



От редколлегии

Современный уровень развития непрерывной разливки стали в Украине не может не вызывать обеспокоенности. Ключевым звеном, определяющим как качество получаемых непрерывно-литых заготовок, так и стабильность и безопасность процессов разливки стали на МНЛЗ, является совершающий колебательные движения кристаллизатор, в котором непосредственно происходят процессы формирования непрерывно-литого слитка.

Публикуя данную статью, редколлегия рассчитывает привлечь внимание читателей к данной проблеме еще и потому, что в переплавных процессах специальной электрометаллургии, реализуемых по схеме вытягивания слитка, имеются сходные с МНЛЗ не решенные до конца проблемы.

УДК 62-412.002.5+669.018.258

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КАЧЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА МНЛЗ

В. А. Сидоров, А. Л. Сотников

Колебательное движение кристаллизатора МНЛЗ, направленное по ее технологической оси, обеспечивается благодаря соответствующему конструктивному исполнению механизма качания. В силу естественных процессов происходит постоянное изменение технического состояния механизма качания, что отражается на параметрах и направлении движения кристаллизатора МНЛЗ. Для радиальных МНЛЗ предложено контролировать соосность кристаллизатора с технологической осью машины через радиус качания.

Oscillating movement of a mould of machines for continuous casting of billets, directed along its technological axis, is guaranteed owing to the appropriate design of a swinging mechanism. Owing to natural processes, the constant change in technical condition of a swinging mechanism occurs that is reflected on parameters and direction of movement of a mould for the machines of continuous casting of billets. It is suggested for radial machines for continuous casting of billets to provide the control of the co-axiality of the mould with a technological axis of the machine with the help of a swinging radius.

Ключевые слова: МНЛЗ; механизм качания; траектория движения; техническое состояние; контроль; радиус качания; виброметрия; размах колебаний

Колебательное движение кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), обеспечивается посредством механизма качания. Путь, по которому движется кристаллизатор между двумя крайними положениями, соответствует технологической оси машины. Для радиальной МНЛЗ технологическая ось представляет собой дугу окружности, движение кристаллизатора является возвратно-вращательным относительно центра кривизны МНЛЗ.

Первоначальное формирование непрерывно литой заготовки (НЛЗ) осуществляется в кристаллизаторе. Поэтому отклонение его от соосности с технологической осью машины, как и с другим оборудованием участка формирования НЛЗ, вызванное теми или иными причинами, в совокупности с наложением колебаний приводит к нарушению сим-

метрии и стабильности движения потоков металла в кристаллизаторе. Это обуславливает образование наружных и промежуточных трещин, искажение геометрических форм и размеров заготовки, прорывов слитка, износ узлов и механизмов оборудования МНЛЗ [1, 2].

В связи с этим контроль правильности установки и выверки механизма качания, определяющего ориентацию рабочих поверхностей гильзы кристаллизатора относительно технологической оси МНЛЗ как в статике, так и в динамике (при качании), является актуальной задачей, что подтверждается ведущимися в этом направлении работами.

Предложены системы и способы по выверке, контролю рабочей полости, траектории и других параметров движения кристаллизатора [3–7], требующие практической апробации для принятия решения об их промышленном освоении, поскольку они основываются на использовании сложных электронно-измерительных элементов. Кроме того, для

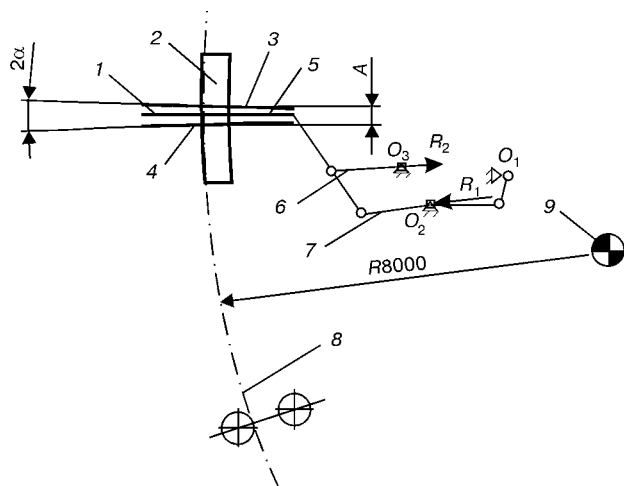


Рис. 1. Кинематическая схема механизма качания кристаллизатора МНЛЗ: 3–5 — соответственно крайние верхнее и нижнее, а также нейтральное положения стола качания; 8 — технологическая ось МНЛЗ; 9 — центр кривизны; α — угол между крайними положениями стола качания; остальные обозначения см. в тексте

