

АНАЛИЗ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ КАЧАНИЯ МНЛЗ

В.А.Сидоров, А.Л. Сотников (ДонНТУ, г. Донецк)

МНЛЗ металлургических предприятий оснащаются системами контроля и диагностирования механизмов качания с целью соблюдения рациональных режимов качания кристаллизаторов. Выбор и оценка эффективности и соответствия систем решаемым задачам затруднена из-за отсутствия единых нормативных требований. В работе выполнен анализ функциональных возможностей систем контроля, на основе которого определены круг решаемых задач, область применения и критерии выбора систем.

Характеристики колебательного движения кристаллизатора машин непрерывного литья заготовок во многом определяют качество поверхности литой заготовки, стабильность процесса непрерывной разливки стали на МНЛЗ, стойкость гильз кристаллизатора и износ узлов и механизмов машины. Параметры колебаний обеспечиваются механизмом качания в соответствии с установленными (температурно-скоростными) параметрами литья, режимами работы оборудования машины, требованиям соосности кристаллизатора с технологической осью ручья МНЛЗ [1–3].

В процессе эксплуатации МНЛЗ происходит отклонение параметров движения кристаллизатора от заданных значений. В результате снижается стабильность процесса непрерывной разливки стали, нарушается взаимодействие формируемого слитка с рабочей поверхностью гильзы кристаллизатора и как результат снижение качества поверхности непрерывно литой заготовки. Второй аспект – неравномерная разливка по ручьям МНЛЗ, зависание заготовки в кристаллизаторе с последующим прорывом жидкого металла. Отклонения от оптимальных значений параметров и направления движения кристаллизатора приводят к износу гильзы кристаллизатора и повреждению поддерживающих роликов. В результате ухудшается состояние и снижается стойкость узлов оборудования, износ элементов привода механизма качания, увеличивается время простоя МНЛЗ в ремонте, повышаются затраты на ремонтно-восстановительные работы и обслуживание, что ведет к росту себестоимости продукции.

Соблюдение рациональных режимов качания кристаллизаторов МНЛЗ обеспечивается оперативным контролем параметров движения механизмов качания и оценкой технического состояния их узлов и элементов, как основополагающей причины нарушения режимов качания, с целью предупреждения их отклонений от установленных значений. Решение по-

ставленных задач, заключается в применении методов виброметрического контроля и диагностирования. Параметры вибрации механизма качания и параметры колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ непосредственно отражают возникновение и развитие неисправностей узлов и элементов механизма, и условия взаимодействия непрерывно литого слитка и кристаллизатора МНЛЗ.

На многих металлургических предприятиях выполняется оснащение МНЛЗ системами автоматизированного контроля и диагностирования механизмов качания кристаллизаторов. Известны системы фирм "Voestalpine Mechatronics GmbH" (Австрия), "Kiss Technologies, Inc." (США), "PRES, Inc." (США) и НПП "Техноап" (Россия) [4–7]. Работы по разработке методов контроля колебательного движения кристаллизаторов МНЛЗ ведутся как иностранными, так и отечественными специалистами по непрерывной разливке стали на МНЛЗ [8–10]. Значительный вклад в изучение данных вопросов внес Бровман М.Я. [1]. Полученные результаты претендуют на полноту рассмотрения, а применявшиеся методы исследования лежат в основе современных систем контроля и диагностирования механизмов качания МНЛЗ.

В силу особенностей металлургического оборудования в частности механизмов качания, единые нормативы, регламентирующие контроль параметров движения механизмов, оценку технического состояния их узлов и элементов методами виброметрии и требования к системам контроля и диагностирования отсутствуют. В этом случае оценка соответствия систем контроля и эффективности применения затруднена.

С этой целью выполняется анализ функциональных возможностей известных систем контроля и диагностирования механизмов качания, по результатам которого определяются область применения, круг решаемых задач и критерии выбора систем.

Методы виброметрии применяются в системах «Voestalpine Mechatronics GmbH», «Kiss Technologies, Inc.», «PRES, Inc.» и НПП «Техноап» для определения кинематических характеристик и отклонений фактического движения от нормативного; фактических траекторий движения точек кристаллизатора и искажения технологической оси; равномерности хода и качественной характеристики трения слитка о рабочую поверхность гильзы кристаллизатора.

