

УДК 669.02/09

Сидоров В.А. /к.т.н./

Донецкий национальный технический университет



Анализ режимов работы столов качания сортовых МНЛЗ

На основе результатов измерения вибрационных параметров движения столов качания и рассмотрения особенностей конструкции столов качания с электромеханическим приводом сортовых МНЛЗ проведено исследование возможных отклонений в режимах работы. Установлено, что при работе столов качания сортовых МНЛЗ возможны три режима работы в зависимости от давления воздуха в пневмоамортизаторах. Работа механизма, столь

чувствительного к регулировочным воздействиям, не может быть эффективной без информации о параметрах движения. Ил.5. Библиогр.: 5 назв.

Ключевые слова: столы качания, электромеханический привод, сортовая МНЛЗ, режимы работы, параметры движения

In work on the basis of oscillation tables' movement vibration parameters measurement results and oscillation tables with an electromechanical drive section CCM's design features a research of possible deviations in operating modes is carried out. It is established, that at work of section CCM oscillation tables three operating modes depending on pressure of air in pneumatic absorbers are possible. Work of the mechanism so sensitive to adjusting influences, cannot be effective without the information on movement parameters.

Keywords: oscillation tables, electromechanical drive, section ccm, operating modes, movement parameters

Среди механизмов металлургических машин в последние 20 лет появились столы качания сортовых машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Данные механизмы являются неотъемлемой частью технологического процесса разлива, обладают отличиями в конструкции и технических характеристиках по сравнению с приводами столов качания слябовых и блюмовых МНЛЗ. Актуальность исследования параметров движения столов качания и регулировочных параметров определяется взаимным влиянием технологических параметров процесса и параметров работоспособного состояния механизма. Отсутствие теоретических работ в данном направлении потребовало проведения исследований в промышленных условиях.

Одним из основных, факторов обеспечивающих эффективную работу МНЛЗ, является стабильная работа стола качания, реализующего возвратно-поступательное движение кристаллизатора. Параметры движения стола качания во многом определяют качество непрерывного слитка и влияют на процесс формирования оболочки заготовки. Степень этого влияния увеличивается с уменьшением разливаемого сечения, о чем свидетельствует опыт работы современных сортовых МНЛЗ. Дальнейшее уменьшение профилей разливаемых сечений потребует не только контроля за параметрами движения кристаллизатора, но и управления движением, превращая привод столов качания в мехатронную систему. Предшествовать этому должно исследование возможных отклонений в работе столов качания и определение границ работоспособного состояния, включая моделирование неисправных состояний и обоснование необходимости проведения ремонта.

Теоретические исследования параметров дви-

жения кристаллизатора и стола качания с целью получения оптимальных режимов движения начаты в 60-х - 70-х гг. прошлого столетия [1] и продолжены в практических работах 80-х годов [2, 3]. Исследования проводились, в основном, по слябовым машинам. Обобщение опыта конструирования и расчета механизма качания слябовых МНЛЗ получило в работе [4]. Первые работы, в которых указывалось на необходимость контроля фактических параметров движения, появились в 90-х гг., следуя за развитием возможностей виброизмерительной техники. Широкое внедрение сортовых МНЛЗ привело к появлению целого ряда виброизмерительных систем контроля движения столов качания. На многих металлургических предприятиях устанавливаются системы контроля и мониторинга механизма качания кристаллизаторов. Известны системы фирм «Voestalpine Mechatronics GmbH» (Австрия), «Kiss Technologies, Inc.» (США), «PRES, Inc.» (США), НПП «Техноап» (Россия) и др.

Исследованием причин отклонения параметров колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ занимались специалисты ОАО «Молдавский металлургический завод», ЗАО «Миниметаллургический завод «ИСТИЛ (Украина)», ОАО «Северсталь» и ОАО «АХК ВНИИметмаш» [5].

