

УДК 621.746.047:669.054.2

## КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОДАЧИ ЗАЩИТНОЙ ТРУБЫ СТАЛЕРЕЗЛИВОЧНОГО КОВША МНЛЗ

*Вдовин К.Н.<sup>1</sup>, Точилкин Василий В.<sup>1</sup>, Умнов В.И.<sup>2</sup>, Точилкин Виктор В.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Магнитогорский государственный технический университет  
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск;*

*<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск*

**Ключевые слова:** машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), манипулятор, захват, сталеразливочный ковш, промежуточный ковш (ПК), потоки металла, огнеупорные конструкции, аргон.

**Аннотация.** Рассмотрены манипуляционные системы и огнеупорное оборудование подсистемы сталеразливочный ковш – промежуточный ковш машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Разработаны конструкции элементов манипулятора для защиты струи металла при разливке стали. Рассмотрены конструкции элементов захватов и устройства с применением вставок из пластичных огнеупоров, предотвращающие прохождение воздуха в струю металла при разливке и обеспечивающие рациональные параметры подачи аргона в кольцевую выемку огнеупорной трубы. В результате обеспечивается стабильность процесса разливки и повышение качества разливаемого металла.

*Введение.* Подсистема сталеразливочный ковш – промежуточный ковш является важнейшим технологическим элементом МНЛЗ. Манипуляционные системы, обеспечивающие эффективную работу огнеупорных конструкций подсистемы и оказывающие большое влияние на повышение качества разливаемого металла – важнейший компонент подсистемы МНЛЗ, в значительной степени определяющий стабильность процесса разливки [1].

### *Основная часть*

Постоянно растущие рыночные требования к продукции металлургических предприятий заставляют производителей расширять марочный сортамент разливаемой на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) стали, улучшать качество непрерывнолитых слитков [1], увеличивать производительности и эффективности работы МНЛЗ [2, 3]. В связи с этими требованиями на металлургических предприятиях в последние годы проводят реконструкцию действующих установок или сооружают новые, используя новейшие разработки в области технологии непрерывной разливки [4, 5]. Неотъемлемой частью этой работы является разработка и совершенствование устройств и систем для защиты стали от вторичного окисления на пути от сталеразливочного ковша до кристаллизатора [6].

Манипуляторы и устройства для защиты металла от вторичного окисления различаются по принципу действия и по видам приводов и служат в конечном итоге одной цели – защите струи металла от окисления [7]. В качестве самой защиты при разливке металла используются жаропрочные неметаллические

трубы. В самих устройствах и манипуляторах используются различные принципы подвода - отвода защитных труб к отверстию в шиберном или ином затворе на сталеразливочном ковше; применяются электромеханические, электропневматические и электрогидравлические приводы.

Известен ряд устройств, имеющих сложную конструкцию и находящихся при этом во время работы непосредственно в зоне разливки металла. На рис. 1 представлен манипулятор 3 для подачи и ориентации защитного устройства 5. Манипулятор устанавливается на сталеразливочном ковше 1, ориентируя защитную трубу в промежуточном ковше 2, через который сталь подается в кристаллизатор 4 (А.с. 954160 СССР; В 22 D 11/10). Основным недостатком данного манипулятора является сложность установки его на стенде и сталеразливочном ковше.

