

УДК 669.18.046.518

**А.Н. Смирнов** /д.т.н./

НПО "Доникс" (Донецк, Украина)

**О.В. Антыкуз**

Донецкий национальный технический университет (Донецк, Украина)

**А.Ю. Цупрун**

НПО "Доникс" (Донецк, Украина)

## **ДОСТОИНСТВА И ВОЗМОЖНОСТИ МЕХАНИЗМА КАЧАНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА МНЛЗ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ**

*Розглянуто недоліки механізму хитання кристалізатора МБЛЗ з електромеханічним приводом, а також достоїнства механізму хитання з гідравлічним приводом. Наводяться рекомендації з модифікації несинусоїдального закону коливального руху кристалізатора МБЛЗ.*

*Рассмотрены недостатки механизма качания кристаллизатора МНЛЗ с электромеханическим приводом, а также достоинства механизма качания с гидравлическим приводом. Приводятся рекомендации по модифицированию несинусоидального закона колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ.*

Последние десятилетия в мировой практике непрерывной разливки стали наблюдаются тенденции повышения удельной производительности машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и улучшения качества отливаемых на них заготовок [1,2]. Большое внимание уделяется вопросу формирования "следов качания" на поверхности непрерывнолитого слитка, а также проблематике предотвращения "прилипания" его твердой корочки к стенкам гильзы кристаллизатора, которое может привести к локальному ее разрушению в виде трещин при выходе слитка в зону вторичного охлаждения.

Существенное влияние на указанные процессы оказывают реализуемые законы колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ, среди которых наиболее распространенным является синусоидальный. Впервые синусоидальный закон колебательного движения кристаллизатора применили на двух советских слябовых МНЛЗ: в 1959 г. на ОАО "Новолипецкий металлургический комбинат" (Липецк, Россия) и в 1960 г. на ОАО "Донецкий металлургический завод" (Украина) [3,4]. До недавнего времени синусоидальный закон колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ, реализуемый с помощью электромеханического привода механизма качания, широко применялся благодаря простоте конструкции механической системы механизма и меньшим моментам инерции.

Все типы механизма качания кристаллизатора МНЛЗ с электромеханическим приводом на-

ряду со своими достоинствами, указанными выше, обладают и рядом недостатков:

- наличие большого числа зазоров, соответствующего числу кинематических пар механизма качания, негативно влияющих на динамику его работы и износ элементов;

- недостаточные диапазоны значений регулируемых параметров колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ (амплитуда – 6...12 мм, частота – 50...250 кол./мин.) для осуществления высокоскоростного литья заготовок на сортовых МНЛЗ;

- отсутствие возможности регулирования амплитуды колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ в процессе непрерывного литья заготовок для обеспечения при нестандартных ситуациях (например, значительное изменение скорости вытягивания слитка) регламентируемых параметров колебательного движения кристаллизатора, что может отрицательно сказаться на качестве непрерывнолитых заготовок;

- невозможность обеспечить заданный триангулярный (несинусоидальный) закон колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ (в кулачковом механизме качания достаточно быстро происходит искажение профилей кулачков вследствие износа, что приводит к изменению закона колебательного движения кристаллизатора).

Более широкие возможности по управлению соотношением параметров колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ в зависимости от

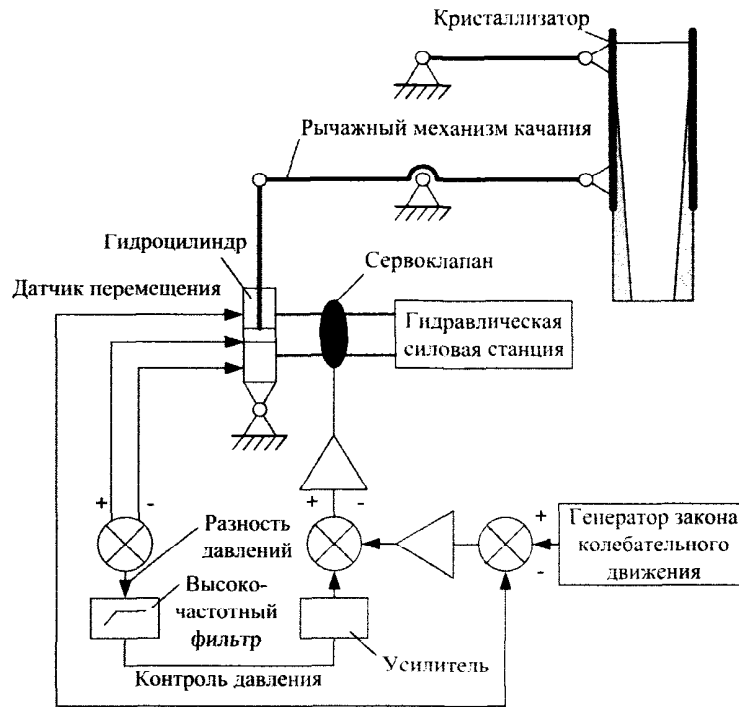


Рисунок 1 – Схема механизма качания кристаллизатора МНЛЗ с гидравлическим приводом

