

6. Эффективность применения коксового орешка в доменной плавке / С.Л. Ярошевский, В.А. Ноздрачев, А.М. Кузнецов и др. // *Металл и литье Украины*, 2000. — № 5–6. — С. 9–13.

© Хлапонин Н.С., Ярошевский С.Л., Кузин А.В.,  
Кузнецов А.М., Падалка В.П., 2004

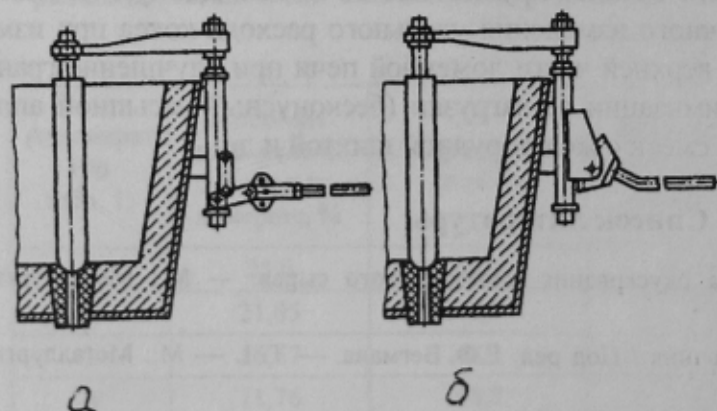
СМИРНОВ А.Н., ЕРОНЬКО С.П. (ДОННТУ), ЦУПРУН А.Ю. (НПО «ДОНИКС»),  
ОРЛОВ И.А., ЯКОВЛЕВ Д.А. (ДОННТУ)

## **ПОВЫШЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПРИВОДА СТОПОРА ПРОКОВШЕЙ МНЛЗ**

*Рассмотрены особенности условий работы стопорных систем для дозированного перелива жидкой стали из промежуточных ковшей МНЛЗ, проанализированы основные направления их дальнейшего совершенствования с целью повышения надежности и эффективности применения.*

Одним из главных направлений повышения эффективности непрерывной разливки стали является увеличение ее серийности, что обеспечивает значительный энерго- и ресурсосберегающий эффект. Между тем, разливка металла на МНЛЗ длинными сериями может быть реализована лишь при высокой надежности функциональных элементов проковша, в том числе — системы привода стопора, обеспечивающей дозированную подачу стали в кристаллизатор или полное перекрытие канала стакана-дозатора в случае технологической необходимости.

Устойчивая работа системы привода стопора проковша в течение промежутка времени, затрачиваемого на разливку стали 15–20 плавов, достигается только при высокой надежности всех элементов, входящих в ее состав. Стопорная система включает стопор, выполненный в виде стального стержня, защищенного огнеупорными пробкой и катушками, либо монокристаллической формы огнеупорный элемент (монокристалл); литую или кованую вилку, фиксирующую стопор от раскачивания; направляющую трубу с размещенным внутри ползуном, верхний конец которого посредством резьбового соединения жестко связан с вилкой; рычажную систему или реечную передачу для ручного управления положением стопора относительно входного отверстия выпускного канала промежуточного ковша (рис.1).



**Рис.1.** Схемы стопорных механизмов промежуточных ковшей МНЛЗ: *а* — с рычажной системой; *б* — с реечной передачей

Цель настоящей работы — определение условий повышения надежности системы привода стопора проковшей применительно к условиям разливки стали длинными сериями на отечественных металлургических предприятиях.

Выполненное авторами в условиях ряда металлургических предприятий Украины и России промышленное тестирование работы разливочных систем проковшей, снабженных стопорами-монокристаллами различного конструктивного исполнения, поставляемых известными зарубежными фирмами,

показало, что все они не отвечают в полной мере требованиям технологии разливки

длинными сериями, а основными факторами, влияющими на их безаварийное функционирование, являются:

- способность элементов конструкции стопорного устройства противостоять действию термических и механических нагрузок;
- возможность работы системы привода стопорного механизма в автоматическом режиме, исключающем вероятность ошибок со стороны обслуживающего персонала и снижающем физическую и психологическую напряженность его труда;
- оснащенность разливочного устройства средствами контроля параметров процесса вдувания инертного газа в канал разливочного стакана через полость стопора-моноблока и автоматического отключения подачи аргона при закупоривании выходного отверстия газоподводящего тракта.