проведения контрольно-измерительных работ необходимо продолжительное время [3, 4].

На металлургических предприятиях зарубежных стран и стран СНГ активно внедряются системы контроля механизма качания МНЛЗ на базе виброметрических способов. Широко известны системы фирм «Фёст-Альпине Индустрианлагенбау» (Австрия) и НПП «Техноап» (Россия), позволяющие определять параметры и траектории движения точек механизма качания кристаллизатора МНЛЗ.

С учетом совокупности факторов, влияющих на изменение параметров и направление движения кристаллизатора МНЛЗ, неточностей, обусловленных кинематикой механизма качания, износом узлов трения, неправильной установкой, ни один из предложенных способов не позволяет в полной мере оценить возникающие отклонения с указанием причин, их вызывающих. Получаемой информации недостаточно для обеспечения эффективности процесса непрерывного литья и высокого качества изготавливаемой заготовки. В этом направлении потенциал виброметрических способов реализован не полностью, поскольку до настоящего времени задачи диагностирования механизма качания кристаллизатора с их помощью решаются за редким исключением.

Для МНЛЗ радиального типа технологическая ось на участке формирования НЛЗ (кристаллизатор — тянуще-правильное устройство) представляет собой дугу с радиусом окружности, равным базовому радиусу МНЛЗ. В соответствии с требованиями соосности узлов и механизмов оборудования МНЛЗ, направление колебательного движения кристаллизатора должно совпадать с технологической осью. Параметром криволинейного участка технологической оси МНЛЗ является базовый радиус. Для точек рабочей грани кристаллизатора с большим радиусом кривизны траектории движения также будут представлять собой дуги с радиусом окружности, равным базовому радиусу МНЛЗ. Таким

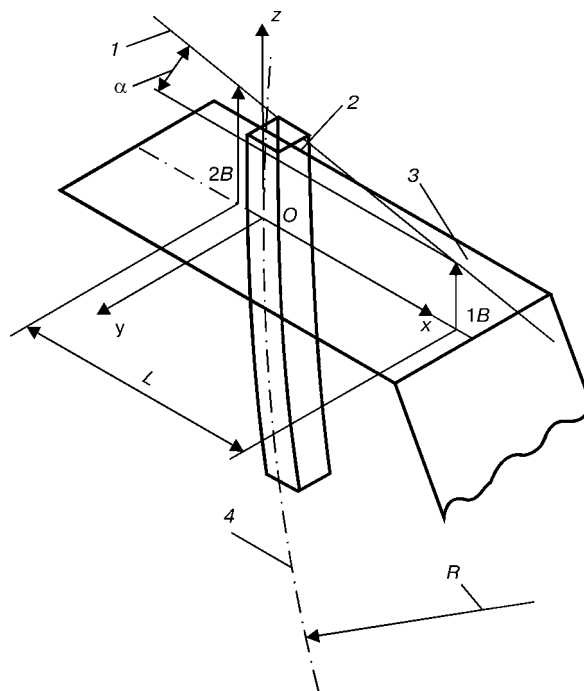


Рис. 2. Пространственная геометрия стола качания кристаллизатора МНЛЗ: 1 — распределение амплитуд; 2 — кристаллизатор; 3 — стол качания; 4 — технологическая ось

образом, радиус дуги окружности, соответствующей технологической оси машины и являющейся траекторией движения точек рабочей грани кристаллизатора, является единственным параметром, определяющим соосность кристаллизатора. Для кристаллизатора, совершающего колебательные движения, этим параметром будет радиус качания.