Контроль работы механизма качания осуществляется во время разливки и в режиме имитации (холостого хода). С помощью систем осуществляется контроль технологических параметров и комплексных показателей, описывающих совместное движение слитка и кристаллизатора МНЛЗ: скорость разливки, зависимость амплитуды и частоты качания от скорости слитка, максимальная и минимальная амплитуда, фаза колебаний, усилие

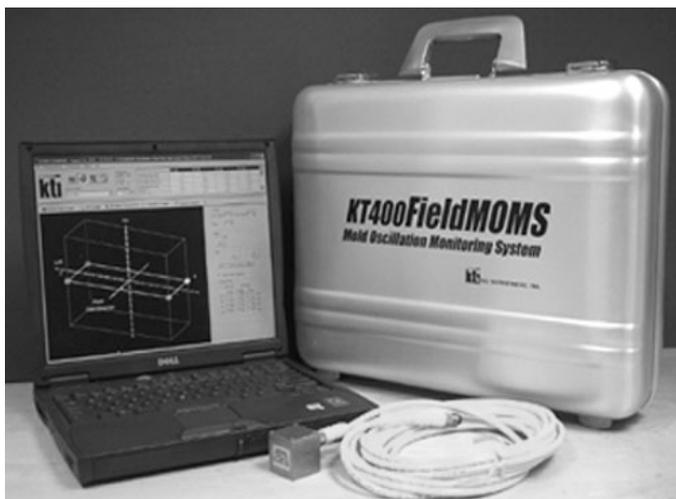


Рисунок 1 – Система контроля механизмов качания МНЛЗ фирмы "Kiss Technologies, Inc."

вытягивания слитка, время опережения кристаллизатора слитком, время выхода из контакта ("срыва") и входа в контакт слитка и кристаллизатора, а также их отношение.

Со времени исследований, выполненных Бровманом М.Я., новых методов исследования механизмов качания кристаллизаторов МНЛЗ не появилось. Нововведения коснулись способов реализации систем контроля и диагностирования. Конструктивно, системы выполнены с применением современных электронно-информационных техно-

логий, что позволяет делать системы достаточно мобильными и портативными (рисунок 1). Сбор, обработка, ведение базы данных и анализ результатов измерения выполняется под управлением вычислительной техники с помощью специального программного обеспечения. Регистрация и анализ диагностической информации осуществляется с большого количества первичных преобразователей.

Система контроля фирмы "Voestalpine Mechatronics GmbH" выполнена в виде стендовой системы на базе портативного персонального компьютера (ноутбука). В качестве первичного преобразователя используется трехкоординатный датчик вибрации (акселерометр), для выполнения измерений параметров вибрации одновременно в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Принятое конструктивное решение способствует сокращению времени на обслуживание системы и на проведение контрольных работ.

Система контроля обеспечивает регистрацию параметров вибрации (виброперемещения, виброскорости и виброускорения) во временной области для выбранной точки контроля на столе качания кристаллизатора МНЛЗ (рисунок 2а). По полученным данным изменения во времени виброперемещения точки контроля, строятся траектории движения в трех взаимно перпендикулярных плоскостях [4,11]. Диагностическим параметром выступает степень отклонения фактической траектории движения точки от заданной. По отклонениям траектории движения судят о возникновении и развитии неисправностей узлов и элементов механизма качания кристаллизатора МНЛЗ. На рисунках 2б, 2в, 2г показаны виды реальных траекторий

движения точки контроля в трех взаимно перпендикулярных плоскостях для случая возникновения неисправности подшипника одного из шарниров рычажного механизма [4].

"Voestalpine Mechatronics GmbH" оборудует данной системой контроля все МНЛЗ, на которых проводится замена механизмов качания на новую конструкцию механизмов, оснащенных гидроприводом – «Динафлекс» [12,13]. Новые механизмы оснащены автоматизированной системой управления, в которую интегрирована система контроля. Это позволяет осуществлять регулировку параметров движения кристаллизатора с учетом возникновения отклонений в режиме реального времени.

Система контроля фирмы «Kiss Technologies, Inc.» конструктивно выполнена в виде стендовой системы на базе ноутбука. В качестве датчиков вибрации используются четыре трех координатных акселерометра, которые устанавливаются и крепятся по периметру стола качания кристаллизатора МНЛЗ [5]. Это ограничивает мобильность системы контроля. Регистрация параметров вибрации во время литья заготовок возможно только кратковременная.