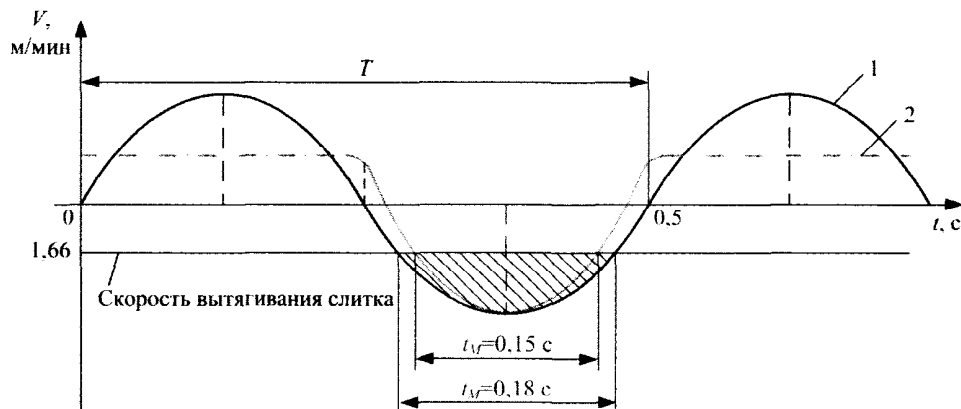


Рисунок 2 – Законы колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ:  
1 – синусоидальный; 2 – несинусоидальный;

$T$  – период колебательного движения кристаллизатора;  $t_M$  – время опережения

скорости вытягивания слитка обеспечиваются при применении механизма качания с гидравлическим приводом (рисунок 1) [5,6]. Применению данного типа механизма качания способствует бурное развитие систем автоматического управления. Это позволило конструкторам не только реализовать различные законы колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ, но и осуществлять оперативную корректировку их параметров в процессе непрерывного литья заготовок. Кроме того, механизм качания с гидравлическим приводом лишен недостатков, характерных для механизма с электромеханическим приводом, рассмотренных выше.

От того, как точно выдерживаются требуемые закон и параметры колебательного движе-

ния кристаллизатора МНЛЗ (рисунок 2), в каком техническом состоянии находится механизм качания и имеется ли возможность своевременного реагирования на изменения технологических параметров процесса непрерывного литья заготовок, зависит качество поверхности отливаемых заготовок. Колебательное движение кристаллизатора не только препятствует прилипанию к стенкам гильзы кристаллизатора твердой корочки слитка, но также является причиной возникновения на его поверхности так называемых "следов качания", представляющих собой углубления в виде поперечных канавок (рисунок 3). Принято считать, что "следы качания" появляются только тогда, когда на вектор линейной скорости вытягивания слитка накладыва-

вается другой вектор, соответствующий закономерно изменяющемуся по направлению вектору скорости движения кристаллизатора [7,8].

В настоящее время нет однозначного подхода к описанию механизма образования "следов качания" на поверхности непрерывнолитого слитка. Но практически во всех теориях высказывается предположение, что образование "следов качания" в различной степени зависит от закона колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ, плотности контакта между стенками его гильзы и корочкой непрерывно формирующегося слитка, а также от смазки и теплопередачи между ними.

Схема одного из механизмов образования "следов качания" приведена на рисунке 4. Она характерна для непрерывной разливки стали открытой струей, когда в качестве смазочного материала применяется масло, а не шлакообразующая смесь (ШОС). В данном случае глубина и форма канавки "следов качания" определяется фазой стыковки верхнего пояса корочки (применисковая область) с основной ее частью (этапы *C, D, E*). При этом важным моментом является

то, в какой степени совпадет положение нижней части верхнего пояса корочки с положением верхней части основного тела корочки в момент начала движения кристаллизатора вверх. Так, если нижняя часть верхнего пояса корочки опустится значительно ниже верхней части основного тела корочки, то в процессе их контакта может произойти загибание корочки внутрь слитка, что увеличит размеры канавки "следа качания". Если же нижняя часть верхнего пояса корочки не "догонит" верхнюю часть основной корочки, то форма канавки "следа качания" будет соответствовать форме мениска жидкой стали между ними (этап *B*).