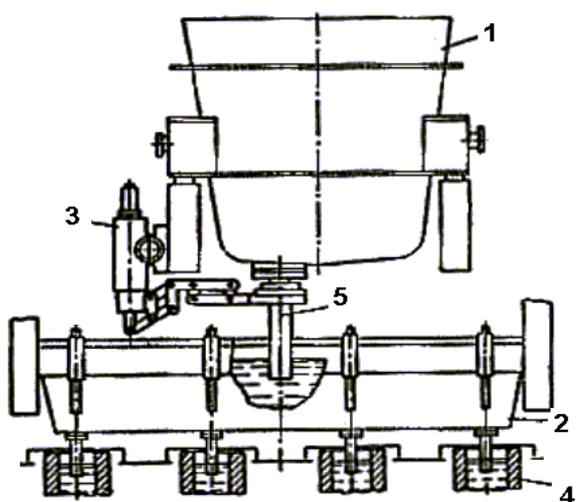


Рис. 1 – Манипулятор

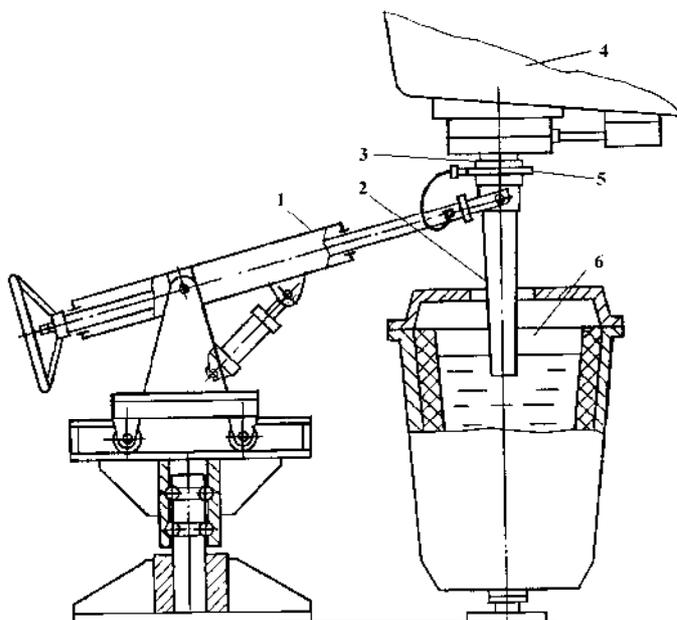


Рис. 2 – Манипулятор для подачи защитной трубы при разливке на МНЛЗ

На рис. 2 представлен манипулятор для перемещения защитной трубы относительно сталеразливочного ковша на МНЛЗ – устройство для защиты струи металла (Патент на изобретение РФ 2145914 СССР; В 22 D 7/12). Манипулятор 1 для перемещения защитной трубы 2 при разливке на МНЛЗ оснащен захватом 3. Захват 3 обеспечивает установку и удержание защитной трубы 2 на сталеразливочном ковше 4. Захват 3 оснащен системой подачи аргона 5. Защитная труба 2 вводится в промежуточный ковш 6. Недостатки: неполное исключение возможности контакта воздуха с металлом. Это определяется тем, что для перемещения защитной трубы применяются только транспортирующие степени подвижности, использование ориентирующих степеней подвижности захвата в данной конструкции манипулятора не предусмотрено.

В подсистеме сталеразливочный ковш – промежуточный ковш наиболее широко используется простой по конструкции манипулятор (рис.3) для подвода защитной трубы, перемещаемый в горизонтальной и вертикальной плоскостях ручным приводом [7]. Манипулятор опирается на направляющие, закрепленные на технологической площадке.

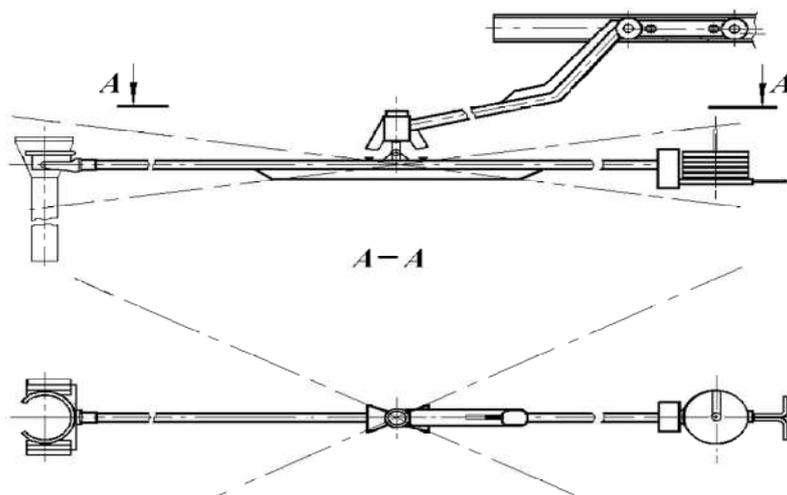


Рис. 3 – Манипулятор для подвода защитной трубы

К положительным качествам данного манипулятора относятся: низкая стоимость изготовления и эксплуатации; нечувствительность к нагреву, ввиду удаленности основных частей устройства от зоны разлива металла. Отрицательные его стороны: ручной привод; отсутствие точного позиционирования устройства, при этом скорость подвода защитной трубы полностью зависит от рабочего, осуществляющего подвод, и может достигать до пяти секунд. Предполагается оснастить манипулятор (рис. 4) электромеханическим и электропневматическим приводами и информационной системой на базе различных по своему назначению датчиков, в первую очередь датчиков положения. Это позволяет снизить время подвода - отвода защитной трубы (что приведет к уменьшению времени контакта струи металла с окружающим воздухом и повышению качества непрерывнолитых слитков из-за снижения неметаллических оксидных включений), а также повысить точности позиционирования устройства. Электромеханический привод передвижения 1 обеспечивает перемещение консольной стрелы относительно направляющей. Совместная работа электрогидравлического привода 2 подъема и электропневматического привода поворота 3 стрелы обеспечивает подачу защитной трубы на рабочую позицию.