Наиболее уязвимым элементом стопорной системы является стопор-моноблок, непосредственно контактирующий с жидкой сталью и агрессивными шлаками, а также подвергающийся воздействию давления инертного газа, подаваемого через его внутреннюю полость; механических нагрузок, возникающих во время перекрытия выпускного канала промковша; а также вибрации, вызываемой неустановившимися газо- и гидродинамическими процессами, протекающими в зоне расположения головки стопора при взаимодействии пузырьков вдуваемого инертного и формирующейся струи металла на входе в канал разливочного стакана. Результатом длительного воздействия указанных факторов могут стать прогрессирующая эрозия корпуса стопора-моноблока, вызывающая ослабление его стенок; разрушение поверхности огнеупорной части стопора, контактирующей с металлическими элементами узла его крепления; ослабление затяжки резьбового соединения стального стержня с вилкой, а также нажимной гайки, фиксирующую опорную шайбу относительно верхнего торца моноблока [1].

Способность стопора выдерживать возникающие в нем значительные механические и термические напряжения зависит от прочностных свойств огнеупорного материала, примененного для его изготовления, и конструктивного исполнения узла крепления керамической части к несущему металлическому стержню.

В последнее десятилетие получила развитие концепция зонального упрочнения материала стопоров-моноблоков, изготавливаемых способом изостатического прессования. При этом головку стопора выполняют из материала с повышенным содержанием  $Al_2O_3$  (70–75%) или из периклаза, что обеспечивает достаточно высокую износостойкость нижней части огнеупорного элемента в условиях интенсивного движения потоков жидкого металла и позволяет осуществить разливку стали 25–30 плавов.

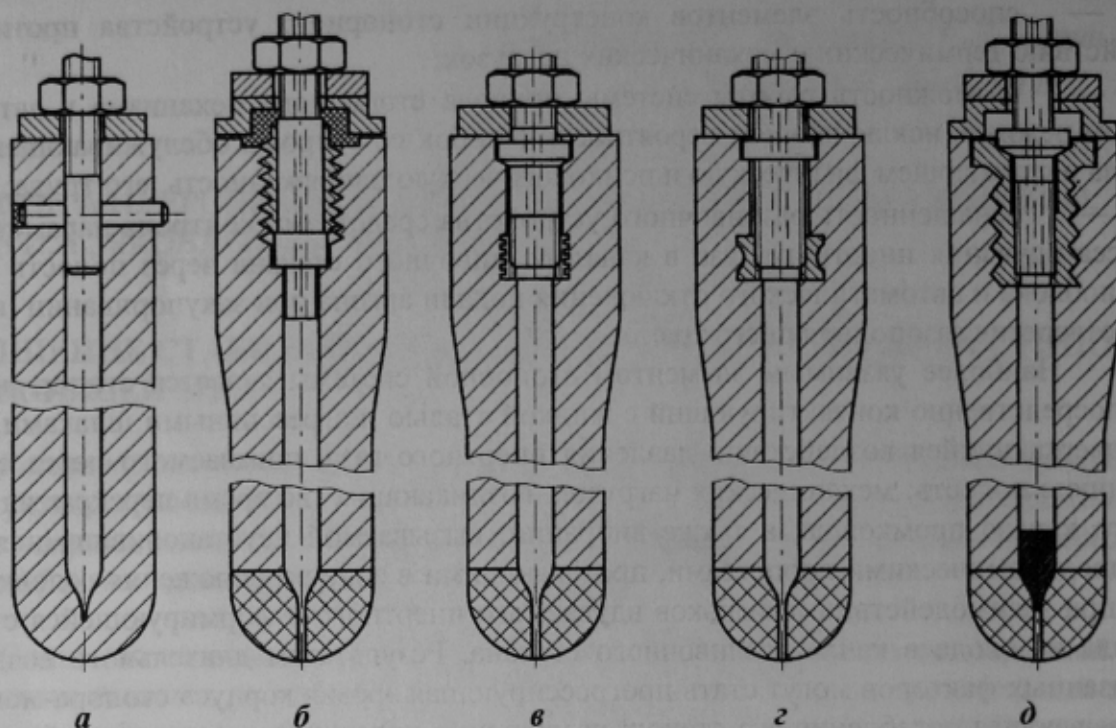
Прочность средней и верхней частей стопора-моноблока предопределяется выбором рационального материала и режимов изостатического прессования. Поскольку повышенный износ стопора наблюдается в зоне шлакового пояса, диаметр огнеупорного стержня должен быть максимальным в этой его части.

