

УДК 669.18.046.518

Смирнов А. Н., Антыкуз О. В., Цупрун А. Ю., Пильгаев В. М., Володько И. Л.

## ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМОВ КАЧАНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

В конце XX начале XXI вв. в мировой практике непрерывной разливки стали развиваться тенденции увеличения удельной производительности МНЛЗ за счет увеличения скорости разливки при повышении требований к качеству поверхности заготовки [1, 2]. При этом большое внимание уделяется вопросу формирования следов качания на поверхности заготовки, а также проблематике предотвращения «прилипания» твердой корочки к поверхности кристаллизатора, которое может привести к локальному разрушению твердой корочки (в виде трещин) под кристаллизатором.

Считается, что впервые синусоидальный закон колебаний применили на двух советских машинах для отливок слябовых заготовок: в 1959 г. на Новолипецком металлургическом комбинате и в 1960 г. на Донецком металлургическом заводе [3, 4]. До начала 90-х годов прошлого века синусоидальный режим качания кристаллизатора (реализуемый за счет электромеханического привода механизма качания) оставался наиболее распространенным вследствие его технических преимуществ, а именно: простота реализации, меньшие моменты инерции и рывки ускорения в сравнении с режимом, предложенным З. Юнгхансом.

Целью работы является анализ недостатков механизмов качания с электромеханическим приводом и выявление преимуществ в работе механизмов качания с гидравлическим приводом.

Основными причинами широкого распространения синусоидального режима качания с электромеханическим приводом являются простота в изготовлении и низкая стоимость эксцентриков (в сравнении со сложно-профильными кулачками для обеспечения несинусоидальных режимов качания с использованием электромеханического привода) и несложной системой управления электродвигателем.

Все электромеханические механизмы качания кристаллизаторов на ряду со своими достоинствами, указанными выше, обладают и рядом недостатков. Среди недостатков можно выделить следующие:

– в механической цепи механизма качания кристаллизатора с электромеханическим приводом присутствует большое число зазоров (это связано с тем, что в состав механизма входит большое число элементов), что негативно влияет на динамику работы самого механизма и износ его элементов;

– частота качания кристаллизаторов, снабженными механизмами с электромеханическим приводом составляет 50–250 качаний в минуту при амплитуде 6–12 мм. Такие значения рабочих параметров являются недостаточными при эксплуатации высокоскоростных сортовых машин непрерывного литья заготовок ;

– у электромеханических механизмов качания кристаллизаторов МНЛЗ во время процесса разливки отсутствует техническая возможность изменять амплитуду качания (это связано с тем, что в качестве элемента, определяющего амплитуду качания, выступает эксцентрик либо кривошип, заменить который невозможно во время работы). В качестве переменного параметра выступает частота качания. Это приводит к тому, что при нестандартных ситуациях (ощутимое изменение скорости разливки) не всегда присутствует возможность обеспечить регламентируемый режим осцилляции, что может сказаться на качестве непрерывнолитой заготовки.

Более широкие возможности по управлению соотношением параметров качаний кристаллизатора в зависимости от скорости разливки достигаются при применении механизмов

качания кристаллизатора с гидравлическим приводом [5, 6]. Широкое использование таких механизмов качания стало возможным благодаря бурному развитию систем автоматического управления в 80–90-х годах XX века и ввода их в производственную среду. Это позволило конструкторам не только применить совместно с синусоидальными режимами и несинусоидальные, но и осуществлять более плавное регулирование параметров осцилляции при изменениях в процессе литья, а также использовать более широкий диапазон технологических параметров, связанных с качанием кристаллизатора. Кроме того, механизмы качания кристаллизатора с гидравлическим приводом лишены недостатков, характерных для механизмов с электромеханическим приводом, указанных выше.

