



The comparative characteristics of crystallizer mechanisms with electrohydraulic and electromechanical drives are given. The main requirements to the drives used in the system of crystallizer swinging in composition of continuous casting machine are enumerated.

И. Н. ГОЛОВКО, Д. Н. АНДРИАНОВ, ГГТУ им. П. О. Сухого

УДК 621.74.047 + 62–82

ЦЕЛИ И ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ МЕХАНИЗМОВ КАЧАНИЯ ГИЛЬЗЫ КРИСТАЛЛИЗАТОРА И ИХ СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Повышению качества непрерывнолитой заготовки уделяется большое внимание со стороны литейщиков и металлургов. Основная цель сталелитейных предприятий – повышение производительности металлургических агрегатов не только без потери качества заготовки, но и с повышением его.

Методы повышения качества непрерывнолитой заготовки (НЛЗ)

Существуют различные способы и методы воздействия на НЛЗ в процессе ее разлива на установках непрерывной разливки стали (УНРС). К таким способам относятся [1,2]:

- использование систем слежения за уровнем металла в кристаллизаторе, использование электромагнитного перемешивания, погружных стаканов с целью защиты струи от вторичного окисления и придания ей направления для предотвращения подплавления корочки более горячими набегающими потоками;

- использование шлаков, выполняющих сразу же несколько функций при формировании тонкой корки слитка, а именно защита мениска металла от вторичного окисления, охлаждение и уменьшение усилия вытяжки из кристаллизатора;

- оптимизация формы кристаллизатора, в первую очередь, это уменьшение величины зазора и его неравномерности между стенкой кристаллизатора и тонкой коркой еще только что зародившегося слитка из-за вытягивания и естественной усадки металла при затвердевании с целью снижения неравномерности отвода тепла медными стенками; уменьшение силы трения и внутренних напряжений, вызывающих деформацию корочки и возникновение концентраторов напряжений на поверхности заготовки, увеличивающих вероятность появления дефектов поверхности и трещин различной величины и направления;

- использование управляемого водовоздушного охлаждения в зоне вторичного охлаждения;

- использование мягкого обжатия и т. д.

Большинство мер и их влияние на качество уже широко изучены и достаточно освещены в литературных источниках, однако существуют такие методы воздействия на слиток, которые, несмотря на технические сложности, реализованы, но еще не исчерпали своих возможностей, позволяющих повысить качество. К таким методам можно отнести приложение осциллирующего воздействия [2] со стороны кристаллизатора на корку слитка и расплав будущей заготовки, способствующее повышению качества НЛЗ по таким видам поверхностных дефектов, как [1, 2] поперечные и сетчатые трещины.

Причины, по которым происходит повышение качества НЛЗ, подвергнутой осциллирующим воздействиям, влекущее за собой улучшение механических свойств из-за отсутствия резко выраженной столбчатой структуры, ликвации, поверхностных дефектов, как правило, заключаются в следующем: снижение сил трения движению и покоя между тонкой вновь образовавшейся коркой слитка при затвердевании, что может быть обеспечено постоянным движением стенок кристаллизатора относительно нее. Наличие трения покоя должно быть полностью исключено, так как при этом возможно точечное приваривание корки к стенкам кристаллизатора (вызывает появление локальных надрывов) из-за уменьшения толщины газшлакового слоя между кристаллизатором и коркой (этот слой может измениться под действием сил давления жидкой фазы, действующих на участки корки слитка с меньшей толщиной). Схватывание и последующее локальное деформирование корки стенками кристаллизатора может привести к разрывам

ее в кристаллизаторе и под ним. Улучшение режима и процесса отдачи тепловой энергии кристаллизатору от слитка возникает не только за счет оптимизации формы внутренней поверхности, но и благодаря появлению более равномерного кольцевого зазора по всей площади контакта «корка слитка – стенка кристаллизатора».

Современные приводящие устройства, формирующие закон движения выходного звена, должны посредством сгенерированного сигнала электронной системой управления обеспечивать:

- изменение частоты и амплитуды в процессе разлива в зависимости от различных факторов;
- контролируемое изменение времени опережения движения кристаллизатором корки слитка (создание несинусоидального закона движения);
- минимальное отклонение закона качания от заданного из-за возникновения сил различной природы, действующих на объект управления, а именно на гильзу кристаллизатора.

Осциллирующие воздействия кристаллизатора на корку слитка, применяемые при непрерывной разливке стали (НРС), можно разделить по величинам частоты и амплитуды на два типа:

- 1) качание – амплитуда $\pm 3\text{--}4$ мм, частота до 300 кач./мин (5 Гц);
- 2) вибрация – амплитуда до $\pm 0,5$ мм, частота 50–100 Гц.