Оператор получает информацию об изменении параметров вибрации (виброперемещения, виброскорости и виброускорения) во временной и в частотной области, фазовое соотношение изменений параметров вибрации и остаточное перемещение (рисунок 3). По полученным данным изменения виброперемещения во времени для четырех точек по периметру стола качания, строятся пространственные траектории их движения, аналогично системе «Voestalpine Mechatronics GmbH». Отличие заключается в трехмерном представлении результатов построения траекторий, рисунок 3г.

В качестве диагностических параметров приняты степень отклонения фактических законов изменения параметров вибрации от теоретических (симметричность относительно оси времени (равенство движений вверх и вниз)), при всех прочих равных условиях; степень отклонения фактической траектории движения каждой точки от заданной; частотный состав колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ (в нижнем, среднем и верхнем частотном диапазоне). Система контроля позволяет выполнить относительное сравнение результатов диагностирования, полученных во время разлива и во время имитации.

По результатам анализа спектрального состава колебаний, на основании общепринятых и действующих норм вибродиагностирования механического оборудования, выполняется оценка технического состояния узлов механизма качания [14,15]. Для диагностирования привода механизма качания датчики устанавливаются на двигатель, редуктор и подшипниковые узлы. На рисунках 3,б, 3,в, 3,г показаны результаты диагностирования механизма качания кристаллизатора МНЛЗ для случая возникновения и раз-

вития износа зубчатого колеса редуктора привода механизма.