Согласно этому механизму, образование "следов качания" происходит в течение времени опережения  $t_M$  (этапы *B...D*). Кроме того, в течение этого времени отсутствует затекание расплавленной ШОС между стенкой гильзы кристаллизатора и поверхностью непрерывно формируемого слитка. Это обуславливается тем, что в этот момент кристаллизатор движется в направлении движения слитка со скоростью большей по модулю, чем скорость движения слитка.

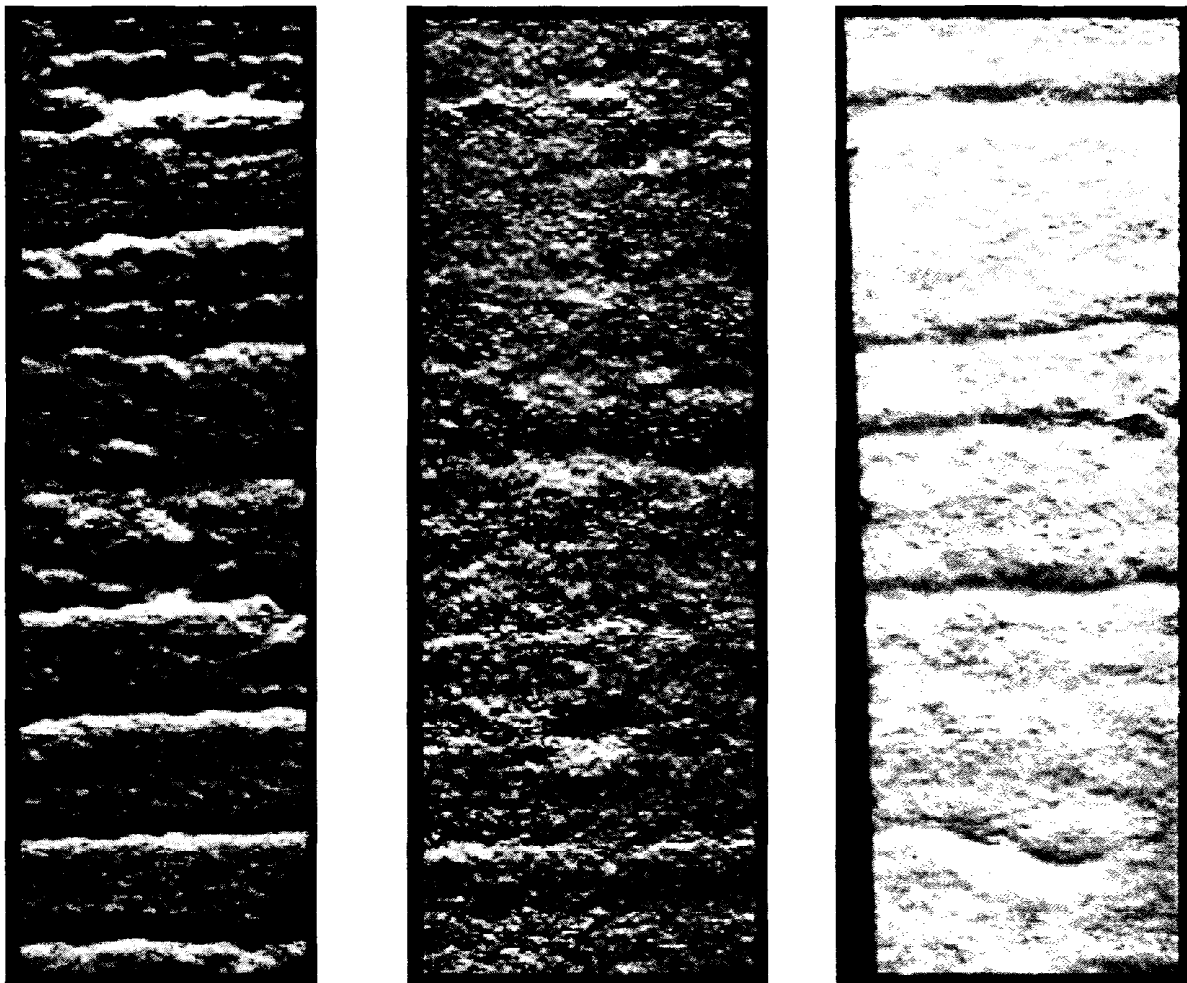


Рисунок 3 – Внешний вид "следов качания" на поверхности непрерывнолитого слитка

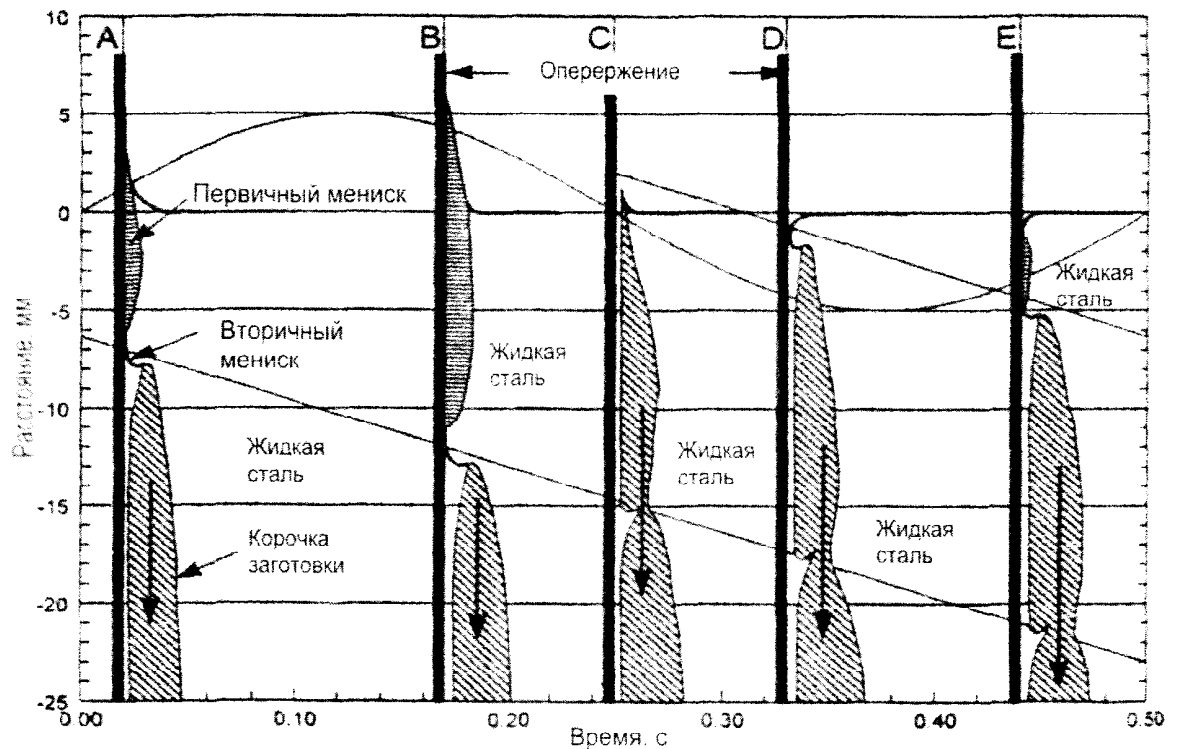


Рисунок 4 – Механизм формирования "следов качания" на поверхности непрерывнолитого слитка

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 (иначе возможен прорыв жидкой стали).

Известно, что при прочих равных условиях отклонения в толщине корочки слитка минимальные, когда шаг "следов качания" не превышает 12,5 мм [6].

При синусоидальном законе колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ изменение значения времени опережения  $t_M$  возможно за счет регулирования амплитуды и частоты колебательного движения кристаллизатора. Треугольный (несинусоидальный) закон колебательного движения позволяет изменять значение времени опережения за счет регулирования трех параметров: амплитуды, частоты и закона колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ.

Существуют различные виды несинусоидальных законов колебательного движения кристаллизатора (рисунки 2 и 5). Но для их реализации на практике необходимо эти законы описать математически либо задавать в матричном виде, что не всегда приветствуется.

Наиболее распространен несинусоидальный закон колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ, скомбинированный из двух синусоидальных. При этом кристаллизатор движется вверх по одному синусоидальному закону, а

вниз – по другому (сплошная линия на рисунке 5). У такого закона движения есть один недостаток – большой "скачок" по ускорению в точке перехода с одного закона в другой. Следствием этого является резкое возрастание динамических нагрузок на механизм качания кристаллизатора МНЛЗ и возникновение удара, что негативно сказывается на ресурсе работы механизма качания и влияет на качество непрерывнолитого слитка.