Несмотря на значительное количество работ, посвященных изучению параметров движения слитка и кристаллизатора, практически отсутствуют работы, рассматривающие столы качания кристаллизаторов как восстанавливаемую механическую систему, требующую своевременного проведения ремонтных воздействий. В работе, на основе результатов измерения вибрационных параметров движения столов качания и рассмотрения особенностей конструкции столов качания с электромеханическим приводом сортовых

МНЛЗ, проведено исследование возможных отклонений в режимах работы. Предполагается, что некоторые выводы могут быть использованы и по отношению к столам качания с гидравлическим приводом.

Работоспособное состояние – способность объекта выполнять все возложенные на него функции в пределах заданных параметров. Задача оценки технического состояния столов качания является многокритериальной и состоит в определении пределов заданных параметров и границ нарушения выполняемых функций. Последовательное решение начинается с изучения объекта контроля – конструкции столов качания сортовых МНЛЗ.

Конструкция столов качания сортовых МНЛЗ

Колебательное движение кристаллизатора по заданным параметрам осуществляется с помощью механизма качания. Широкое распространение в практике непрерывной разливки стали на сортовых МНЛЗ, получили сдвоенные шарнирные четырех-звенные рычажные механизмы качания кристаллизатора (рис. 1).

Крутящий момент от двигателя 1 через соединительную (чаще всего баллонную) муфту 2 передается на понижающий редуктор 3 коническо-цилиндрический или червячный. Электродвигатель и редуктор установлены на качающейся независимой общей платформе. Тихоходный вал редуктора, совершающий 100...400 об/мин, соединен через эксцентриковую муфту 4, установленную в подшипниковых опорах 5, с кривошипом, преобразующим вращательное движение вала редуктора в возвратно-поступательное. Кривошип соединен с коромыслами 7 и 9. В шарнирных опорах 6 закреплены коромысла 7, а в шарнирных опорах 8 – коромысла 9. Неподвижные шарнирные опоры 6 и 8 рычажного механизма расположены в едином основании механизма качания, установленном и закрепленном на несущих металлоконструкциях МНЛЗ.

В качестве шарнирных опор используются двухрядные роликовые подшипники, смазка которых осуществляется централизованно пластичной смазкой. При помощи шарнирных узлов 10 коромысла 7 и 9 связаны со столом качания 11, на котором установлен и закреплен кристаллизатор 12. Коромысла 7 и 9 установлены так, что прямые, проведенные через них, направлены в сторону центра кривизны технологической оси МНЛЗ, что обеспечивает плоскопараллельное движение точек стола качания 11 в продольной плоскости к технологической оси ручья по траектории в виде дуги окружности с установленным радиусом разливки. Стол качания с противоположной стороны от привода механизма качания опирается на пневматические устройства – амортизаторы 13, служащие для уравнивания силы тяжести стола качания и кристаллизатора.

Конструктивное исполнение стола качания обеспечивает колебательное движение кристаллизатора МНЛЗ, характеризующееся следующими параметрами:

- синусоидальный закон колебательного движения, остающийся неизменным в процессе литья заготовки;
- амплитуда колебания (в диапазоне 1,0 - 14,0 мм)