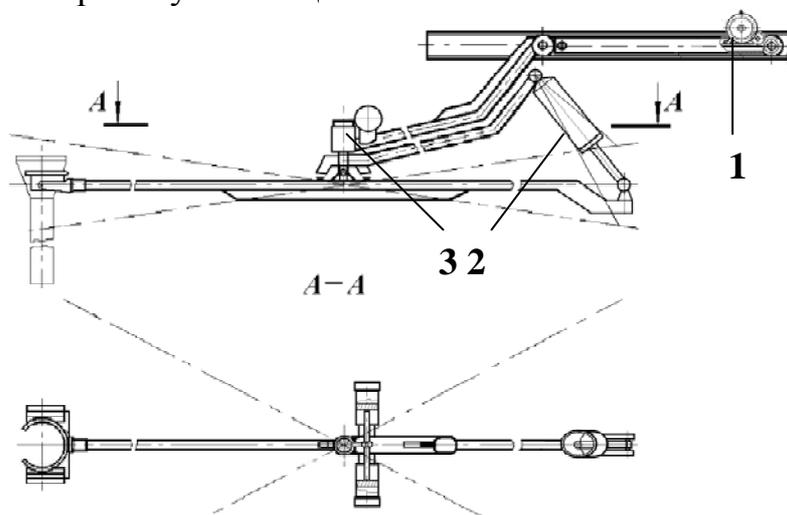


Рис. 4 – Манипулятор

Для определения конструктивных параметров и закона управления тормозным устройством привода подъема рассмотрена динамическая модель механизма подъема консолей манипулятора. В качестве звена приведения принято выходное звено – шток цилиндра, движущегося со скоростью  $\dot{x}$ . Со стороны гидропривода к приведенной массе  $m_{np}$  приложена движущая сила  $P_{дв}$ , обусловленная давлениями рабочей среды в полостях цилиндра. Приведенная к штоку сила сопротивления  $P_c$ , учитывает силы трения и нагрузки в механизме, возникающие в процессе выполнения технологических операций. Она зависит от координаты  $x$ , скорости  $\dot{x}$  и времени  $t$ . Дополнительная сила торможения  $P_T$  определяется характеристикой используемого тормоза [3]. Дифференциальное уравнение движения рассматриваемого механизма представим в виде:

$$m_{np}\ddot{x} + \beta\dot{x} + cx = P_{дв} - P_c - P_T,$$

где  $\beta$  и  $c$  – коэффициент демпфирования и жесткость, определяются с учетом особенностей конструкции манипулятора и специфики технологического процесса по установке защитного устройства на сталеразливочном ковше.

Анализ динамики работы манипулятора позволил определить основные параметры металлоконструкций и привода, а также разработать конструкцию захватного устройства. При использовании предлагаемого манипулятора появляется возможность его применения на дополнительных операциях, например в момент пробивания корки металла в шиберном затворе. Эта операция на данный момент выполняется рабочим вручную в непосредственной близости от сливаемого металла.

Разработано устройство для защиты струи металла при разливке на МНЛЗ [8, 9]. На рис. 5 представлен общий вид устройства для защиты струи металла при разливке на МНЛЗ – поперечный разрез [10, 11]. Устройство для защиты струи металла при разливке на машине непрерывного литья заготовок содержит огнеупорный стакан 1, с подводным каналом, и наружной конусообразной поверхностью, огнеупорную трубу 2. Верхняя часть отверстия трубы 2 выполнена по форме контактирующего с ней участка конусообразной поверхности стакана 1 и содержит кольцеобразную выемку 3 и отверстие 4 для подвода аргона, прокладку 5, расположенную по контактирующему участку стакана 1 и трубы 2. Прокладка 5 выполнена из пластичного огнеупорного материала. Надежная фиксация трубы 2 исключает возможность смещения трубы 2 относительно стакана 1 в течение всего цикла разливки стали из сталеразливочного ковша, что также приводит к повышению качества разливаемого металла. Для этого необходимо обеспечить равномерность зазоров по всей образующей прокладки 5. Должно выполняться условие  $a_1 = a_2$ , где  $a_1, a_2$  – зазоры в месте стыка защитной трубы и стакана сталеразливочного ковша.