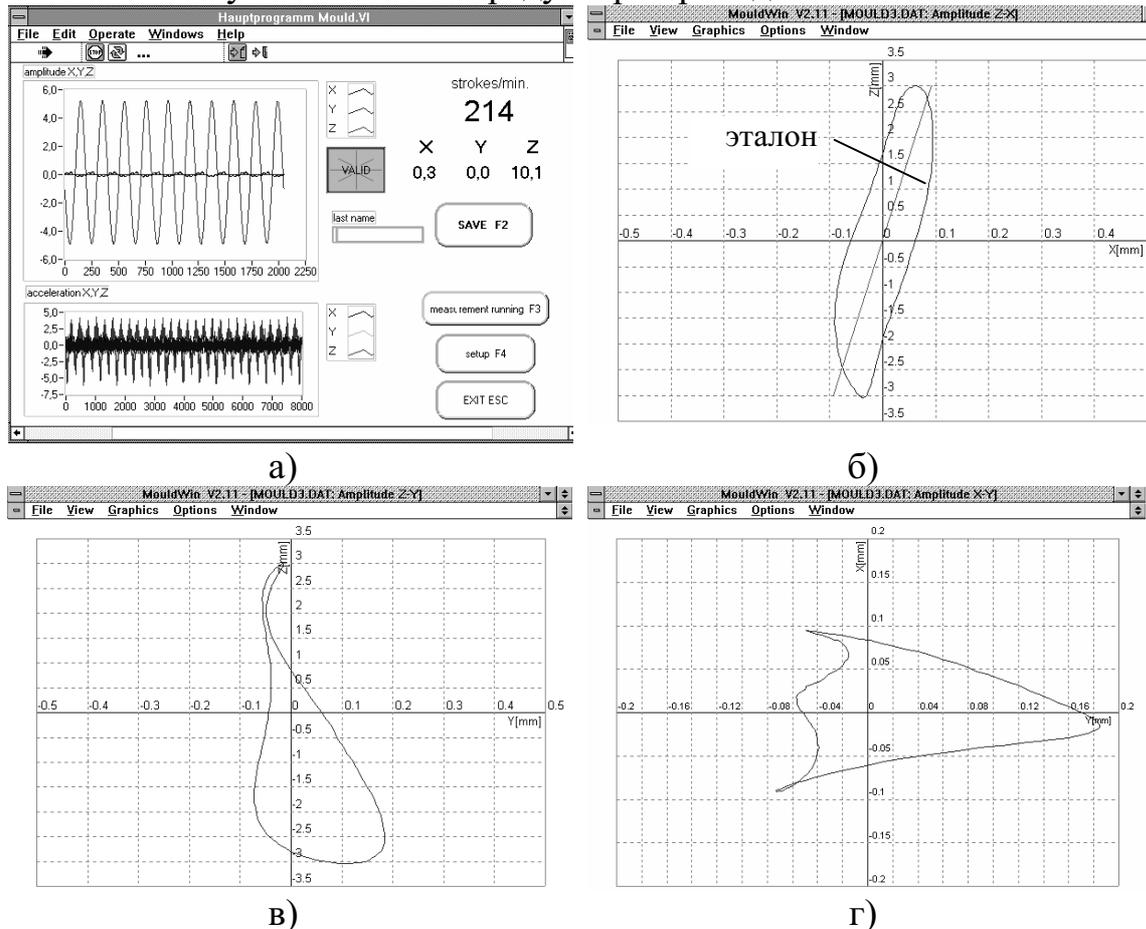


Рисунок 2 – Система контроля фирмы "Voestalpine Mechatronics GmbH": а – изменение во времени виброперемещения и виброускорения точки контроля в трех взаимно перпендикулярных направлениях; б – траектория движения точки контроля в плоскости Z-X; в – тоже, в плоскости Z-Y; г – тоже, в плоскости X-Y.

Система контроля фирмы «PRES, Inc.» конструктивно не отличается от предыдущих двух систем [6,7]. Контроль, диагностирование, наладка и регулирование механизма качания осуществляют во время имитации разлива при включенной и выключенной системе охлаждения кристаллизатора.

С помощью системы контроля выполняется регистрация и анализ изменения и фазового соотношения виброперемещения во временной области для четырех точек контроля по периметру стола качания кристаллизатора МНЛЗ в вертикальном направлении. Формы сигналов изменения виброперемещения во времени для четырех точек с указанием соответствующих фаз выводятся в одной системе координат (рисунок 4а). По полученным результатам осуществляют наладку и регулировку механизма качания кристаллизатора МНЛЗ добиваясь совмещения фаз виброперемеще-

ния по четырем точкам.

Узлы привода диагностируются по временным реализациям параметров вибрации в двух взаимно перпендикулярных направлениях: горизонтальном и осевом. Зубчатое зацепление редуктора привода механизма качания диагностируется сравнением временных реализаций параметров вибрации регистрируемых при различных направлениях вращения. На рисунке 4,б показаны форма сигнала виброускорения соответствующая износу зубчатого зацепления.

