

*к.т.н. Сотніков О.Л.,
к.т.н. Руденко В.І.,
к.т.н. Ошовська Е.В.
(ДВНЗ «ДНТУ», Донецьк, Україна,
e-mail: as@mech.dgtu.donetsk.ua)*

ВІБРОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ СОСПРЯМОВАНОГО РУХУ КРИСТАЛІЗАТОРА З ТЕХНОЛОГІЧНОЮ ВІССЮ МБЛЗ

У статті розглянута актуальність питання контролю відхилень геометричної осі кристалізатора від технологічної осі струмка МБЛЗ та наведено результати теоретичного та експериментального аналізу можливостей існуючих та перспективних методів контролю.

Ключові слова: *радіус хитання, технологічна вісь, контроль, аналізатор вібрації, кристалізатор, механізм хитання.*

В статье рассмотрена актуальность вопроса контроля отклонений геометрической оси кристаллизатора от технологической оси ручья МНЛЗ и приведены результаты теоретического и экспериментального анализа возможностей существующих и перспективных методов контроля.

Ключевые слова: *радиус качания, технологическая ось, контроль, анализатор вибрации, кристаллизатор, механизм качания.*

Постановка проблеми. У процесі експлуатації механізму хитання кристалізатора машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) відбувається постійна зміна, як правило, в гіршу сторону, технічного стану деталей, вузлів і приводу механізму. Результатом зміни стану механізму хитання є викривлення параметрів коливального руху кристалізатора МБЛЗ, і зокрема порушення траєкторії руху кристалізатора. Наслідком цього є зниження стабільності і безпеки процесів безперервного розливання сталі на МБЛЗ, знижується продуктивність МБЛЗ, погіршується якість поверхні одержуваної заготовки та збільшується ймовірність аварійних проривів розплавленого металу під кристалізатором.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З метою попередження відхилення геометричної осі кристалізатора від технологічної осі струмка (від співвісності кристалізатора з технологічною віссю) МБЛЗ під час зміни перерізу заготовки або планової заміни кристалізатора, виконується контроль виставки кристалізатора щодо базових і центральних

осей МБЛЗ по реперам, закладеним при будівництві машини [1]. Роботи по виставці кристалізатора виконуються обслуговуючим персоналом МБЛЗ із залученням геодезичної служби металургійного підприємства. При цьому широко використовуються струни, лінійки, рулетки, будівельні рівні, нівеліри та інші геодезичні інструменти. Можливий контроль співвісності кристалізатора з роликками зони вторинного охолодження за допомогою шаблонів і направляючих пристроїв [2]. Дані методи і способи контролю дозволяють з відносно достатньою точністю виставити кристалізатор в одному з можливих його положень, що недостатньо, тому що кристалізатор в процесі лиття безперервнолитого злитка здійснює коливальний рух за умовами технологічного процесу. Відхилення ж від співвісності кристалізатора з технологічною віссю МБЛЗ може виникнути безпосередньо в процесі лиття, в цьому випадку визначити їх наявність за допомогою даних методів і способів практично неможливо.

Тому, в даний час, широко поширюється на металургійних підприємствах контроль траєкторії руху будь-якої точки столу хитання кристалізатора МБЛЗ, шляхом її побудови у вертикальних площинах, які проходять уздовж і/або перпендикулярно технологічній осі струмка машини, за графіками руху даної точки в двох/трьох взаємно перпендикулярних напрямках [3]. Даний метод контролю можна розглядати як класичний, що став широкодоступним завдяки застосуванню сучасної обчислювальної техніки [4].

Співробітниками кафедри «Механічне обладнання заводів чорної металургії» ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» також ведуться дослідження по розробці перспективних методів контролю відхилень від співвісності кристалізатора і інше обладнання МБЛЗ з технологічною віссю машини [5...7].

Мета статті – виконати теоретичний та експериментальний аналіз можливостей поширеного на металургійних підприємствах і розробленого авторами перспективного автоматизованого методу контролю спрямованого руху кристалізатора з технологічною віссю МБЛЗ.

Виклад основного матеріалу. Побудова траєкторії руху однієї або декількох точок столу хитання (ланки механізму хитання, на якому встановлений і закріплений кристалізатор) дозволяє виконати контроль правильності настройки і регулювання механізму хитання кристалізатора МБЛЗ, оцінити і визначити причини спотворення траєкторії руху, як в процесі лиття безперервнолитого злитка, так і в режимі його імітації. Значення переміщення вказує на фактичний розмах коливань столу хитання і не збігається із заданим у результаті виникнення несправності або неправильного налаштування механізму хитання. З цих же причин форма графіка переміщення точки столу хитання як функції часу, що відображає фактичне переміщення столу, буде відрізнятися від закону

коливального руху, обумовленого конструкцією важільного механізму хитання або параметрами гідравлічного приводу механізму.