С целью снижения массы и стоимости стопора-моноблока, диаметр его части корпуса, находящийся ниже шлакового пояса рекомендуется уменьшать на 15–25%. При удачном сочетании оптимального состава материала и геометрических параметров стопора-моноблока удается поднять его стойкость до уровня, достаточного для реализации разливки стали в течение 20–24 часов без смены промежуточного ковша [2].

Результаты статистического анализа причин механических поломок стопора-моноблока [3] свидетельствуют о том, что в значительной мере выход его из строя обусловлен разрушением керамической части в области размещения узла крепления, основные схемы которого показаны на рис.2.

Наиболее простая система крепления огнеупорного моноблока к металлическому стержню с помощью стального штифта (рис.2, а) недостаточно надежна в эксплуатации и обеспечивает в лучшем случае разливку стали 2–4 плавов, что обусловлено частыми поломками узла фиксации, вызываемых значительными контактными напряжениями,

возникающими в крепежном отверстии из-за больших нагрузок, передаваемых штифтом на сравнительно малую опорную поверхность огнеупора.



**Рис.2.** Схематическое представление способов крепления стопора-моноблока и штанги стопорного механизма: *а* — с помощью расклинивающей вставки; *б* — посредством керамической гайки, посаженной на раствор; *в* — посредством впрессованной металлической гайки; *г* — посредством впрессованной керамической гайки; *д* — посредством вкручиваемой металлической втулки с резьбой под гайку

Более эффективными, однако требующими затрат квалифицированного труда при подготовке к работе, следует признать конструкции крепления стержня посредством ввинчиваемой (рис. 2, *б*) или запрессованной (рис. 2, *в*) керамических гаек. Как показали исследования, выполненные на Днепровском металлургическом комбинате, эксплуатационный ресурс стойкости стопора моноблока может достигать, по меньшей мере, 28–30 часов [3].

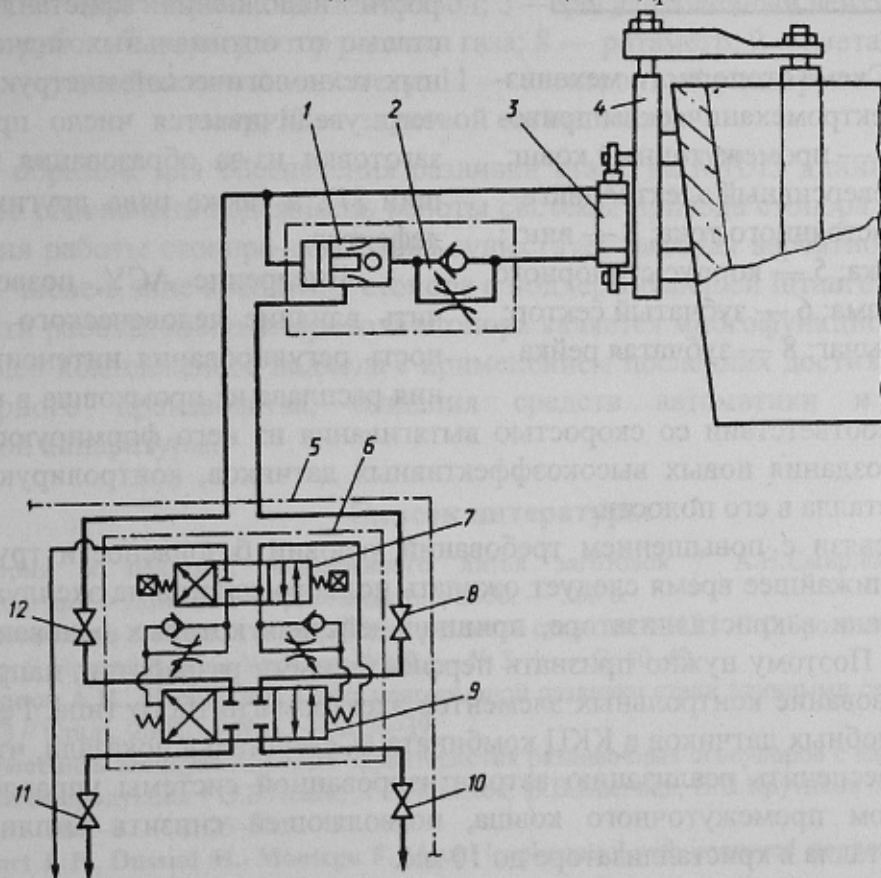
В случае применения металлической гайки (рис. 2, *г*) процесс сборки стопора-моноблока перед установкой на промковш упрощается, но при этом из-за разности коэффициентов линейного расширения материалов керамической и металлической частей, а также наличия концентраторов напряжений, обусловленных неправильным выбором формы гайки, вероятность разрушения верхней части огнеупорного изделия достаточно высока. На практике стойкость стопоров-моноблоков с металлической гайкой ограничивается 9–11 часами эксплуатации [4]. Увеличение длительности эксплуатации повышает вероятность поломки стопора именно в месте узла крепления со штангой.