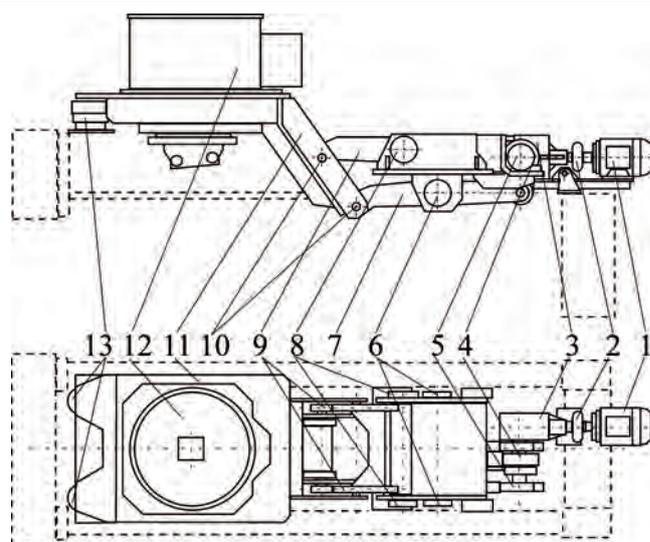


Рис. 1. Общий вид кристаллизатора и стола качания с электромеханическим приводом

устанавливается перед разливкой, при помощи изменения положения деталей эксцентриковой муфты в зависимости от марки разливаемой стали и сечения заготовки - в процесс литья остается постоянной;

- частота колебания (100 - 600 об/мин) согласована со скоростью разливки стали (вытягивания заготовки) и может меняться в процессе разливки при изменении частоты вращения приводного электродвигателя;
- возможно изменение направления вращения электродвигателя перед началом разливки, что позволяет, не меняя выполняемых функций столом качания, изменить поверхности контакта и техническое состояние редуктора привода;
- направление движения кристаллизатора направлено в процессе литья с технологической осью ручья МНЛЗ.

Параметры движения столов качания

Параметры колебательного движения кристаллизатора - частота и амплитуда задаются частотой вращения электродвигателя и эксцентриситетом эксцентриковой муфты привода механизма качания. Эксцентриковая муфта выполняет функции регулируемого кривошипа. Перемещение $S(t)$, скорость $V(t)$ и ускорение $a(t)$ точки стола качания в вертикальном направлении описывается зависимостями:

$$S(t) = A \sin(\omega t),$$

$$V(t) = dS/dt = A\omega \cos(\omega t),$$

$$a(t) = dV/dt = d^2S/dt^2 = -A\omega^2 \sin(\omega t),$$

где A - размах колебаний, мм; $\omega = 2\pi f$ - угловая частота колебаний, рад/с; t - время, с; $f = 1/T = n/60$ - частота колебаний, Гц; $T = 60/n$ - время цикла колебаний, с; n - частота колебаний, кол./мин. Взаимосвязь параметров колебательных величин при гармонических процессах определяется формулами:

$$V = 2\pi \times f \times S = a \times 10^3 / (2\pi \times f);$$

$$S = V / 2\pi \times f = a \times 10^3 / (2\pi \times f)^2;$$

$$a = (2\pi \times f)^2 \times S \times 10^{-3} = 2\pi \times f \times V \times 10^{-3}.$$

Эти зависимости позволяют определить первые границы работоспособного состояния. Хорошее состояние «идеального» стола качания возможно при реализации гармонических процессов, в этом случае

значения функций перемещения, скорости и ускорения для точки кристаллизатора МНЛЗ изображены на рис. 2. Нейтральное (нулевое) положение кристаллизатора соответствует положению, когда плоскость стола качания, на котором установлен и закреплен кристаллизатор со вспомогательным оборудованием, занимает горизонтальное положение.

Для исследуемого механизма размах колебаний A соответствует размаху виброперемещения S . Точка измерения в вертикальном направлении должна находиться на продольной оси механизма рядом с гранью кристаллизатора с большей кривизной поверхности. Частотный диапазон измерения 2 - 100 Гц.

Пример расчета

Механизм осуществляет колебания с размахом $A = 10$ мм (размах виброперемещения $S = 10$ мм) и частотой 240 кол./мин ($f = 4$ Гц).

Размах виброскорости

$$V = 2\pi \times f \times S = 2\pi \times 4 \times 10 = 251,3 \text{ мм/с.}$$

Размах виброускорения

$$a = (2\pi \times f)^2 \times S \times 10^{-3} = (2\pi \times 4)^2 \times 10 \times 10^{-3} = 6,3 \text{ м/с}^2.$$

Значения виброускорения не должны превышать 9,8 м/с². В этом случае нарушается контакт между сопрягаемыми деталями, и в шарнирах механизма происходят удары.