Достовірність результатів аналізу траєкторій руху точок столу хитання залежить від досвіду і кваліфікації оператора (як правило, механіка) МБЛЗ. Безперервний обсяг інформації вимагає підвищеної уваги оператора і великого часу на аналіз. При цьому увага приділяється відстеженню правильності форми траєкторії руху, а не відхилень від співвісності кристалізатора з технологічною віссю струмка МБЛЗ. Експертні системи аналізу траєкторій руху точок столу хитання кристалізатора МБЛЗ в даний час відсутні.

Для МБЛЗ радіального типу технологічна вісь у вертикальній площині на ділянці формування безперервнолитого злитка представляє собою дугу кола з радіусом, рівним базового радіусу МБЛЗ. Для точок робочої грані гільзи кристалізатора, що має більший радіус кривизни, траєкторії руху також будуть представляти собою дугу кола з радіусом, рівним базового радіусу МБЛЗ. На підставі цього можна зробити висновок, що радіус дуги кола, яке відповідно технологічної осі машини і що є траєкторією руху точок грані гільзи кристалізатора з великим радіусом кривизни є параметром, що визначає соспрямованість руху кристалізатора з технологічною віссю струмка МБЛЗ.

Запропонований авторами в роботах [5 та 6] метод визначення радіуса хитання кристалізатора дозволяє оперативно виконувати контроль правильності установки і вивірки кристалізатора, якій здійснює коливальний рух відносно технологічної осі струмка МБЛЗ, за параметрами коливання столу хитання. Розроблений метод полягає в наступному.

За допомогою портативного аналізатора вібрації в період планових і непланових зупинок процесу розливання сталі на МБЛЗ, а при використанні стаціонарної системи і під час розливання сталі, виконується вимірювання амплітуди коливання (A_1 і A_2) у вертикальному напрямку двох точок, розташованих на поздовжньої осі симетрії столу хитання з боку приводу (1) і з боку пневматичних пристроїв (2) на відстані один від одного L , так щоб точка 2 розташовувалася на відстані l від робочої грані гільзи кристалізатора з великим радіусом кривизни (рисунок 1). І потім у відповідності з нижче наведеними формулами обчислюється радіус хитання кристалізатора МБЛЗ [8]:

$$R = \frac{A_2 \cdot L}{A_2 - A_1} - l. \quad (1)$$

Для автоматизації процесу обчислення і відстеження трендів зміни радіуса хитання кристалізаторів МБЛЗ авторами розроблено спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ) «МБЛЗ Радіус» (рисунок 2).

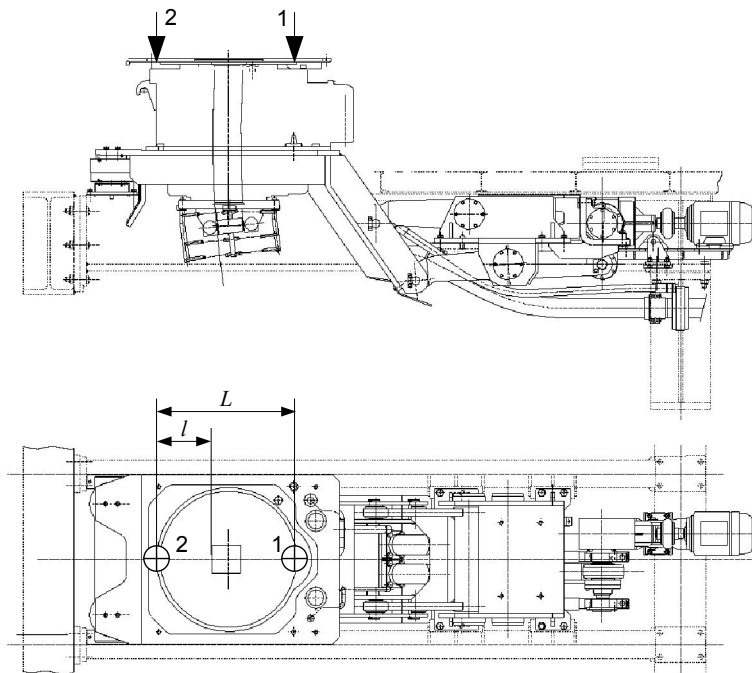


Рисунок 1 – Точки контролю амплітуди коливання столу хитання для визначення радіуса хитання кристалізатора МБЛЗ