Минимальный уровень внутренних напряжений достигается в конструкции, показанной на рис. 2, *д* и включающей металлическую гайку, которую ввинчивают в тело моноблока непосредственно перед началом сборки разливочного устройства. Однако, как показали экспериментальные исследования, часть стопоров (примерно 8–10%) подвергается разрушению в узле крепления уже после 8–9 часов эксплуатации. Это, видимо, объясняется большой массой металлической гайки, которая расширяется в процессе нагрева, а также динамическими ударами стопора, в ходе которых происходят микро-разрушения керамической части крепления.

В целом с переходом на непрерывную разливку длинными сериями возрастает не только технологическая нагрузка на эксплуатируемое оборудование МНЛЗ, а и интенсифицируется работа разливщиков стали, следящих за функционированием уст-

ройств, с помощью которых осуществляется дозированный перелив металла на участке сталковш-проковш-кристаллизатор. Поэтому для коренного улучшения условий труда персонала, эксплуатирующего разливочные устройства проковшей, необходимо выполнить их модернизацию по переводу с ручного на механизированное управление стопором [5]. При этом стопорный механизм рычажного типа (рис.1, а) целесообразно снабдить навесным гидроцилиндром. Гидросистема, регулирующая работу силового цилиндра должна содержать: маслостанцию; гибкие шланги высокого давления, защищенные асбоцементной лентой от брызг жидкой стали; напорный, дроссельный, предохранительный и реверсивные золотниковые клапаны.

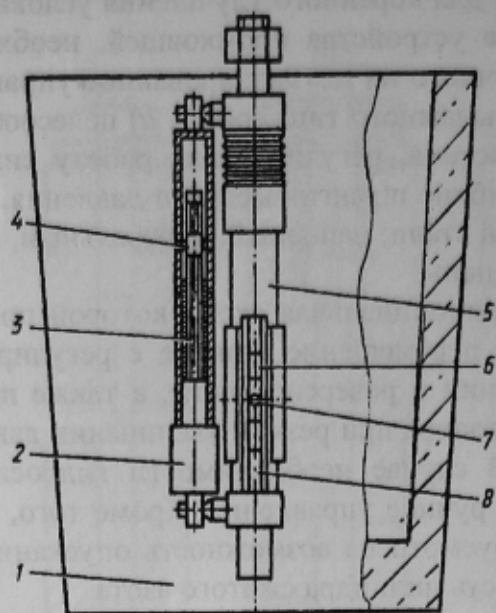
Благодаря такой системе управления, принципиальная схема которой показана на рис.3, в процессе разливки обеспечивается перемещение стопора с регулируемой скоростью, его фиксация в требуемом положении и реверсирование, а также предотвращается выход из строя огнеупорной части стопора при резком увеличении давления рабочей жидкости в напорной магистрали. В случае необходимости гидросистему можно оперативно отключать и переходить на ручное управление. Кроме того, в гидроприводе на случай аварийной ситуации предусмотрена возможность опускания стопора в нижнее положение за счет подачи в полость цилиндра сжатого азота.