Два этих режима в разной степени влияют на процессы, предотвращающие появление и развитие того или иного дефекта [1, 2].

Рассмотрим общую схему, по которой строится современный привод исполнительным органом, интегрируемый в автоматизированную систему управления:

- система управления, совмещенная с системой визуализации процесса, который осуществляет исполнительный орган (использование систем Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA));
- корректирующее устройство с датчиками обратной связи;
- преобразователь электрической энергии в энергию возвратно-поступательного движения исполнительного органа (объекта управления).

Всю систему качания кристаллизатора можно разбить на три основных узла.

М е х а н и з м: рычажный с уравнивающими устройствами силы тяжести на направляющих пластинчатых пружинах (уравнивание силы тяжести за счет силы нижнего пакета наборных пружин, цилиндрических либо при помощи специальных пневмомеханических компенсаторов).

П р и в о д: электромеханический – осциллирующее движение возникает в результате приводимого во вращение электродвигателем эксцентрика, кулачка, кривошипа; механогидравлический – осциллирующее движение генерируется в результате приводимого во вращение электродвигателем эксцентрика, кулачка, кривошипа, который в свою очередь воздействует на управляющий элемент гидроусилителя; электрогидравлический – осциллирующее движение генерируется электромагнитным способом, приводя в движение управляющий элемент гидроусилителя, тем самым, создавая большие усилия на штоке гидроцилиндра, приводящего в движение механизм качания.

Система управления зависит от типа и «возможностей» привода, генерирующего вибрационное либо качающее движение. Существует несколько способов получения колебательного движения кристаллизатора.

Первый способ достигается посредством использования кулачкового механизма, приводимого во вращение непосредственно электродвигателем или через редуктор. Благодаря использованию частотных преобразователей первый тип привода может задавать период колебаний (частоту) кристаллизатора, а замена кулачка с другой формой может обеспечить другой закон траектории качания, что невозможно в процессе разлива, а только тогда, когда МНЛЗ остановлена, что является существенным недостатком этого типа привода.

Второй способ, получивший наибольшее распространение в современной практике при модернизации старых и создания новых МНЛЗ, сводится к использованию гидравлического привода, достоинства которого перед кулачковым очевидны. Благодаря использованию пропорциональной следящей электрогидравлики может быть обеспечен требуемый закон движения штока гидроцилиндра, постоянно корректируемый по перемещению линейным точным датчиком обратной связи, встроенным непосредственно в гидроцилиндр. Благодаря тому что шток цилиндра жестко связан с механизмом качания, возникновение неконтролируемого подбрасывания кристаллизатора при больших амплитудах и частотах из-за инерционности движущихся масс системы качания кристаллизатора отсутствует. Все возникающие при этом силы в зависимости от координаты положения штока гидроцилиндра компенсируются силами давления в гидроприводе благодаря электрогидравлическим устройствам с пропорциональным управлением. Это позволяет обеспечить требуемый закон осциллирования, максимально приближенный к заданному с малой ошибкой. Входной управляющий ко-

лебательный закон задается системой автоматизированного управления и может быть изменен в процессе разлива оператором с пульта управления в зависимости от возникшей технологической ситуации, что является одним из важных преимуществ перед механизмами с кулачковым, эксцентриковым приводом.

В настоящее время целесообразно применение электрогидравлических устройств управления. С их помощью возможно обеспечить требуемый управляемый закон колебаний (синусоидальный и несинусоидальный сложной формы) с целью определения оптимального режима качания, зависящего от различных факторов, таких, как марка стали, тип шлаковой смеси и т. д.

При синусоидальном законе требуется изменять частоту (время одного периода колебаний); нулевую точку, относительно которой происходит колебание; амплитуду колебаний.

Амплитуда и частота кристаллизатора связаны с требуемой скоростью вытягивания слитка, которая на некоторых режимах разлива является переменной, появление глоссажных меток, форма и геометрические размеры которых зависят от скорости опережения кристаллизатором слитка. Использование скорости опережения движения кристаллизатором слитка свыше 20 % приводит к появлению глубоких глоссажных меток, которые способствуют появлению дефектов в виде поперечных поверхностных трещин. Вторая положительная сторона передачи колебательного движения корке слитка заключается в разрушении на границе «корка – расплавленный металл» длинных дендритов силами вязкого трения. Действие сил

вязкого трения между постоянно движущейся и деформирующейся коркой слитка и вихревыми потоками расплавленного металла, истекающего через погружной стакан в кристаллизатор, приводит к измельчению и повышению физико-химической однородности слитка в зоне, близкой к поверхности. Снижение вероятности загибания и обламывания корочки, сформировавшейся у мениска, может быть достигнуто синхронизацией колебаний кристаллизатора в вертикальной и горизонтальной плоскостях со скоростью вытягивания слитка.