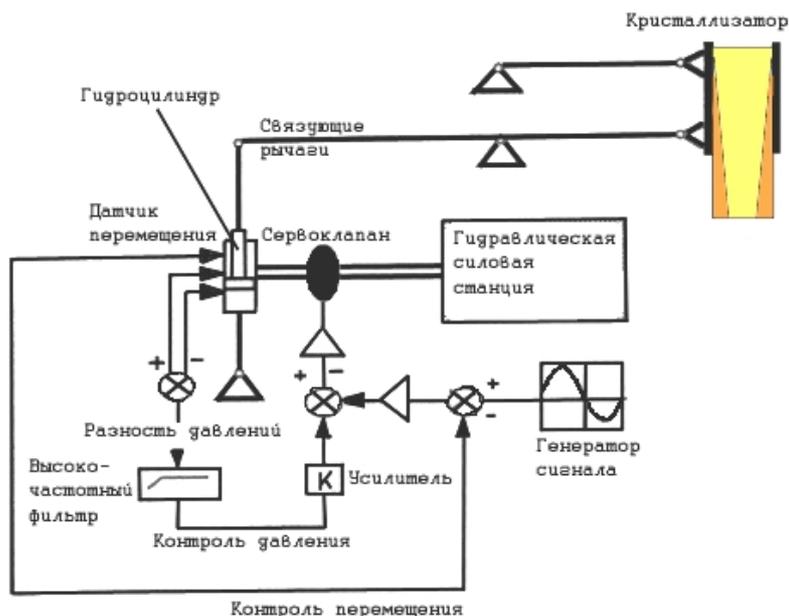


Рис. 1. Схема системы качания кристаллизатора с серво-гидравлическим приводом

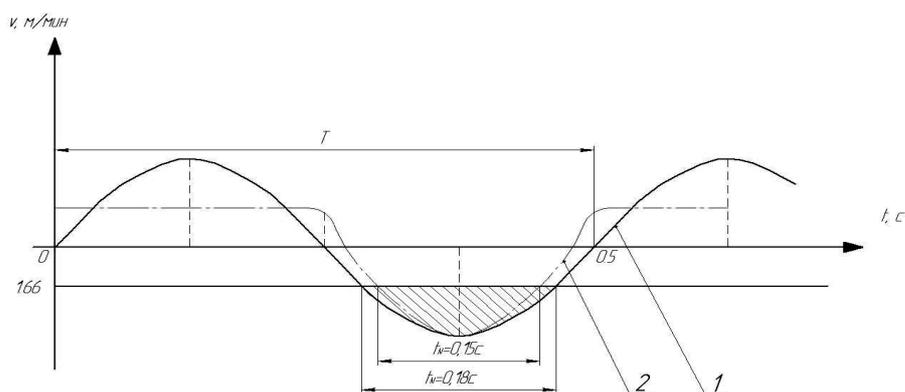


Рис. 2. Законы осцилляции кристаллизатора, графики скорости:  
1 – синусоидальный закон; 2 – несинусоидальный закон

От того, как точно выдерживается требуемый режим осцилляции кристаллизатора, в каком техническом состоянии находится механизм качания кристаллизатора, и возможности своевременно среагировать на изменения режима разлива зависит качество поверхности и подповерхностных зон непрерывнолитой заготовки. Ведь качание кристаллизатора не только препятствует прилипанию твердой корочки, но также является причиной возникновения на поверхности заготовки так называемых «следов качания», представляющих собой углубления в виде поперечных канавок (рис. 3). Принято считать, что следы качания

появляются только тогда, когда на вектор линейной скорости вытягивания заготовки накладывается другой вектор, соответствующий закономерно изменяющемуся по направлению движению кристаллизатора [8].



Рис. 3. Фотографии следов качания

Наиболее вероятный механизм образования следов качания представлен на рис. 4. В соответствии с приведенным механизмом глубина и форма канавки следов качания определяется фазой стыковки верхнего пояса корочки (применисковая область) с основной ее частью (этапы С, D, E). При этом важным моментом является то, в какой степени совпадет положение нижнего края верхнего пояса корочки с положением верхнего края основной части корочки в момент начала движения кристаллизатора вверх. Так, если нижний край верхней части корочки опустится значительно ниже верхнего края основной корочки, то в процессе их контакта может произойти загибание краев корочки внутрь слитка, что увеличит размеры канавки следа качания. Если же нижний край верхней части корочки не «догонит» верхний край основной корочки, то форма канавки следа качания будет соответствовать форме мениска жидкой стали между ними (этап В).