С учетом нереализованных возможностей виброметрических способов при решении задач диагностирования механизма качания предложен комплексный подход к контролю радиуса качания кристаллизатора, позволяющий предупреждать причины его отклонения. С этой целью при помощи портативного анализатора вибрации в период плановых и внеплановых остановок процесса разлива стали на МНЛЗ, а при использовании стационарной системы — и во время действующей МНЛЗ, необходимо снять показания в двух контрольных точках. Апробация способа проведена в условиях ряда металлургических заводов на радиальных сортовых МНЛЗ.

МНЛЗ оборудована механизмами качания кристаллизаторов, выполненных по схеме шарнирного четырехзвенника (рис. 1). Механизм качания, состоящий из стола, рычажной системы и привода, установлен на фундаменте так, чтобы привод располагался со стороны центра кривизны технологической оси ручья МНЛЗ. Привод включает электродвигатель, редуктор, упругую и эксцентриковую муфты, с помощью которой реализуется движение стола по синусоидальному закону. В качестве шарнирных элементов используют подшипники качения. Уравновешивание осуществляют при помощи пневматических амортизаторов.

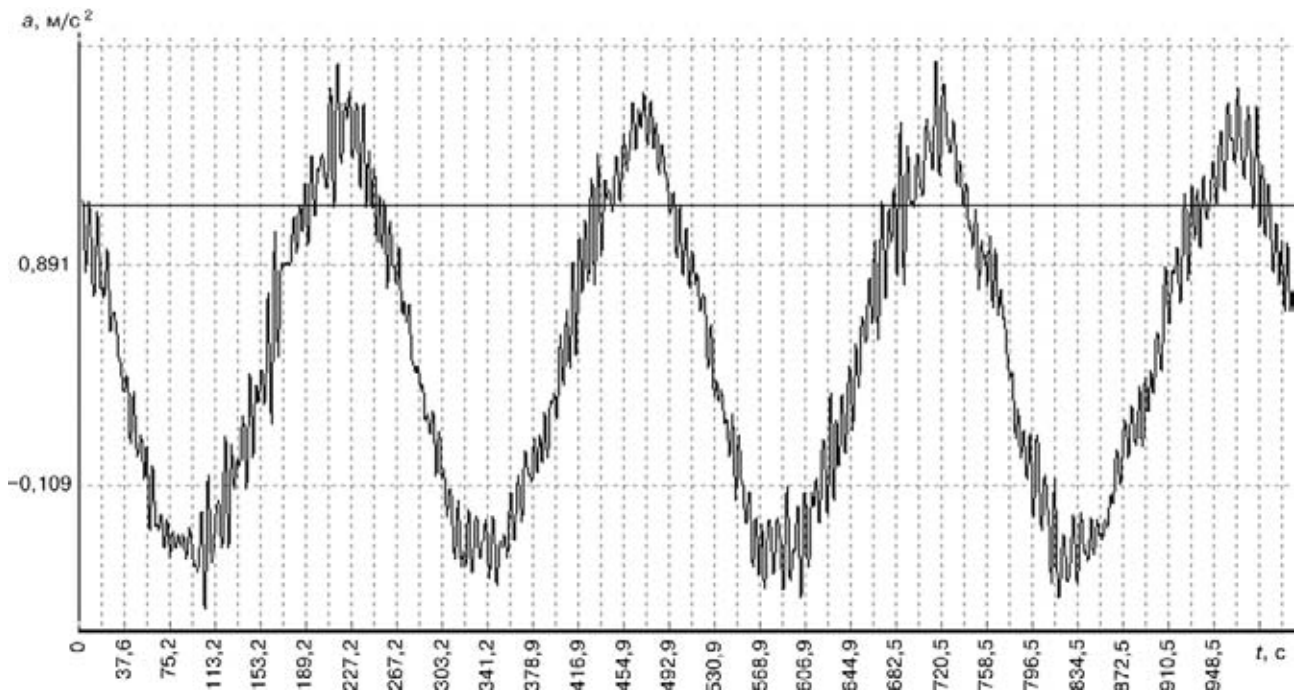


Рис. 3. Временная форма сигнала виброускорения a при износе подшипников шарниров

Функции стола качания выполняет звено 1 механизма, на котором установлен и закреплен кристаллизатор 2. Рычажная система представляет собой сдвоенный четырехзвенник с одним общим звеном 7 (рис. 1).