На рис. 6 представлен захват манипулятора [7, 12], обеспечивающий манипулятора для установки защитной трубы. Особенность данного захвата – применение ориентирующих степеней подвижности для ориентации защитной трубы относительно стакана сталеразливочного ковша.

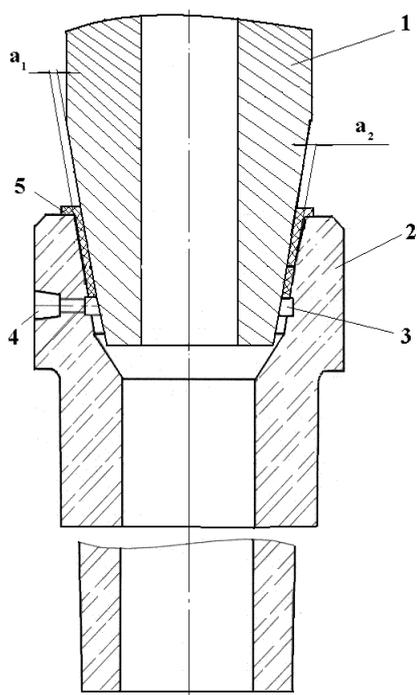
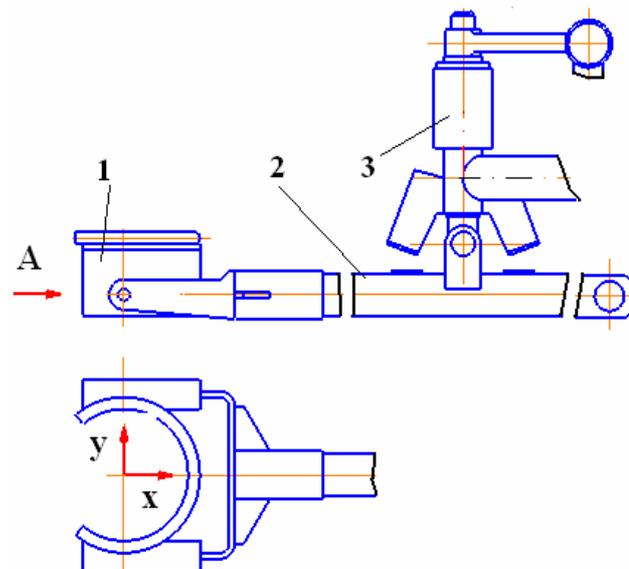


Рис. 5 – Устройства для защиты струи металла при разливке на МНЛЗ



1 – захват манипулятора; 2 стрела манипулятора; 3 – опорный узел манипулятора

Рис. 6 – Захват манипулятора для защиты струи металла при разливке на МНЛЗ

#### *Выводы:*

1. Применение электромеханического привода в механизме передвижения манипулятора, электрогидравлического привода подъема и электропневматического привода поворота стрелы манипулятора позволит автоматизировать процесс соединения защитной трубы с выпускным коллектором шиберного затвора при достаточно высокой точности позиционирования, а также повысить качество разливаемого металла на МНЛЗ.

2. Показано, что конструкция модернизированного устройства для защиты струи металла при разливке на машине непрерывного литья [13, 14] заготовок исключает прохождение воздуха в струю металла при разливке и обеспечивает рациональные параметры подачи аргона [15-17] в кольцевую выемку огнеупорной трубы при равномерных зазорах между трубой и стаканом сталеразливочного ковша, что позволяет повысить качество разливаемого металла [18].

3. Разработаны конструкции захватных устройств манипуляционных систем для установки трубы для защиты струи металла. В конструкциях захватных устройств предусмотрено применение ориентирующих степеней подвижности, обеспечивающих установку защитной трубы относительно стакана сталеразливочного ковша с равномерными зазорами.

#### **Список литературы**

1. Вдовин К.Н. Непрерывная разливка стали: монография / К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, И.М. Ячиков. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. – 540 с.