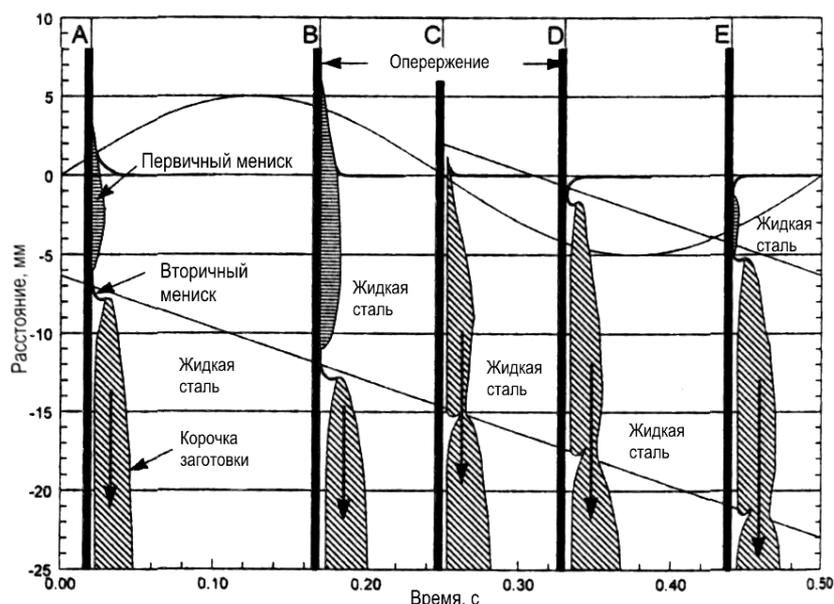


Рис. 4. Механизм формирования следов качания

Из рисунка 4 видно, что согласно этому механизму, образования следов качания происходит в течение времени опережения (этапы В–D). Кроме того, в течение этого времени отсутствует затекание расплавленной ШОС между стенкой кристаллизатора и заготовкой. Это обуславливается тем, что в этот момент кристаллизатор движется в направлении движения заготовки со скоростью большей по модулю, чем скорость движения заготовки. Следовательно, время опережения следует минимизировать, но до определенного предела, чтобы верхняя часть корочки догнала нижнюю и образовался прочный контакт между ними на момент выхода следа качания из кристаллизатора (предотвратить возможность прорыва).

При использовании синусоидального режима качания кристаллизатора мы имеем 2 переменных параметра (амплитуда и частота качания кристаллизатора), за счет которых возможно изменить значение времени опережения. Триангулярный (несинусоидальный) режим осцилляции позволяет воздействовать на значение времени опережения посредством трех параметров – амплитуда, частота качания и форма кривой на графике скорости движения кристаллизатора.

Существуют различные виды несинусоидальных законов движения кристаллизатора (рис. 2, рис. 5). Но для реализации его на практике необходимо любой из законов описать математически либо задавать в матричном виде, что не всегда приветствуется.

Наиболее распространенный – это несинусоидальный закон, состоящий из двух синусоидальных. Т. е. кристаллизатор движется вверх по одному синусоидальному закону, а вниз – по другому (красная кривая на рис. 5). Но у такого закона есть один недостаток – большой скачок по ускорению в точке перехода с одного закона в другой. Следствием этого является резкое возрастание динамических нагрузок на механизм и удар. Это негативно сказывается на ресурсе работы механизма качания и может сказаться на качестве непрерывнолитой заготовки.

Авторами данной работы предлагается модифицированный закон, в котором отсутствует резкий скачок в значениях ускорения, снижены максимальные значения ускорения, а, следовательно, и инерционные нагрузки (рис. 5).