Степень отклонения фактических характеристик от заданных, теоретически рассчитанных значений параметров вибрации (виброперемещения, виброскорости, виброускорения) во многом определяет техническое состояние механизма.

Кинестатический анализ механизма качания

Кинематическая схема четырехзвенного механизма качания кристаллизатора сортовой МНЛЗ показана на рис. 3.

Особенностью данного механизма качания является на порядок большая масса стола качания с кристаллизатором по сравнению с остальными звеньями механизма и небольшие углы поворотов шарниров. Крепление электродвигателя и редуктора привода механизма качания осуществляется не жестко на качающейся платформе. Для уравнивания веса стола качания и кристаллизатора установлены пневматические амортизаторы, в которых при регулировке давления воздуха в пределах 0,05 - 0,6 МПа создается уравнивающая сила 1,0 - 12,0 кН, при диаметре пневмоамортизаторов 160 мм. Операция по регулировке давления в пневмоамортизаторах проводится перед разливкой, в режиме имитации, и определяет режим работы шарниров. Неопределенным является характер воздействия на стол качания силы трения от разливаемого слитка.

Возможны три режима работы шарниров: два устойчивых и неустойчивый.

1. Если при регулировке давления в пневмоамортизаторах стол и кристаллизатор полностью не уравниваются, в этом случае возникает распределение сил, показанное на рис. 4а.

Уравнение равновесия моментов относительно точки O центрального шарнира тяги 3 имеет следующий вид:

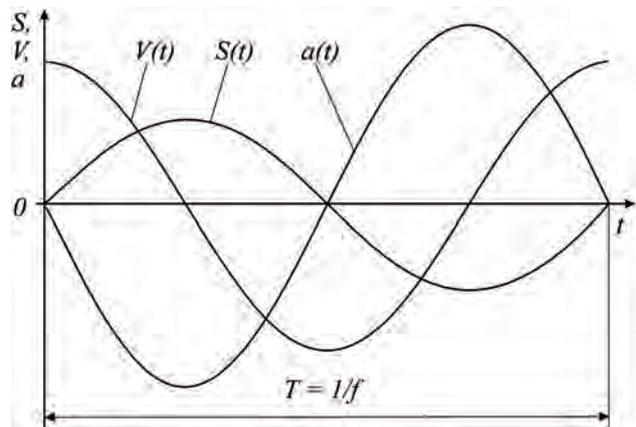


Рис. 2. Параметры движения «идеального» стола качания

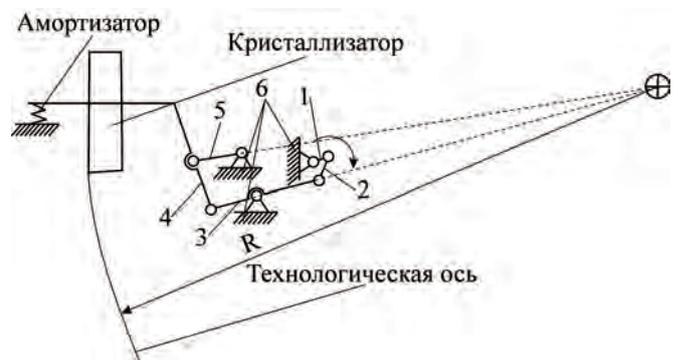


Рис. 3. Кинематическая схема шарнирного четырехзвенного механизма качания кристаллизатора сортовой МНЛЗ: 1 - кривошип; 2 - шатун; 3 - нижнее коромысло; 4 - стол качания; 5 - верхнее коромысло; 6 - опоры

$$F_k X_k + F_c X_c = F_a X_a + F_w X_w,$$

где F_k, F_c – вес кристаллизатора и стола качания, Н; F_a, F_w – сила создаваемая пневмоамортизатором и шатуном, Н; X_k, X_c, X_a, X_w – плечи сил, м.