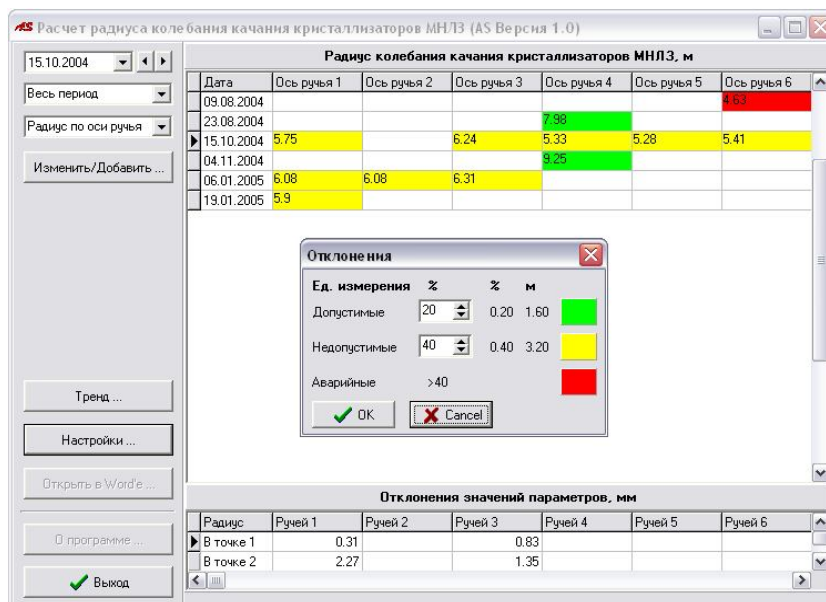


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд ПЗ «МБЛЗ Радіус»

Дослідно-промислове випробування методу оперативного контролю відхилення радіусу хитання кристалізатора МБЛЗ проведено в умовах електросталеплавильного цеху ЗАТ «Мініметалургійний завод» Істіл (Україна)», нині ЗАТ «Донецький електросталеплавильний завод» (Украї-

на), в період з 2004 по 2008 р. на сортовий радіальної МБЛЗ «DANIELI» з базовим радіусом 8000 мм.

У бюро технічної діагностики відділу головного механіка заводу разом з ПЗ «МБЛЗ Радіус» була передана розроблена «Інструкція з оперативного контролю відхилень радіусу хитання кристалізатора МБЛЗ». Також дані матеріали були передані в ТОВ «ІТЦ «Вібродіагностика» (Україна) для застосування з вібровимірювальною технікою, що серійно виробляється підприємством.

У період з 1 червня по 15 жовтня 2004 р. проводилося дослідження механічних коливань шести механізмів хитання кристалізатора МБЛЗ «DANIELI» ЗАТ «Мініметалургійний завод» Істіл (Україна)». Програма дослідження включала реєстрацію та аналіз параметрів коливального руху кристалізатора МБЛЗ при різних режимах роботи машини, під час імітації процесу лиття заготовок (на холостому ході) при різній швидкості витягування зливка, перерізі заготовки, частоті та амплітуді коливання кристалізатора [9].

Вимірювання параметрів вібрації (вібропереміщення (мкм); віброшвидкості (мм/с); віброприскорення (m/s^2)) виконувалися за допомогою портативного аналізатора вібрації АС 6400 [10]. Місця встановлення датчика показані на рисунку 1. Кріплення датчика виконувалось за допомогою постійного магніту з силою притиснення 50...70 Н. Даний спосіб кріплення відноситься до альтернативних способів і скорочує вимірюваний частотний діапазон до 5000 Гц. Результати вимірювання заносилися для подальшого аналізу в ПЗ «МБЛЗ Радіус».

Конструкція шарнірного чотириланкового механізму хитання кристалізатора МБЛЗ «DANIELI» (рисунок 1) дозволяє змінювати параметри руху кристалізатора МБЛЗ у діапазонах: частота від 0 до 400 кол./хв. (від 0 до 6,67 Гц) і амплітуда від 0 до 8 мм. Аналізований частотний діапазон коливань відповідає низькочастотному діапазону 0...500 Гц.

У ході експериментального підтвердження встановленої залежності між амплітудою коливання і радіусом хитання кристалізатора МБЛЗ [9], що лежить в основі розробленого методу контролю радіусу хитання [5,6,8] було показано, що радіус хитання кристалізатора МБЛЗ «DANIELY» змінюється від вимірювання до вимірювання, відображає зміну технічного стану механізму хитання під час експлуатації. Мінімальне і максимальне значення радіусу хитання кристалізатора МБЛЗ досягало відповідно 4000 і 9000 мм. У таблиці 1 та на рисунку 3 представлено один з прикладів визначення фактичного радіусу хитання кристалізатора МБЛЗ за результатами вимірювання параметрів коливального руху столу хитання.