Авторами предлагается модифицированный закон колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ, в котором отсутствует резкий скачок значений ускорения, снижены максимальные значения ускорения, а, следовательно, и инерционные нагрузки (пунктирная линия на рисунке 5).

Из рисунка 5 можно заметить, что закон перемещения кристаллизатора МНЛЗ не изменился, время опережения  $t_M$  также осталось прежним при исключении резкого "скачка" значений ускорения. Представленные законы колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ реализуются с использованием механизма качания с гидравлическим приводом.

В целом, как показывает анализ, ведущие производители МНЛЗ ("Siemens VAI Metals Technologies GmbH & Co" (Австрия), ЗАО "Новокраматорский машиностроительный завод" (Краматорск, Украина) и др.) стремятся использовать в новых машинах гидравлические приво-

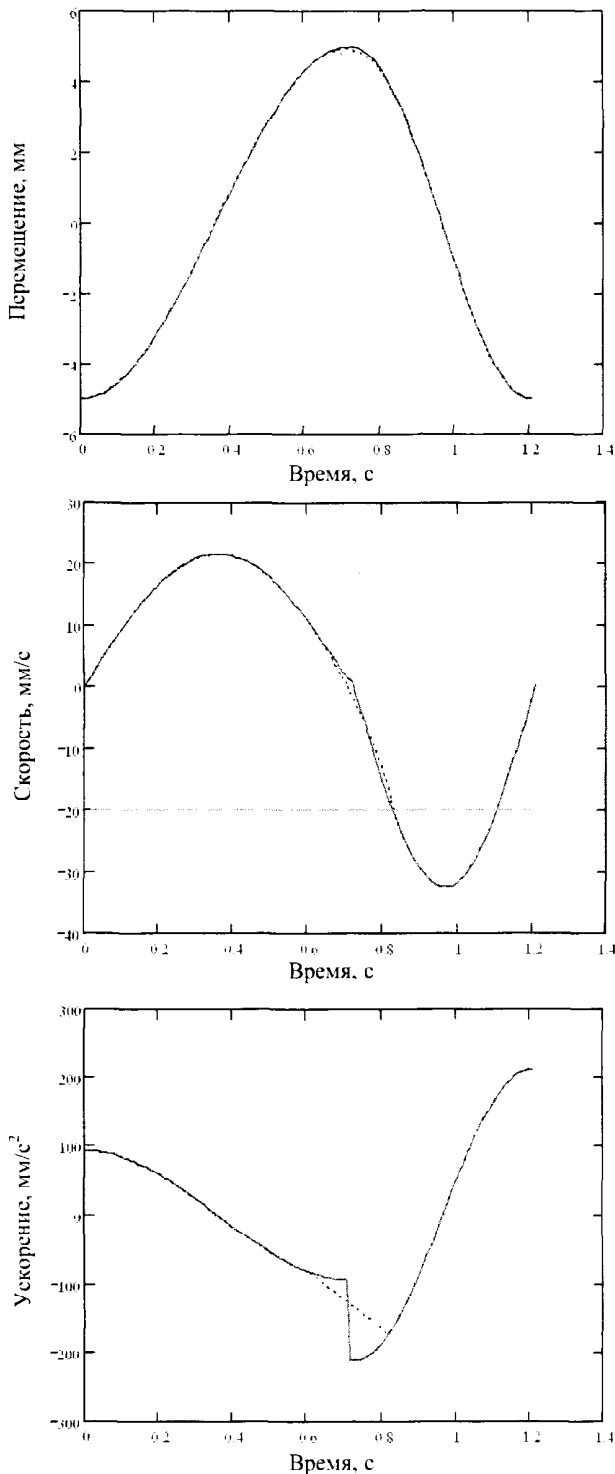


Рисунок 5 – Триангулярный (несинусоидальный) закон колебательного движения кристаллизатора:  
 сплошная линия – традиционный;  
 пунктирная линия – модифицированный

ды механизма качания, закладывая в них возможность реализации как синусоидального, так и несинусоидального закона колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ.