Условие возникновения режима

$$F_a X_a < F_k X_k + F_c X_c \tag{1}$$

В этом случае тяга 5 работает на растяжение, левая часть тяги 3 работает на сжатие, а правая часть тяги 3 работает на изгиб. Дополнительное действие силы трения F_{mp} слитка о поверхность гильзы кристаллизатора увеличивает неравенство 1, не меняя характер нагружения и зазоры в шарнирах. Недостаточное давление в пневмоамортизаторах приводит к нештатному режиму работы стола, при котором демпфирующим элементом становится материал пневмоамортизатора, а не воздушная подушка. Это приводит к повышенному износу материала пневмоамортизатора и возникновению ударов стола о металлоконструкции.

2. Если при регулировке давления в пневмоамортизаторах стол и кристаллизатор переуравниваются в этом случае возникает распределение сил показанное на рис. 4б. Условие возникновения режима

$$F_a X_a > F_k X_k + F_c X_c \tag{2}$$

В этом случае тяга 5 работает на сжатие, левая часть тяги 3 работает на растяжение, а правая часть тяги 3 работает на изгиб. Дополнительное действие силы трения F_{mp} слитка о поверхность гильзы кристаллизатора уменьшает неравенство 2. Появляется возможность изменения зазоров в шарнирах. Избы-

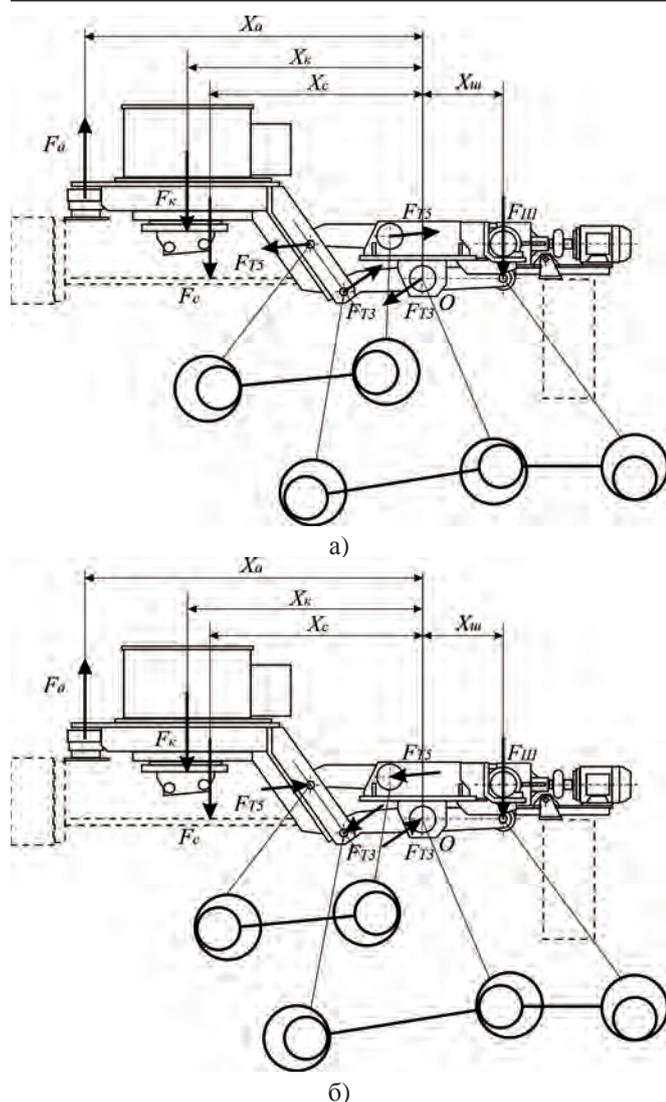


Рис. 4. Распределение сил и положения зазоров в шарнирах механизма качания: а) не уравновешенность стола качания и кристаллизатора; б) переуравновешенность стола качания и кристаллизатора

точное давление в пневмоамортизаторах также приводит к нештатному режиму работы стола, при котором демпфирующие свойства воздушной подушки уменьшаются. Это приводит к более жесткому режиму работы стола.