Таблиця 1 – Результати вимірювання амплітуди коливання столу хитання та визначення фактичного радіуса хитання кристалізатора МБЛЗ

| Точка контролю, відповідно рисунку 1 | Фактичний розмах амплітуди коливання, мм | Відхилення від розрахункового значення, мм | Фактичний радіус хитання кристалізатора, м |
|--------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1 | 9,392 | 0,31 | 5,75 |
| 2 | 11,351 | 2,27 | |

Побудована, за результатами вимірювання у двох взаємно перпендикулярних напрямках переміщення точки столу хитання, як функції часу, траєкторія руху точки (рисунок 3) нагадує за формою дугу кола, відповідну технологічній осі МБЛЗ. Як видно з графіка на рисунку 3, траєкторія змінюється від циклу до циклу, тобто присутні додаткові коливання в горизонтальному напрямку, у вертикальному ж напрямку такі коливання відсутні, це говорить про те, що несправністю є зазори в механічній системі механізму хитання, які вибираються тільки в горизонтальному напрямку. Траєкторія руху у вигляді вісімки пояснює зміну частоти коливання, тобто вибірка зазорів відбувається циклічно, під дією навантаження і крутного моменту приводу механізму хитання.

За формою траєкторії руху контрольної точки за допомогою відомих методів геометрії визначено радіус дуги кола, якій дорівнює 5,7 м, що відповідає, з допустимою різницею в 0,9 %, радіусу хитання кристалізатора, визначеного за допомогою розробленого методу (таблиця 1). Фактичний радіус відрізняється від проектного значення (8 м) на 2,3 м, що свідчить про наявність несправностей механізму хитання.

Робота фахівців бюро технічної діагностики відділу головного механіка ЗАТ «Мініметалургійний завод» Істіл (Україна) з діагностування механізму хитання кристалізатора МБЛЗ «DANIELI» в період з 2004 по 2008 рр. підтверджує отримані при експериментальному дослідженні результати. Використання розробленого методу контролю дозволило знизити відхилення параметрів коливального руху кристалізаторів МБЛЗ (амплітуди коливання і радіуса хитання) з ± 50 до ± 10 % від проектних значень, а також продовжити термін служби гільзи кристалізатора МБЛЗ в 2 рази за рахунок своєчасного виявлення, визначення та усунення несправностей механізму хитання, що підтверджено відповідним актом впровадження.