Как правило, конструктивно механизм качания кристаллизатора МНЛЗ с гидравлическим

приводом включает два отдельных блока. Каждый блок состоит из стационарной и качающейся сварных рам. Подвижные массы (качающиеся рамы и кристаллизатор) уравниваются с помощью пружин. Направление движения качающейся рамы обеспечивается двумя парами рессор. Узлы рессор объединены в один блок с качающейся рамой. Качающиеся рамы приводятся в движение двумя гидроцилиндрами, оси которых расположены в вертикальной плоскости, проходящей примерно через центр тяжести системы подвижных масс и расположенной под некоторым углом к плоскости базовой стенки гильзы кристаллизатора. Для подачи охлаждающей воды к кристаллизатору в рамках механизма качания выполнена внутренняя разводка труб. При этом отношение цикла движения кристаллизатора вниз к общему периоду движения  $T$  может достигать 0,7...0,75.

В таблице 1 приведено сравнение технических характеристик механизма качания кристаллизатора трех слябовых МНЛЗ "Siemens VAI Metals Technologies GmbH & Co" и ЗАО "Новокраматорский машиностроительный завод". Как видно из приведенных данных, параметры механизма качания кристаллизатор МНЛЗ примерно одинаковые. В конструктивном плане механизм качания кристаллизатора ЗАО "Новокраматорский машиностроительный завод" отличается тем, что гидроцилиндры расположены по диагонали, что обеспечивает более точное направление колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ при нестационарных режимах непрерывной разливки стали.

#### Выводы

Таким образом, использование механизма качания кристаллизатора МНЛЗ с гидравлическим приводом взамен механизмов с электро-механическим приводом позволяет повысить производительность МНЛЗ, улучшить качество поверхности отливаемых заготовок, снизить число прорывов и аварийных ситуаций. Механизмы качания с гидравлическим приводом позволяют обеспечить практически любой закон колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ.

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 / *Сталь.* – 2005. – №12. – С. 29-32.
3. *Wolf M.M.* History of Continuous Casting / *Steelmaking Conference Proceedings, ISS-*

Таблица 1 – Технические характеристики механизма качания кристаллизатора слывовых МНЛЗ

Параметр	ОАО "Новолипецкий металлургический комбинат"		ОАО "Металлургический комбинат "Азовсталь" (Мариуполь, Украина)
	Кислородно-конвертерный цех 1	Кислородно-конвертерный цех 2	Конвертерный цех
Сечение отливаемых слывов, мм: – толщина – ширина	200; 250; 315 900...1850	220; 250 900...1850	220; 250; 300 1250...1850
Тип кристаллизатора	вертикальный		радиальный
Тип механизма качания	гидравлический, рессорного типа		гидравлический, рессорного типа
Параметры колебательного движения кристаллизатора: – амплитуда, мм – частота, кол./мин.	до ± 7 до 240	до ± 6 до 400	до ± 6 до 300
Закон колебательного движения кристаллизатора	синусоидальный, с асимметрией 0,5...0,7		синусоидальный, с возможностью асимметрии
Уравновешивание	пружинное		пружинно-пневматическое
Гидроцилиндр (двухштоковый), шт: – диаметр поршня, мм – диаметр штока, мм – ход поршня, мм – рабочее давление, МПа	2 125 80 50 21	2 125 90 25 20	2 118 80 50 23
Расположение гидроцилиндров	диагональное	по оси качания	
Масса механизма качания, кг: – подвижных частей, – общая	≈7400 13654	≈5000 13250	≈9500 28178
Год пуска МНЛЗ	2008		2005
Производитель МНЛЗ	ЗАО "Новокраматорский машиностроительный завод"	"Siemens VAI Metals Technologies GmbH & Co"	ЗАО "Новокраматорский машиностроительный завод"

- AIME. – 1992. – Vol. 75. – pp. 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, Madrid, October 20-23, 1998.* – pp. 543-551.
  6. *Hydraulic Oscillation of the CC Slab Mold at Sollac Florange: First Industrial Results, Future Developments / Steelmaking Conference Proceedings 1993.* – pp. 209-218.
  7. *Влияние качания кристаллизатора на качество поверхности непрерывнолитых слывов* / Э. Шюрман, Л. Фиге, Х.-П. Кайзер, Т. Клагес // *Черные металлы.* – 1986. – №22. – С. 27-33.
  8. *Royzman S. Stresses due to oscillation marks in continuous solidifying slab: a mathematical model / Steel Technology International.* – 1999. – pp. 73-80.

Статья поступила 17.11.2009 г.

© А.Н. Смирнов, О.В. Антыкуз, А.Ю. Цупрун, 2009  
Рецензент д.т.н., проф. С.П. Еронько