**Рис.3.** Принципиальная схема системы управления работой стопорного механизма с гидроприводом: 1 — гидрозамок; 2 — дроссель с обратным клапаном; 3 — гидроцилиндр; 4 — стопорный механизм; 5 — насосная станция; 6 — гидрораспределитель; 7 — управляющий золотник; 9 — основной золотник; 8, 10, 11, 12 — вентили

Для стопорного механизма, включающего реечную передачу (рис.1, б), более приемлемым считается электромеханический привод, схематично показанный на рис.4 и включающий реверсивный двигатель постоянного тока с регулируемой частотой вращения. Двигатель кинематически связан посредством передачи винт-гайка с зубчатой рейкой, в ручном режиме совершающей возвратно-поступательное перемещение за

счет поворота с помощью рычага зубчатого сектора, находящегося с ней в зацеплении [6].



**Рис.4.** Схема стопорного механизма с электромеханическим приводом: 1 — промежуточный ковш; 2 — реверсивный электродвигатель постоянного тока; 3 — винт; 4 — гайка; 5 — корпус стопорного механизма; 6 — зубчатый сектор; 7 — рычаг; 8 — зубчатая рейка

строгом соответствии со скоростью вытягивания из него формирующейся заготовки, требует создания новых высокоэффективных датчиков, контролирующих положение уровня металла в его полости.

В связи с повышением требований условий безопасности труда разливщиков стали в ближайшее время следует ожидать полного запрета на эксплуатацию датчиков уровня стали в кристаллизаторе, принцип действия которых основан на применении изотопов. Поэтому нужно признать перспективными разработки, направленные на совершенствование контрольных элементов электромагнитного типа. Результаты применения подобных датчиков в ККИЦ комбината «Северсталь» показали, что с их помощью можно обеспечить реализацию автоматизированной системы управления стопорным механизмом промежуточного ковша, позволяющей снизить амплитуду колебаний уровня металла в кристаллизаторе до 10 мм.

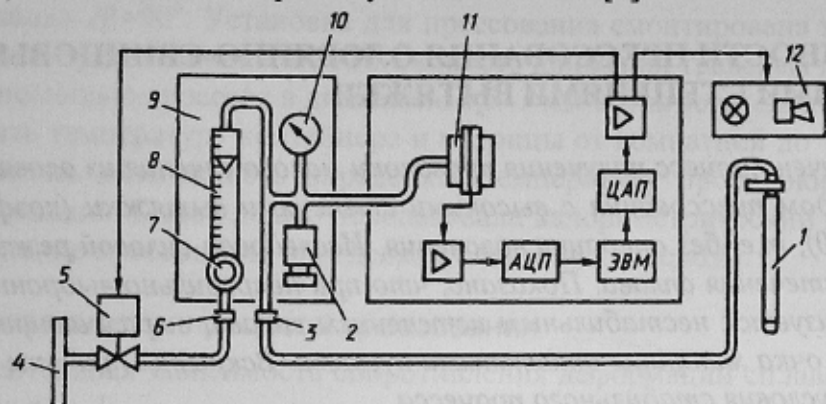
В последнее время все большее распространение получает технологическая схема разливки стали, предполагающая вдувание инертного газа в струю металла, поступающего из промежуточного ковша в кристаллизатор [8]. Способ подачи жидкой стали с вдуванием аргона через канал стопора-моноблока позволяет не только снизить в три раза расход инертного газа в сравнении с другими способами защиты струи, но и уменьшить интенсивность процесса затягивания погружных стаканов при реализации технологии разливки стали большими сериями [9,10]. Следует отметить, что для достижения ожидаемых положительных результатов за счет подачи защитного газа в канал стопора-моноблока и предотвращения возможности разрушения его корпуса при резком увеличении давления газовой смеси во внутренней полости необходимо обеспечение точного дозирования расхода аргона с помощью специальной системы регулирования, включающей расходомер, предохранительный клапан, настроенный на предельно

Наличие гидравлического или электро-механического привода в системе разливочно-го устройства стопорного типа промежуточно-го ковша МНЛЗ является обязательным условием при организации автоматизированной системы управления расходом и уровнем металла в кристаллизаторе, необходимость которой в современном сталеплавильном производстве возрастает в условиях увеличения скорости разливки и уменьшения сечения отливаемых заготовок.