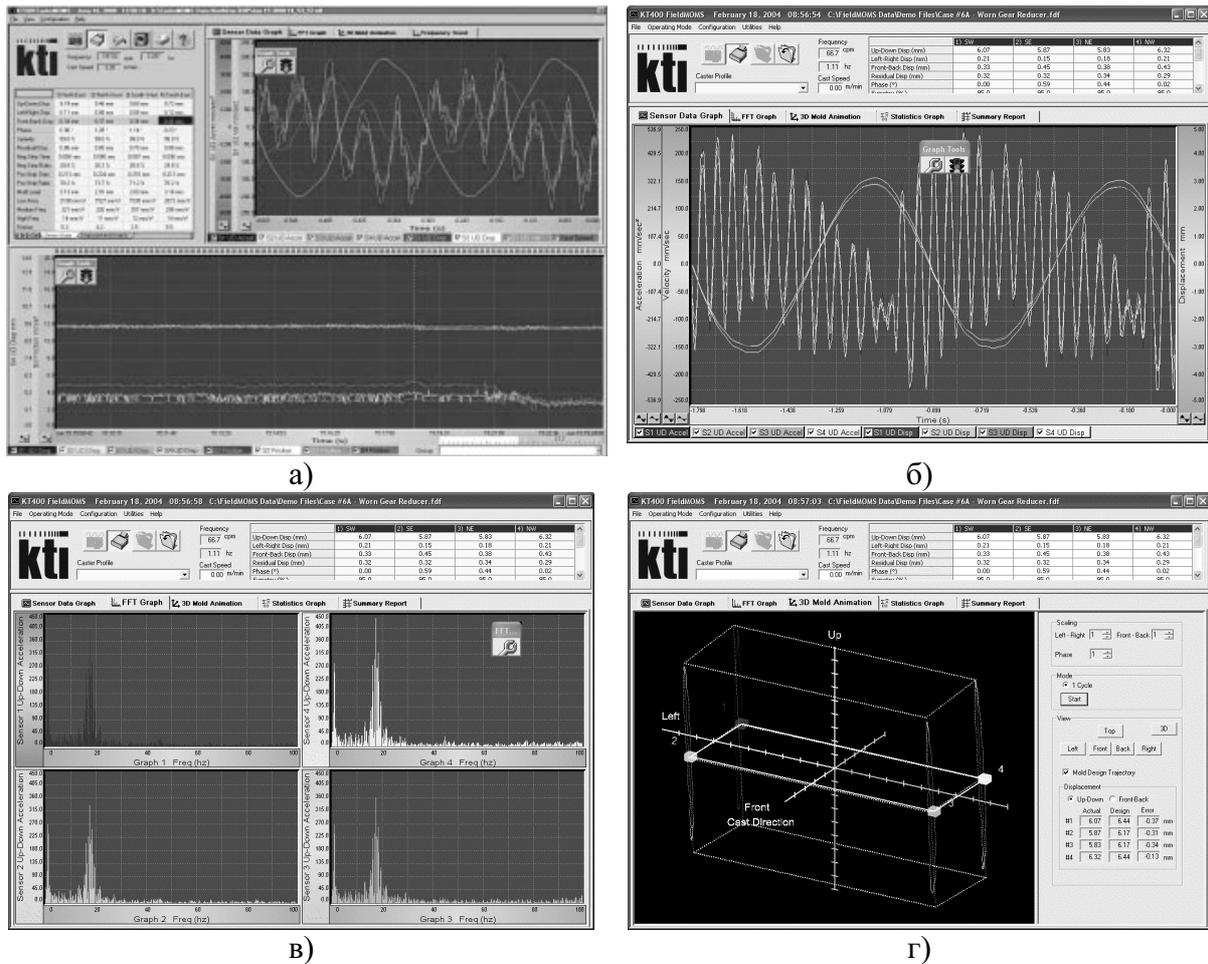


Рисунок 3 – Система контроля и диагностики фирмы "Kiss Technologies, Inc.":

а – мониторинг параметров движения кристаллизатора МНЛЗ во время разливки; б – виброперемещения и виброускорения точек контроля в вертикальном направлении во временной области; в – виброускорения точек контроля в вертикальном направлении в частотной области; г – траектория движения точек контроля в пространстве.

Система контроля НПП "Техноап" конструктивно выполнена в виде стационарной системы, и представляет собой стационарный комплекс ин-

формационно-измерительных и управляющих систем (рисунок 5) [10, 16]. По функциональным возможностям является аналогом системы контроля фирмы «Voestalpine Mechatronics GmbH» и реализует методы исследования, применявшиеся М.Я. Бровманом в работе [1].

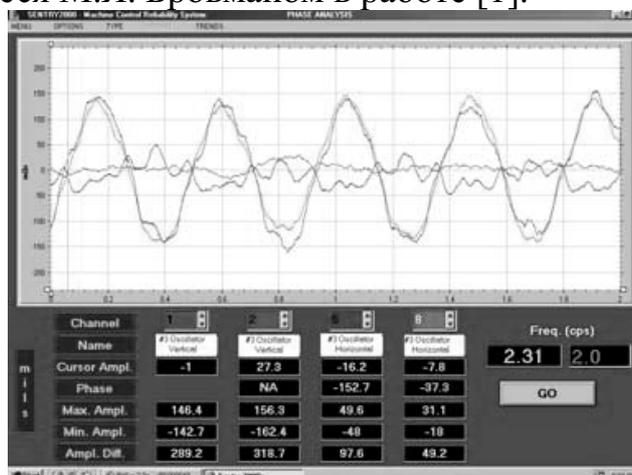


Рисунок 4 – Система контроля и диагностирования фирмы «PRES, Inc.» (изменение во времени виброперемещения четырех точек контроля в вертикальном направлении).

На механизм качания кристаллизатора устанавливаются 6 датчиков с воздушным охлаждением, измеряющие параметры движения кристаллизатора по трем взаимно перпендикулярным линейным осям (акселерометры) и трем углам поворота вокруг этих осей. Установлены датчики сил взаимодействия кристаллизатора и слитка (тензометр) и вертикального перемещения.

Информация о движении кристаллизатора представляется зависимостями перемещения в трех взаимно перпендикулярных направлениях. Заданное перемещение сравнивается с показаниями системы в контрольных точках.

Использование подсистем контроля механизма качания, как и др. систем комплекса основано на предварительном накоплении статистических данных. Система позволяет подбирать оптимальный уровень металла и режимы движения механизма качания (частоту, форму и размах колебаний), марку шлакообразующей смеси по минимуму взаимодействия между слитком и кристаллизатором, соответствующего также минимальному износу медных стенок.