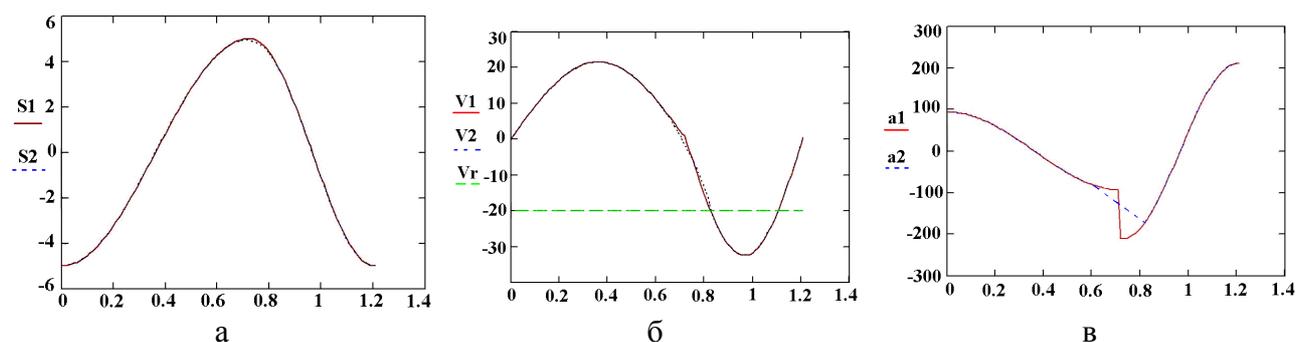


Рис. 5. Несинусоидальные режимы качания кристаллизатора (красный – традиционный, синий – модифицированный, зеленый – скорость разливки):

а – закон перемещения кристаллизатора; б – закон скорости движения кристаллизатора; в – закон ускорения кристаллизатора

Из рис. 5 можно заметить, что ход кристаллизатора не изменился, время опережения также осталось прежним при исключении резкого скачка ускорения. Предложенный закон является более предпочтительным, т.к. при прочих равных условиях он обладает некоторыми преимуществами. Представленные законы осцилляции кристаллизатора реализуются с использованием гидравлического привода механизма качания.

ЗАО «НКМЗ» при участии НПО «Доникс» и ДонНТУ разработали механизмы качания с гидравлическим приводом, установленные на слябовой МНЛЗ Липецкого металлургического комбината и сортовой МНЛЗ Енакиевского металлургического завода. В эти механизмы качания заложена возможность реализации как синусоидального, так и несинусоидального законов движения кристаллизатора. Это обеспечивает более широкий диапазон регулирования параметров осцилляции и повышение производительности за счет увеличения возможностей механизмов качания (уменьшение числа зазоров, возможность осуществлять высокочастотные режимы качаний кристаллизатора).

Между тем, в процессе работы механизмов качания как с электромеханическим приводом, так и с гидравлическим, необходимо осуществлять постоянный контроль отработки заданных режимов осцилляции. На современных МНЛЗ система контроля либо частично (контроль перемещения кристаллизатора и давления в полостях гидроцилиндров), либо полностью

(контроль перемещения, скорости, ускорения кристаллизатора и давления в полостях гидроцилиндров) включен в систему управления кристаллизатором. При отсутствии встроенных систем контроля авторами представляется возможным использование диагностической аппаратуры, а именно виброанализаторов, которые позволяют производить замеры перемещения, скорости и ускорения во временной и частотной областях. На рис. 6 приведены примеры сигналов скорости движения кристаллизатора, полученные при тестировании гидравлических механизмов качания для Липецкого металлургического комбината и Енакиевского металлургического завода, с использованием виброанализаторов СД-21 и 795М. Частотный диапазон измерений приборов составляет для СД-21 – от 2 до 25000 Гц, а для 795М от 0,5 до 10000 Гц.