Системы качания кристаллизатора, входящие в состав МНЛЗ

В составе установок НРС используются механизмы качания, обеспечивающие движение кристаллизаторов по синусоидальному закону, выполненные в виде сдвоенного шарнирного четырехзвенника (рис. 1) [4, 5]. На выходном звене закреплен стол 1, на котором установлен и зафиксирован кристаллизатор 2. Электромеханический привод стола качания включает в себя электродвигатель 3, коническо-цилиндрический редуктор и эксцентриковую муфту 4, с помощью которой задается амплитуда качания кристаллизатора МНЛЗ. В шарнирных соединениях и опорах вала эксцентриковой муфты установлены подшипники качения. Ориентировочно масса выходного звена механизма со столом качания и установленным на нем кристаллизатором составляет величину более 1000 кг (без учета массы соединительных рычагов), для этого установлены два пневматических устройства 5, которые частично уравнивают силу тяжести стола качания.

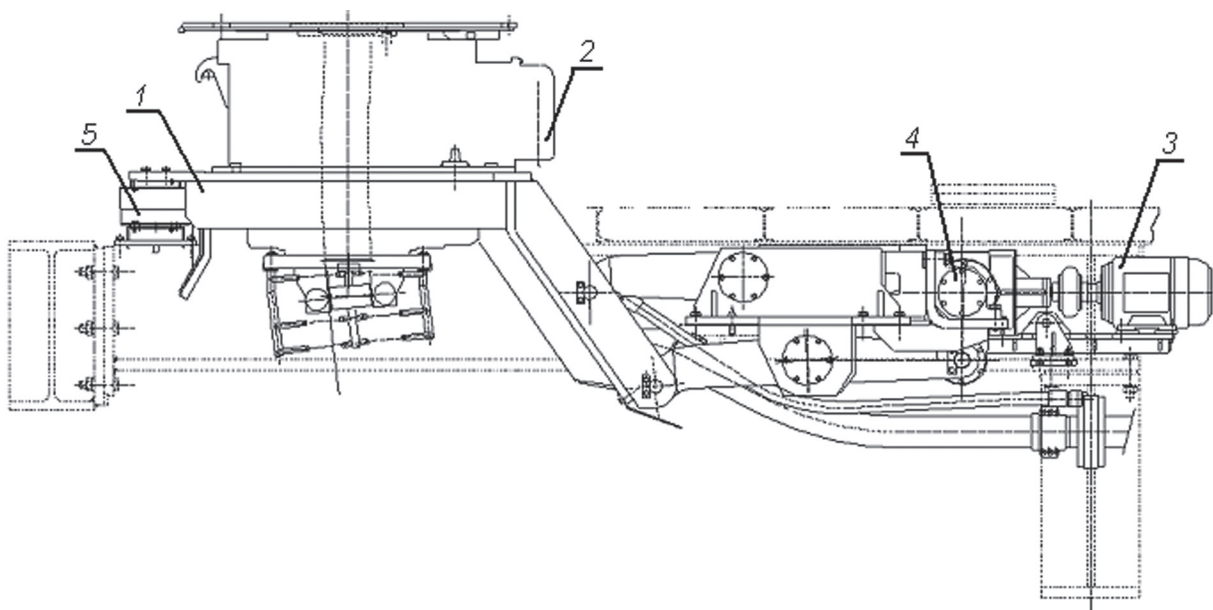


Рис.1. Механизм качания, выполненный по схеме сдвоенного шарнирного четырехзвенника

В качестве системы управления и выполнения задачи обеспечения заданного числа качаний, входящая в состав автоматизированной системы контроля, управления электроприводами МНЛЗ ЭСПЦ № 2 ОАО «НКМК» входит привод постоянного тока FlexPak, реализующий функцию управления с обратной связью по напряжению. Система введена в эксплуатацию в 2004 г. Задание функции закона качания обеспечивает программа контроллера, также в ее состав входит контрольный алгоритм для подсчета фактического числа качаний, принцип работы которого заключается в контроле пульсаций тока якоря, обусловленным периодическим законом вращения кривошипного механизма.

Широкое применение получила система качания с электрогидравлическим приводом фирмы VAI (Voest-Alpine Industrieanlagenbau, Австрия) «Dynaflex». В состав устройства качания «Dynaflex» входит электрогидравлический следящий привод с обратной связью по положению штока гидроцилиндра, обеспечивающий частоту 5 Гц при величине хода 5 мм. В этом устройстве используется система направляющих пластинчатых пружин, обеспечивающая отклонение в радиальном и боковом направлениях не более 0,06 мм при работе.