Механизмы качания, обеспечивающие, в общем случае, возвратно-поступательное движение кристаллизаторов МНЛЗ можно отнести к машинам возвратно-поступательного действия. Для данного класса машин разработано множество специализированных методов их контроля и диагностирования [17]. Применение некоторых из них вполне было бы возможным и для контроля и диагностирования механизма качания кристал-

лизатора МНЛЗ. Разработка этих методов велась для машин с высокими оборотными скоростями работы, для механизмов качания характерны низкие скорости, что и препятствует широкой апробации данных методов.

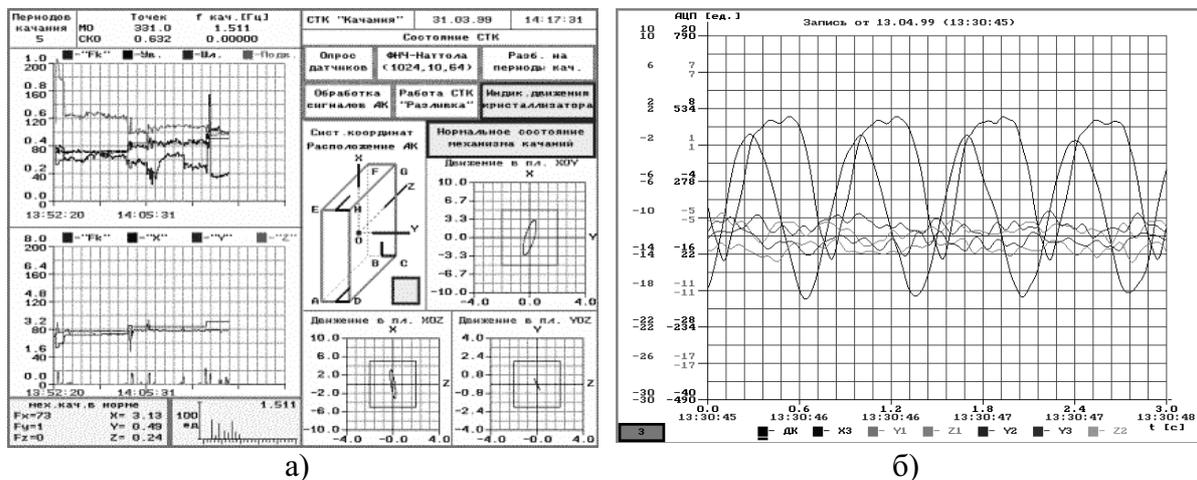


Рисунок 5 – Система контроля фирмы НПП "Техноап":
 а – мониторинг параметров движения и траектории точки движения кристаллизатора МНЛЗ во время разливки; б – параметры движения кристаллизатора в трех взаимноперпендикулярных направлениях.

Выводы

Как отмечают авторы работ [8–10, 18, 19] и специалисты фирм разработчиков рассмотренных систем, полученная с помощью их систем контроля информация позволяет судить о техническом состоянии узлов и элементов механизма качания МНЛЗ и о процессах взаимодействия непрерывно литого слитка и кристаллизатора. В действительности, возможности предложенных систем контроля в этом направлении ограничены регистрацией параметров движения и представлением их в удобной для анализа форме. Распознаванию на ранних стадиях неисправностей узлов и элементов механизма качания кристаллизатора МНЛЗ, прогнозированию качества непрерывно формируемого слитка и предупреждению прорывов не уделяется достаточное внимание. Границы различения технических состояний механизма качания и условий взаимодействия непрерывно литого слитка и кристаллизатора МНЛЗ не определены. Отличие данных систем заключается в неоднозначном подходе к выбору контролируемых и диагностических параметров.

Принятое конструктивное исполнение рассмотренных систем определяет область их применения. Стендовые системы, выполненные на базе персонального компьютера («Voestalpine Mechatronics GmbH» и «Kiss Technologies, Inc.») найдут применение на МНЛЗ с количеством ручьев от 1 до 2 и с «открытыми» механизмами качания. Количество ручьев ограничивается количеством контрольных точек и датчиков системы, временем

измерения параметров вибрации, а также временем, отводимым на выполнение контрольно-измерительных работ между разливками стали на МНЛЗ и во время литья заготовок. Требование «открытости» механизмов качания заключается в наличие свободного доступа к механизмам качания во время литья заготовок для установки датчиков и проведения измерений. Этим требованиям отвечают многие слябовые и блюмовые МНЛЗ. Механизмы качания сортовых МНЛЗ во время литья заготовок закрыты крышками, поэтому измерение параметров вибрации можно осуществить только с помощью стационарных систем контроля и диагностирования («PRES, Inc.» и НПП «Техноап»). Применение стационарных систем снимает ограничение на количество ручьев и количество контрольных точек, так как в этом случае датчики и кабеля также крепятся стационарно. В этом случае ограничением выступает надежность самой системы.