Многолетний опыт эксплуатации разливочных устройств промковшей показал, что при ручном регулировании расхода металла нередки случаи значительных отклонений скорости наполнения кристаллизатора жидкой сталью от оптимальных значений, предписанных технологической инструкцией, вследствие чего увеличивается число прорывов корочки заготовки из-за образования поперечных трещин [7], а также ряда других поверхностных дефектов.

Внедрение АСУ, позволяющих исключить влияние человеческого фактора на точность регулирования интенсивности перетекания расплава из промковша в кристаллизатор в

допустимое давление в сети, а также элементы световой и звуковой сигнализации, предупреждающие обслуживающий персонал о нарушении нормального режима истечения Ar (рис.5) в канал стакана промежуточного ковша [6].



**Рис.5.** Схема системы контроля процесса вдувания газа через канал стопора-моноблока: 1 — стопор-моноблок; 2 — предохранительный клапан; 3 — выходной патрубок; 4 — магистральный газопровод; 5 — регулировочный вентиль; 6 — входной патрубок; 7 — регулятор расхода газа; 8 — ротаметр; 9 — металлический корпус; 10 — универсальный манометр; 11 — электронный универсальный манометр; 12 — звуковой сигнализатор

Таким образом, для обеспечения разливки стали на МНЛЗ длинными сериями целесообразно обеспечить надежность работы системы привода стопора. Учитывая тяжелые условия работы стопора-моноблока существует высокая вероятность его разрушения, в том числе в зоне крепления стопора с поддерживающей штангой. Повышение эффективности работы системы привода стопора является многофункциональной задачей, требующей комплексного подхода с применением последних достижений в области огнеупорного производства, создания средств автоматики и контрольно-измерительной аппаратуры.

### Список литературы

1. **Теория** и практика непрерывного литья заготовок / А.Н.Смирнов, А.Я.Глазков, В.Л.Пилюшенко и др. — Донецк: НОРД компьютер, 2000. — 363 с.
2. **Оптимизация** выбора огнеупоров при разливке стали на МНЛЗ /С.С.Бродский, А.Н.Смирнов, В.В.Несвет и др. // *Металл и литье Украины*, 1999. — № 3-4. — С. 40-42.
3. **Смирнов А.Н., Несвет В.В.** Опыт непрерывной разливки стали длинными сериями на много-ручьевой МНЛЗ // *Сталь*, 2002. — № 8. — С. 36-39.
4. **Взаимосвязь** эксплуатационных характеристик разливочных огнеупоров с качественными показателями металлопродукции / О.Б.Исаев, Л.С.Лепихов, В.В.Кислица, В.П.Крутиков // *Металл и литье Украины*, 2003. — № 7-8. — С. 25-27.
5. **Radort J.-P., Dussud M., Montegu F.** Mould level control with improved stopper driving system // *MPT International*, 2002. — No.6. — P. 50-51.
6. **Процессы** непрерывной разливки / А.Н.Смирнов, В.Л.Пилюшенко, А.А.Минаев и др. — Донецк.: ДонНТУ, 2002. — 536 с.
7. **Ерньоко С.П., Быковских С.В.** Разливка стали: Технология. Оборудование. — К.: Техніка, 2003. — 216 с.
8. **Metallurgie** des Stranggiessens. Giessen und Erstarren von Stahl / A.Diener, M.Dubke, A.Etienne e.a. — Dusseldorf: Verlag Stahleisen mbH, 1992. — 655 p.
9. **Разливка** стали на МНЛЗ и в изложницы с подачей аргона в струю через полый стопор/ В.Б.Михайлов, А.Г.Касьянов и др. // *Сталь*, 1996. — № 5. — С. 21-22.
10. **Совершенствование** защиты стали от вторичного окисления при разливке на МНЛЗ / А.Н.Смирнов, А.П.Фоменко, И.А.Орлов и др.// *Сталь*, 1998. — № 11. — С. 19-23.

© Смирнов А.Н., Ерньоко С.П., Упрун А.Ю., Орлов И.А., Яковлев Д.А., 2004