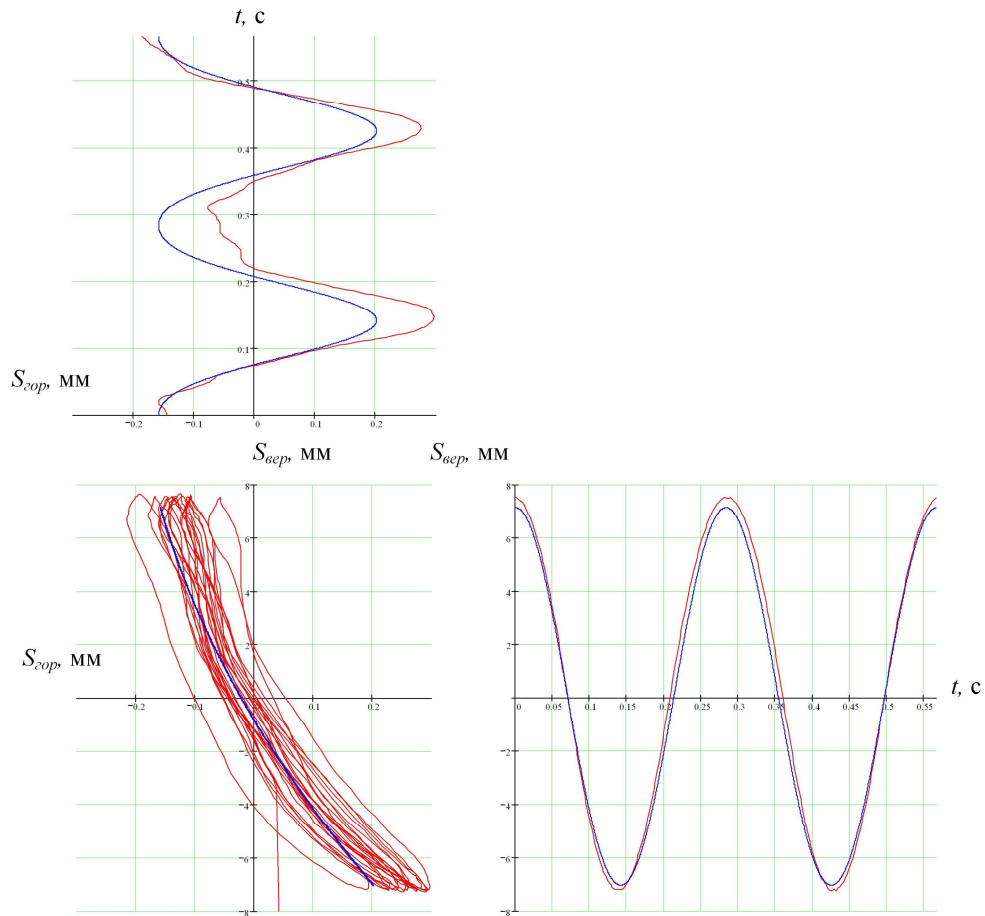


Рисунок 3 – Фактична (1) і теоретична (2) траєкторії руху точки столу хитання у вертикальній площині вздовж технологічної осі струмка

Висновки. Метод контролю відхилення радіусу хитання кристалізатора МБЛЗ від базового (заданого) радіуса МБЛЗ на основі встановленої залежності радіуса хитання від амплітуди коливання столу хитання, дає можливість контролювати відхилення геометричної осі гільзи кристалізатора від технологічної осі струмка МБЛЗ в поздовжньому напрямку. Метод контролю полягає у визначенні фактичного радіуса хитання кристалізатора за результатами вимірювання амплітуд коливання столу хитання і порівнянні з базовим радіусом МБЛЗ. Різниця між цими радіусами відповідає відхиленню.

Результати експериментального дослідження відхилень параметрів коливального руху механізму хитання кристалізатора МБЛЗ підтверджують ефективність і доцільність застосування розробленого методу контролю, що дає можливість більш обґрунтовано обслуговуючому персоналу машини приймати рішення щодо проведення технічного обслуговування і ремонту механізму хитання, з метою попередження відхилень параметрів коливального руху кристалізатора МБЛЗ.

Розроблений метод контролю соспрямованого руху кристалізатора з технологічною віссю МНЛЗ можливо застосовувати для механізмів хитання різної конструкції.

Бібліографічний список

1. Производственно-техническая инструкция «Техническое обслуживание МНЛЗ «DANIELI». ПТИ 234-3-52-2007. – Донецк: ЗАО «ММЗ Истил (Украина)», 2007. – 53 с.

2. Тимохин О.А. Особенности расчета технологической оси МНЛЗ и ее контроля / В.А. Тимохин // Сталь. – 2000. № 2. – С. 16 – 21.

3. Харалдсон Т. Освоение устройств «Динафлекс» и «Гидровам» для улучшения работы МНЛЗ / Т. Харалдсон, К. Пирмер, Х. Айдингер, Й. Молнар // Сталь. – 2001. № 4. – С. 53 – 55.

4. Сидоров В.А. Анализ систем контроля и диагностирования механизмов качания МНЛЗ / В.А. Сидоров, А.Л. Сотников // Наукові праці Донецького національного технічного університету (Металургія). – Донецьк, 2005. – Вип. 102. – С. 46-55.

5. Сидоров В.А. Определение радиуса качания кристаллизатора МНЛЗ / В.А. Сидоров, А.Л. Сотников // Современная электрометаллургия. – 2006. - № 4. – С. 43-46.

6. Сидоров В.А. Метод оперативного контроля соосности кристаллизатора с технологической осью ручья МНЛЗ / В.А. Сидоров, А.Л. Сотников // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия» ОАО «Черметинформация». – 2006. - № 9. – С. 38 – 41.

7. Могильный С.Г. Геодезические работы при проверке соосности оборудования машины непрерывного литья заготовок / С.Г. Могильный, А.А. Шоломицкий, А.Л. Сотников // Металлургические процессы и оборудование. – 2009. - № 2. – С. 19 – 27.

8. Сотников А.Л. Предупреждение отклонений параметров колебательного движения кристаллизатора МНЛЗ на основе развития методов диагностики механизма качания: дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.08 «Машины для металлургического производства» / Сотников Алексей Леонидович. – Донецк, 2008. – 216 с.

9. Сидоров В.А. Исследование параметров вибрации столов качания МНЛЗ / В.А. Сидоров, А.Л. Сотников // Вибрации в технике и технологиях. – 2005. - № 2. – С. 85 – 89.

10. Инженерно-технический центр «Вибродиагностика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zfs.lg.ua/>.

Рекомендовано до друку к.т.н., проф. Уляницьким В.Н.