3. Если при регулировке давления в пневмоамортизаторах стол и кристаллизатор несколько переуравновешиваются в режиме имитации, то при разливке, при воздействии переменной силы трения от разливаемого слитка возможно возникновение режима неустойчивого равновесия. Данный режим является переходным между устойчивыми режимами и приводит к раскрытию и закрытию зазоров в шарнирах стола качания. В этом случае тяги испытывают пульсирующие нагрузки. Стол начинает «галопировать» относительно продольной оси.

Наличие данных режимов подтверждается наличием двух значений давления в пневмоамортизаторах, при которых происходит уравнивание стола – стол совершает гармонические колебания. При исследованиях параметров движения столов качания использовался анализатор вибрации 795М. Результа-

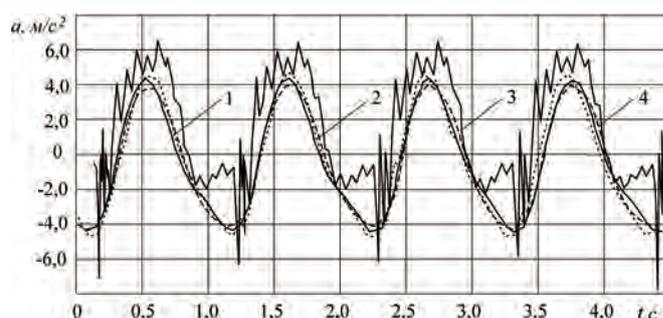


Рис. 5. Временной сигнал виброускорения стола качания при давлении: 1 - 2,0 bar; 2 - 3,5 bar; 3 - 4,5 bar; 4 - 5,0 bar

ты исследований характера движения стола качания приведены в виде временных сигналов виброускорения стола качания, полученных при различном давлении воздуха в пневмоамортизаторах, показаны на рис. 5. В данном случае уравнивание стола при давлении 2,0...3,5 bar нарушено возникновением неустойчивого режима при давлении 4,0...4,5 bar и восстановлено при давлении 5,0 bar. Параметры виброускорения колебаний уравновешенного стола практически одинаковы для любого значения давления в пневмоамортизаторах. При неустойчивом режиме значения виброускорения увеличиваются примерно в 1,5 раза и становятся полигармоничными. Следует отметить индивидуальность данных характеристик для конкретных механизмов.

Таким образом установлено, что при работе столов качания сортовых МНЛЗ возможны три режима работы в зависимости от давления воздуха в пневмоамортизаторах. Работа механизма, столь чувствительного к регулировочным воздействиям, не может быть эффективной без информации о траекториях движения столов качания. Для этого необходимо использовать системы вибрационного контроля.

Библиографический список

1. Возвратно-поступательное движение кристаллизатора / Д.П. Евтеев, В.П. Дружинин, Н.К. Степанов и др. // Непрерывная разливка стали. – М.; Metallurgy, 1970. – С. 332
2. Механическое оборудование сталеплавильных цехов / М.З. Левин, В.Я. Седуш, В.И. Мачикин, Г.С. Клягин, Н.Г. Пироженок – К:- Донецк: Вища школа Головное изд-во, 1985. – 165 с.
3. Влияние качания кристаллизатора на качество поверхности непрерывнолитых слябов / Э. Шюрман, Л. Фиге, Х.-П. Кайзер, Т. Клагес // Черные металлы. -1986. -№22.- С. 27-33.
4. Пиксаев В.А., Хребто В.Е., Бодяев Ю.А., Вдовин К.Н. Механизм качания кристаллизатора слябовых МНЛЗ. Конструирование и расчет. Монография.- Издательский центр МГТУ им. Г.И. Носова. -2001. – 87 с.
5. Сидоров В.А., Сотников А.Л., Зоренко Н.А. Параметры относительного движения слитка и кристаллизатора МНЛЗ / Металл и литье Украины. -2005.- №9-10. – С. 21-26.

Поступила 10.09.10