение предложенной разработки позволит повысить степень механизации и автоматизации технологической операции замены погружных огнеупорных стаканов слябовой МНЛЗ, улучшить условия труда персонала, задействованного на ее разливочной площадке, а также повысить в целом технико-экономические показатели непрерывной разливки стали. Научная актуальность работы заключается в развитии теории построения систем быстрой смены погружных стаканов слябовых МНЛЗ, а также методик расчета их параметров, в том числе и технико-экономических показателей.

Список литературы

1. Morel, J. Production de l'acier. Optimisation des réfractaires de coulée continue d'aciers inoxydables. Rapport de la Commission européenne (final). Série: Recherche technique acier. – Bruxelles: Office des publications officielles des Communautés européennes, 1996. – 83 p.
2. Peruzzi, S. Simulation numérique du comportement thermomécanique de pièces réfractaires de coulée continue: thèse de doctorat: matériaux céramiques. – Limoges (France), 2000. – 194 p.
3. Герасименко, В.Г. Физическое моделирование гидродинамики непрерывной разливки / В.Г. Герасименко, Д.В. Чайка // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – №7. – С. 264-265.
4. Вдовин, К.Н. Непрерывная разливка стали. Гидромеханика машин непрерывного литья заготовок / К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, И.М. Ячиков. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорского государственного технического университета, 2014. – 348 с.
5. Еронько, С.П. Гидравлическое моделирование процесса смены погружных стаканов на слябовых МНЛЗ / С.П. Еронько, М.Ю. Ткачев, Е.В. Ошовская // *Электрометаллургия*. – 2016. – №10. – С. 15-22.
6. Модельные исследования изменения гидродинамики потоков стали в кристаллизаторе слябовой МНЛЗ во время замены погружных стаканов / С.П. Еронько [и др.] // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. – 2018. – №7. Т.61. – С. 520-526.
7. Brevet 2424085 France, B22D41/08. Dispositif pour remplacer des tubes de coulée à l'orifice d'une enceinte de coulée de métal fondu / S. Szadkowski; Vesuvius international corporation. – №19790010201; date de dépôt 23.04.1979; publié 23.11.1979.
8. Патент 75844 Украина, B22D41/50. Манипулятор для замены погружного стакана на слябовой машине непрерывного литья заготовок / С.П. Еронько, А.Н. Смирнов, А.Ю. Цупрун и др.; Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью с иностранными инвестициями «Доникс». – №20041210981; заявл. 30.12.2004; опубл. 15.05.2006.
9. Совершенствование разливочных систем промежуточных ковшей МНЛЗ / С.П. Еронько [и др.] // *Электрометаллургия*. – 2009. – №7. – С. 37-43.
10. Патент 96891 Украина, B22D41/56, B22D11/106. Манипулятор для замены погружного стакана на слябовой машине непрерывного литья заготовок / С.П. Еронько, М.Ю. Ткачев, К.В. Дубойский; Донецкий национальный технический университет. – № 201015551; заявл. 23.12.2010; опубл. 12.12.2011.
11. Patent 20030001662 Korea, B22D41/56. Apparatus for exchanging submerged nozzle / S.Y. Chun; Yoohan Prec CO LTD. – №20010036467; filed 26.06.2001; published 08.01.2003.
12. Patent 5971060 USA, B22D41/56, 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. – №19980008630; filed 16.01.1998; published 26.10.1999.
13. Patent 20040031309 Korea, B22D41/56. Exchange apparatus of submerged nozzle for tundish / A.D. Yeong, K.Y. Min, K.J. Seok; Posco. – №20020060699; filed 04.10.2002; published 13.04.2004.
14. Brevet 1011299 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.
15. Патент 2639089 РФ, B22D41/56. Манипулятор для замены погружного стакана на слябовой машине непрерывного литья заготовок / Е.Н. Смирнов, С.П. Еронько, М.Ю. Ткачев и др.; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». – №2016111482; заявл. 29.03.2016; опубл. 19.12.2017.
16. Ткачев, М.Ю. Повышение технических характеристик системы быстрой смены погружных стаканов промежуточного ковша слябовой МНЛЗ / М.Ю. Ткачев, Е.В. Ошовская // *Современное состояние науки и техники: сб. ст. Межд. науч.-практ. конф.*, 4-9

- февраля 2016 г., г. Сочи. – Сочи: Оптима, 2016. – С. 155-161.
17. Еронько, С.П. Конструктивные и энергосиловые параметры манипулятора для замены погружного стакана машины непрерывного литья заготовок / С.П. Еронько, Е.В. Ошовская, М.Ю. Ткачев // Вестник Донецкого национального технического университета. Специальный выпуск «Металлургические процессы и оборудование». – 2016. – №3(3). – С. 33-42.
18. Ткачев, М.Ю. Аналитическое исследование конструктивных параметров гидропривода переталкивающего устройства системы быстрой смены погружных стаканов слябовой МНЛЗ / М.Ю. Ткачев, Е.В. Ошовская // Сб. науч. тр. Донбасского государственного технического университета. – Алчевск: ДонГТУ, 2017. – Вып. №5(48). – С. 97-102.

M.Yu. Tkachev /Cand. Sci. (Eng.)/
Donetsk National Technical University (Donetsk)

DEVELOPMENT EXPERIENCE AND PROSPECTS OF INTRODUCTION OF THE SYSTEM OF FAST CHANGE OF THE SUBMERGED NOZZLES OF A SLAB CONTINUOUS CASTING MACHINE

Background. A comparative analysis of the known designs of manipulators and devices for quick replacement of submerged nozzles of slab CCMs showed that none of the known solutions fully meets the complex of requirements imposed by modern steelmaking production: speed, maintainability, reliability, durability, etc. For these reasons, as well as due to the influence of the subjective factor on the technological operation, the technical and economic indicators of continuous casting of steel decline, namely, the yield of usable steel decreases, operating costs increase, etc.

Materials and/or methods. The development of the system based on the fundamental principles of resistance of materials, theoretical mechanics, the theory of mechanisms and machines and carried out using the method of physical modeling. Empirical studies of the positioning accuracy of the gripping devices of the manipulator were carried out by setting experiments with their preliminary planning. When processing the results of experiments, the provisions of the theory of errors and mathematical statistics were used. The methods of economic theory were used to determine the values of economic efficiency indicators.

Results. The proposed system allowed increasing the speed of the manipulation system and thus reducing the duration of the operation by 2.4 times. Power values of drives of an industrial sample of the manipulator were determined. The power of the feeding mechanism of the new nozzle was 0.25 kW, of the device for removing the worn nozzle – 0.18 kW, of the mechanism of adjusting of the manipulator base – 0.25 kW, the maximum force overcome by the hydraulic power cylinder when changing the set of refractory nozzles – 50 kN.

Conclusion. Application of the system in industrial conditions will provide remote control of the operation of replacement of submerged nozzles, increase an output suitable at the casting of steel on a slab CCM.

Keywords: continuous casting machine (CCM), submerged refractory nozzle, intermediate ladle, tundish, manipulator.

Сведения об авторе

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 17.10.2019 г.

© М.Ю. Ткачев, 2019

Рецензент д.т.н., проф. С.П. Еронько