Схема механизма качания со следящим электрогидравлическим приводом, используемого фирмой «Danieli» при разработке и реконструкции МНЛЗ, показана на рис. 2. Он включает в себя гидроцилиндр 3 электрогидравлического следящего привода с обратной связью по положению, пневматический компенсатор веса 2 и стола качания 1 с закрепленным на нем кристаллизатором и другими устройствами (катушки электромагнитного перемешивания, датчика уровня металла и т. д.). При возвратно-поступательном движении штока гидроцилиндра, соединенного со столом качания в точке О, стол качания совершает плоскопараллельное движение относительно жесткозакрепленных точек А и В.

Основное отличие электромеханических устройств от электрогидромеханических заключается в методе получения возвратно-поступательного движения. Метод получения возвратно-поступательного движения с использованием электрогидромеханических устройств заключается в применении следящего электрогидравлического усилителя, исполнительный орган (гидроцилиндр) которого приводит в движение раму кристаллизатора, а метод с использованием электромеханического привода обеспечивается электродвигателем, приводящим в движение стол качания через сложный

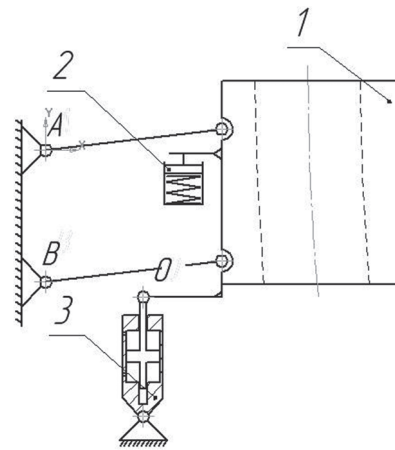


Рис. 2. Кинематическая схема механизма качания со следящим электрогидравлическим приводом

рычажный механизм, редуктор с зубчатым зацеплением и эксцентриковую муфту. У первого и второго методов есть свои достоинства и недостатки.

Достоинства электрогидромеханического метода:

- более простая конструкция и меньшая масса механики, обеспечивающие возвратно-поступательное движение и удерживающие кристаллизатор благодаря тому, что в ней отсутствуют механизмы, которые преобразуют вращательное движение в возвратно-поступательное. Известно, что снижение массы и уменьшение количества дополнительных узлов, находящихся в постоянном движении, ведет к уменьшению динамических нагрузок и повышению его надежности при эксплуатации;
- возможность создания регулируемого закона качания в процессе разливки, что электромеханическим методом возможно только при замене кулачка, эксцентрика и т. д.;
- предотвращение дрожаний (вибраций) кристаллизатора, обычно сопровождающих работу электрогидромеханического привода из-за наличия зазоров в редукторе привода и шарнирных соединений;
- возможность уменьшения амплитуды и увеличения частоты качания, что электромеханическим методом невозможно из-за наличия люфтов в соединениях;
- более безопасная и быстрая замена кристаллизатора;
- удобство в обслуживании привода кристаллизатора в ходе разливки вследствие выноса гидроцилиндров из труднодоступной зоны;
- более продолжительный период времени между ремонтно-профилактическими мероприятиями, возникающими при эксплуатации.

Недостатки электрогидравлического метода:

- требуется наличие специалиста, владеющего знаниями в области электрогидравлики, обеспечивающей периодический контроль за техническим состоянием гидропривода и системой управления;

- в случае использования в составе гидропривода сервогидравлических элементов требуется постоянный контроль за их состоянием либо своевременная замена;

- требуется использование негорючих водоземulsionных рабочих жидкостей, имеющих отличающиеся физико-химические свойства от наиболее распространенных масел на нефтяной основе, что приводит к внесению корректировок в электрическую систему управления гидравлической распределительной аппаратурой и влияет на выбор материала уплотнений и деталей гидравлических устройств.

Литература

1. Самойлович Ю. А., Тимошпольский В. И., Трусова И. А. и др. Стальной слиток: В 3-х т. Т. 1. Управление кристаллической структурой / Под общ. ред. В. И. Тимошпольского, Ю. А. Самойловича. Мн.: Беларуская наука, 2000.
2. Смирнов А. Н., Пилюшенко В. Л., Минаев А. А. и др. Процессы непрерывной разливки стали. Киев, 2002.
3. Сидоров В. А., Сотников А. Л. Организация технического обслуживания и ремонта механизма качания кристаллизатора МНЛЗ // Материалы 8-й региональной науч.-метод. конф. Донецк, 2006. С. 101–102.
4. Мазуренко В. В., Мешков В. А., Сотников А. Л. Определение причин отклонения параметров движения рычажных механизмов // Машинознание. Материалы 7-й научно-метод. конф. Донецк, 29 апреля. 2005 г.
5. Левин М. З., Седуш В. Я., Мачикин В. И. Механическое оборудование сталеплавильных цехов. Киев: Вища шк., 1985.