Благодаря тому, что плечи (звенья 6 и 7) выходного четырехзвенного механизма имеют одинаковую длину и направлены к центру кривизны технологических осей МНЛЗ, точки стола качания 1, совершающего плоскопараллельные движения, перемещаются по заданной траектории. Траектории представляют собой дуги окружностей с центром, совпадающим с центром кривизны МНЛЗ. Соответственно кристаллизатор, установленный и закрепленный на столе качания, будет совершать возвратно-вращательное движение относительно центра кривизны МНЛЗ. Установка кристаллизатора осуществляется так, чтобы точки рабочей грани гильзы с большим радиусом кривизны двигались по траектории, соответствующей технологической оси МНЛЗ, дуге окружности с радиусом, равным базовому радиусу МНЛЗ.

Технологическую ось МНЛЗ необходимо рассматривать в двух взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях (рис. 2) — продольной и поперечной.

Примем, что продольная плоскость проходит через центр кривизны технологической оси ручья МНЛЗ и параллельна его профилю. В горизонтальной плоскости ее проекция образует ось симметрии кристаллизатора. Продольная плоскость проходит через грань кристаллизатора, как и технологическая ось МНЛЗ. Горизонтальная плоскость расположена ниже центра кривизны МНЛЗ и является плоскостью нейтрального положения стола качания, когда стол и верхний торец кристаллизатора

параллельны этой плоскости. Пересечения всех трех плоскостей образуют оси трехмерной системы координат с центром, совпадающим с технологической осью ручья МНЛЗ. Ось X направлена в сторону центра кривизны, ось Y — влево, если смотреть со стороны центра кривизны МНЛЗ, ось Z — вверх.

В продольной плоскости OXZ технологическая ось представляется в виде дуги окружности, а в поперечной OYZ — прямой линии. Стол качания кристаллизатора МНЛЗ движется симметрично относительно горизонтальной плоскости (оси OX) вверх и вниз. В поперечной плоскости (вдоль оси OY) перемещения отсутствуют (рис. 2). По оси OZ стол качания перемещается на $A/2$ в одну сторону, а в другую — суммарное перемещение представляет собой амплитуду колебания (размах колебаний или ход качания) A (рис. 1).

Соответствие технологической оси кристаллизатора МНЛЗ теоретической в поперечной плоскости определяется отклонениями по оси OY , а в продольной — отклонениями от дуги окружности (траектории движения точек рабочей грани кристаллизатора).

Малые углы перемещения, большие нагрузки, работа в условиях запыленности и повышенной температуры способствуют локальной выработке в опорах звеньев выходного четырехзвенника, расположенной противоположно направленным нормальным реакциям R_1 и R_2 . В процессе эксплуатации происходит износ элементов привода, ослабление резьбовых соединений. В реальных условиях механизм качания кристаллизатора также может иметь дефекты изготовления и монтажа.

Таким образом, положение центров качания O_2 и O_3 искажается, что выражается в отклонении теоретической технологической оси (изменении ради-



уса качания кристаллизатора). С увеличением отклонения возрастает поперечное воздействие качающегося кристаллизатора на слиток, обуславливающее возникновение усиленного износа рабочей полости кристаллизатора, ухудшение качества поверхности НЛЗ и прорывов слитка (рис. 1).

При помощи анализатора вибрации измерили форму вибрационного сигнала (виброперемещения), по которому определили амплитуду колебаний стола качания кристаллизатора. Измерения проводили в вертикальном направлении в двух точках 1В и 2В, расположенных на продольной оси симметрии ОХ стола качания с расстоянием между ними L так, чтобы точка 2В находилась как можно ближе к технологической оси ручья МНЛЗ (рис. 2).