Сложность систем в настройке, эксплуатации и обслуживании, повышенная стоимость и отсутствие специалистов соответствующей подготовки препятствует широкому их внедрению на металлургических предприятиях. Исключение составляют те системы, которые изначально интегрированы в автоматизированную систему управления технологическим процессом непрерывной разливки стали на МНЛЗ.

Список литературы

1. Усовершенствование технологии и оборудования машин непрерывного литья заготовок / Бровман М.Я., Марченко И.К., Кан Ю.Е. и др. – К.: Техніка, 1976 – 165 с.
2. Effects of oscillation waveform on the surface quality of SBQ-billets: experiences with hydraulic oscillators at Von Moos Stahl AG / W. Fuchs, S. Lemgen, H. Roelofs, C. Tercelli // 4th European Continuous Casting Conference, October 14 - 16, 2002.– P. 405 - 414.
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. Mould guidance checker – TMS. Measuring System Development. – Linz: Voestalpine Mechatronics GmbH, 2004. – 15 p.
5. Kiss Technologies. Mold Oscillation Monitoring Systems. Product Line Overview. – Holland, Kiss Technologies, Inc., 2004. – 4 p.
6. Mold Oscillator Continuous Cast Case Study. Westlake: PRES, Inc., 2004. 1 p.
7. Oscillator Condition Test Cast Study. – Westlake: PRES, Inc., 2004, – 1 p.
8. Миллер К. Интегрированные системы контроля МНЛЗ // Черные металлы.– 1991. № 12.– С. 13 - 18.
9. Тихановский В.А., Кузьминов А.Л., Щеголев А.П. и др. Эффективность

- микропроцессорных систем контроля оборудования МНЛЗ / Сталь.– 1993. № 1.– С. 38 - 41.
10. Модернизация МНЛЗ с использованием автоматических измерительных и регулирующих систем / Тараутдинов Р.С., Носов А.Д., Горосткин С.В. и др. // Сталь. – 2002. № 1.– С. 25 - 28.
 11. Освоение устройств «Динафлекс» и «Гидровам» для улучшения работы МНЛЗ / Т. Харалдсон, К. Пирмер, Х. Айдингер, Й. Молнар // Сталь.– 2001. № 4.– С. 53 - 55.
 12. Кёль Н., Лонарди Э., Шерген П. Гильзовый кристаллизатор высокоскоростных МНЛЗ со встроенным механизмом гидравлического качания Вибромолд // Сталь.– 1999. № 4.– С. 23 - 26.
 13. Освоение устройства качания кристаллизатора Динафлекс на предприятии «Лех-Штальверке» / Р. Кёль, К. Мёрвальд, Й. Пийппль, Х. Тёне // Сталь. – 2001. № 2.– С. 52 - 55.
 14. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987.– 288 с.
 15. Коллакорт Р. Диагностика повреждений.– М.: Мир, 1989.– 512 с.
 16. Чумаков С.М., Сорокин А.Н. Опыт использования акселерометрической системы технологического контроля кристаллизатора / Сталь.– 1998. № 6. С. 17 - 19.
 17. Дегтяренко И.В. Автоматизированная система контроля и управления технологическим комплексом производства машин возвратно-поступательного действия с низкой виброакустической активностью: Дис... канд. техн. наук: 05.13.07.– Донецк, 2001.– 249 с.
 18. IV Европейская конференция по непрерывной разливке стали // Электроталлургия.– 2003. № 2.– С. 44 - 47.
 19. Возможности автоматического предупреждения о прорывах на выходе кристаллизатора / С.М. Чумаков, Б.А. Делекторский, А.Н. Сорокин, А.П. Евтеев // Сталь.– 1998. № 5.– С. 22 - 26.

© Сидоров В.А., Сотников В.А. 2005