2. Vdovin K.N. Intake Chamber of the Tundish in a Continuous Slab-Casting Machine / K.N. Vdovin, E.A. Melnichuk, A.V. Nefedov, V.V. Tochilkin // *Steel in translation*. – 2014. – Vol. 44, № 3. – P. 186-189.
3. Вдовин К.Н. Разработка огнеупорных конструкций для промежуточного ковша сортовой МНЛЗ / К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, И.М. Ячиков // *Новые огнеупоры*. – 2015. – № 11. – С. 3-7.
4. Vdovin K.N. Designing Refractories for the Tundish of a Continuous Caster / K.N. Vdovin, V.V. Tochilkin, I.M. Yachikov // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2016. – Т. 56, № 6. – P. 569-573.
5. Точилкин В.В., Филатов А.М. Пневмопривод металлургических манипуляторов: Монография. – Магнитогорск: МГТУ, 2005. – 211 с.
6. Маки Ж. Последние достижения в области разливочных огнеупорных систем / Ж. Маки, С. Задковски, Р. Брук // *Достижения в области непрерывной разливки стали: Труды международного конгресса: Пер. с англ. Евтеева Д.П., Колыбанова И.Н.* – М.: Металлургия, 1987. – С. 77-90.
7. Точилкин В.В. Электромеханические манипуляторы для транспортирования и ориентации устройств, обеспечивающих защиту струи стали при разливке / В.В. Точилкин, К.Н. Вдовин. // *Известия вузов. Электромеханика*. – 2004. – № 2. – С. 111-112.
8. Вдовин К.Н. Новые вставки из пластичных огнеупоров для защиты струи металла при разливке на МНЛЗ / К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, О.А. Марочкин и др. // *Новые огнеупоры*. – 2014. – № 7. – С. 41-43.
9. Vdovin K.N. New Plastic Refractory Linings for Protecting a Metal Stream During Pouring into a CBCM / K.N. Vdovin, O.A. Marochkin, V.V. Tochilkin et al. // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2014. – Vol. 55, № 4. – P. 318-320.
10. Вдовин К.Н. Применение пластичных огнеупоров усовершенствованной конструкции для защиты струи металла при разливке на сортовых МНЛЗ / К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, О.А. Марочкин // *Новые огнеупоры*. – 2014. – № 1. – С. 3-5.
11. Патент №102552 РФ, МПК В22D 41/08. Устройство для защиты струи металла при разливке на машине непрерывного литья заготовок / В.А. Бигеев, К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, Д.В. Кащеев, А.Б. Великий, О.А. Марочкин, С.В. Шевченко, А.А.Хоменко. – Заявл. 07.10.2010. Опубл. 30.10.2011, Бюл. № 7.
12. Вдовин К.Н. Непрерывная разливка стали. Гидромеханика машин непрерывного литья заготовок: монография / К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, И.М. Ячиков. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 348 с.
13. Вдовин К.Н. Анализ работы системы сталеразливочный ковш – промежуточный ковш сортовой МНЛЗ и совершенствование огнеупорных конструкций приемной камеры промежуточного ковша / К.Н. Вдовин, Василий В. Точилкин, Виктор В. Точилкин // *Новые огнеупоры*. – 2016. – № 5. – С. 3-5.

14. Vdovin K.N. Technologies for Controlling Flows of Steel and the Development of Refractory Structures for the Tundish of a Four-Strand Continuous Caster / K.N. Vdovin, Viktor V. Tochilkin, Vasilii V. Tochilkin // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2016. – Vol. 57, № 1. – P. 6-8.
15. Разработка систем подачи аргона для промежуточного ковша сортовой МНЛЗ / К.Н. Вдовин, С.Н. Ушаков, О.А. Марочкин, В.В. Точилкин // *Технология металлов*. – 2013. – № 6. – С. 38-40.
16. Вдовин К.Н. Конструирование систем защиты стали от вторичного окисления при разливке на МНЛЗ / К.Н. Вдовин, Василий В. Точилкин, В.И. Умнов, Виктор В. Точилкин // *Современные материалы, техника и технологии. Научно-практический журнал*. – 2016. – № 5(8). – С. 46-50.
17. Вдовин К.Н. Определение параметров системы подачи аргона в устройстве защиты струи металла при разливке на машине непрерывного литья заготовок / К.Н. Вдовин, Василий В. Точилкин, В.И. Умнов, Виктор В. Точилкин // *Новые решения в области упрочняющих технологий: взгляд молодых специалистов: сборник научных статей Международной научно-практической конференции (22-23 декабря 2016 года) / редкол.: Романенко Д.Н. (отв. ред.); Юго-Зап. гос. ун-т. В 2-х томах, Том.1. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2016. – С. 210-213.*
18. Vdovin K.N. Analysis of Operation of a Steel-Pouring Ladle-Tundish System for a Section CBCM and Improved Refractory Structures for the Tundish Receiving Chamber / K.N. Vdovin, Vasilii V. Tochilkin. Viktor V. Tochilkin // *Refractories and industrial ceramics*. – 2016. – Т. 57, № 3. – P. 221-223.