Поскольку в простейшем случае стол качания совершает вращательное движение вокруг центра кривизны МНЛЗ, то распределение амплитуд по длине стола в продольной плоскости будет подчиняться закону распределения. После преобразования получаем окончательную формулу определения радиуса качания кристаллизатора МНЛЗ, например для точки 2В:

$$r_{2B} = \frac{A_{2B} L}{A_{2B} - A_{1B}},$$

где A_{2B} и A_{1B} — амплитуды колебаний стола качания в соответствующих точках.

Апробация предложенной методики определения радиуса качания кристаллизатора показала большую сходимость результатов. Установлено отклонение радиуса дуги окружности траектории движения точек рабочей грани гильзы кристаллизатора от теоретического и выявлены причины этого.

Способы виброметрии позволяют, кроме параметров движения, получать информацию о техническом состоянии узлов и механизмов МНЛЗ, выполнять оценку качества ремонтных и монтажных работ.

Временная форма параметров вибрации дает информацию об отклонении закона движения от синусоидального и является наиболее наглядным способом предоставления информации о характере колебаний. На рис. 3 приведен пример временной формы сигнала виброускорения в точке 2В, характеризующийся практически правильной синусоидой с небольшой высокочастотной модуляцией сигнала, характерной для износа подшипников шарниров.

В настоящее время ведутся работы по расширению возможностей предложенной методики путем контроля геометрии движения в других плоскостях при помощи методов виброметрии. Второе направ-

ление работ заключается в формировании справочника-альбома возможных неисправностей и форм их проявления. Это позволит своевременно определять необходимость и вид ремонтного воздействия с целью предупреждения отклонения параметров и направления движения кристаллизатора МНЛЗ.

Выводы

1. Определена необходимость контроля направления движения кристаллизатора на соответствие теоретической технологической оси МНЛЗ с целью обеспечения стабильности и безопасности процесса разливки стали и качества получаемой НЛЗ.

2. Приведено теоретическое обоснование возможности определения радиуса качания кристаллизатора МНЛЗ по параметрам вибрации. Выполнен анализ применяемых на металлургических предприятиях систем и способов контроля столов качания.

3. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили эффективность предложенного способа для определения радиуса окружности дуги (траектории движения точек стола качания кристаллизатора МНЛЗ в продольной плоскости), а также решения задач диагностирования механизма качания, выявления причин отклонения радиуса качания от заданного.

4. Выполнена постановка дальнейших направлений исследования возможности применения способов виброметрии для обеспечения заданных параметров и направления движения кристаллизатора МНЛЗ.

1. *Процессы непрерывной разливки стали*: Монография / А. Н. Смирнов, В. П. Пилюшенко, А. А. Минаев и др. — Донецк: ДонНТУ, 2002. — 536 с.
2. *Мегаев В. П.* 4-я Европейская конференция по непрерывной разливке стали // *Сталь*. — 2003. — № 7. — С. 30–33.
3. *Тимохин О. А.* Особенности расчета технологической оси МНЛЗ и ее контроля // Там же. — 2000. — № 2. — С. 16–21.
4. *Эффективность* микропроцессорных систем контроля оборудования МНЛЗ / В. А. Тихановский, А. Л. Кузьминов, А. П. Шеголев и др. // Там же. — 1993. — № 1. — С. 38–41.
5. *А. с. 1359058 СССР*, МПК В22D11/04. Устройство для выставки кристаллизатора по технологической оси / П. А. Левин, М. З. Левин. — Оpubл. 15.12.87; Бюл. № 46.
6. *А. с. 1276435 СССР*, МПК В22D11/16. Способ регулирования соосности кристаллизатора и поддерживающей секции зоны вторичного охлаждения и устройство для его осуществления / Н. И. Шестаков, В. М. Паршин, Е. А. Нечаев и др. — Оpubл. 15.12.86; Бюл. № 46.
7. *Checker M.* System Description. — Linz: Voestalpine Mechatronics GmbH, 2004. — 16 p.

Донецк. нац. техн. ун-т

Поступила 24.09.2005