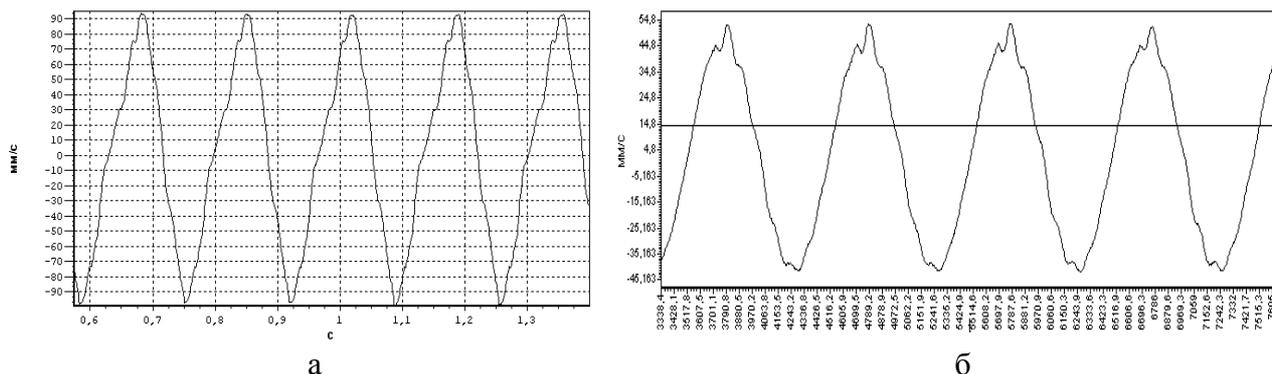


Рис. 6. Пример сигналов скорости движения кристаллизатора, полученных с использованием виброанализаторов:  
а – СД-21; б – 795М

В качестве примеров выбраны сигналы скорости движения кристаллизатора, т. к. это наиболее важный технологический параметр. Измерения осуществлялись во время отладки механизмов качания. На графиках можно заметить небольшие отклонения от синусоидальности и биения.

## ВЫВОДЫ

Представлены анализ недостатков механизмов качания с электромеханическим приводом, а также достоинства и возможности механизмов качания с гидравлическим приводом. В работе также рассмотрен механизм образования следов качания и влияние на него параметров осцилляции кристаллизатора. Даны краткие рекомендации по выбору несинусоидальных режимов качания кристаллизатора и осуществлению контроля за обработкой режимов осцилляции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *The Making Shaping and Treating of Steel : Casting Volume.* – Pittsburgh, PA : The AISE Steel Foundation, 2003. – 860 p.
2. Смирнов А. Н. Современный прогресс и перспективы развития процессов непрерывной разливки стали / А. Н. Смирнов // *Сталь.* – 2005. – № 12. – С. 29–32.
3. Wolf M. M. *History of Continuous Casting* / M. M. Wolf // *Steelmaking Conference Proceedings, ISS-AIME.* – 1992. – Vol. 75. – P. 83–137.
4. *Процессы непрерывной разливки* / А. Н. Смирнов, В. Л. Пилюшенко, А. А. Минаев и др. – Донецк : ДонНТУ, 2002. – 536 с.
5. *Mould Strand Interaction During Continuous Casting* / G. Alvarez de Toledo, E. Lainez, J. J. Laraudogoitia e.a. // *Proceedings 3-rd ECCS : October 20–23. 1998, Madrid.* – P. 543–551.
6. *Hydraulic Oscillation of the CC Slab Mold at Sollac Florange : First Industrial Results, Future Developments* // *Steelmaking Conference Proceedings, 1993.* – Warrendale : 1993. – P. 209–218.
7. Еронько С. П. *Разливка стали : оборудование, технология* / С. П. Еронько, С. В. Быковских. – К. : Техніка, 2003. – 216 с.
8. *Влияние качания кристаллизатора на качество поверхности непрерывнолитых слябов* / Э. Шюрман, Л. Фиге, Х.-П. Кайзер, Т. Клагес. – *Черные металлы.* – 1986. – № 22. – С. 27–33.