

В. В. Вереньов¹, д.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-2561-5365

¹ *Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України*

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ В ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ ПРОКАТНИХ СТАНІВ

Анотація. Розглядається питання використання параметрів вібродинамічних процесів в прокатних станах, перш за все під час захвату полоси валками, для визначення технічного стану обладнання. Відзначені типові перехідні процеси моменту сил пружності на шпинделях і моторному валу та вібрації обладнання вздовж лінії приводу. Подаються приклади розроблених способів діагностування фактичного технічного стану обладнання прокатних клітей. Зокрема з використанням такого нового показника, як час запізнення реакції ділянок на ударне навантаження в кліті. На базі одержаних промислових вимірювань та математичного моделювання запропоновані і обґрунтовані напрямки пошуку та розвитку нових способів та методів. Рекомендується використання кореляційних полів сталій момент – максимальний момент сил пружності під час захвату полоси, коефіцієнтів варіації, цілеспрямоване створення спеціальних режимів прокатки і роботи обладнання, установка постійно діючих тензодатчиків та використання штатних датчиків.

Ключові слова: прокатний стан, обладнання, діагностика, перехідні процеси, зазор, ударне навантаження, захват полоси, запізнення, кореляційне поле.

Посилання для цитування: Вереньов В. В. Перспективи розвитку методів діагностики в перехідних режимах роботи прокатних станів. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2023. Вип. 37. С. 316-323. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-316-323>

Вступ. В Інституті чорної металургії НАНУ ведуться розробка та дослідження нового напрямку визначення технічного стану обладнання за допомогою вібродинамічних параметрів в режимах захвату полоси валками, заповнення половою безперервної групи клітей, розгону і гальмування стану, викиду полоси з клітей [1-10]. В означених режимах роботи обладнання клітей в найбільшій мірі своїми власними коливаннями відкликається на збурення, обумовлене переходами стану з режиму холостого ходу до прокатки. Майже миттєве збільшення зусилля і моменту прокатки на валках призводить до ударного замикання зазорів (нешільностей) між опорами валків і стійками кліті, в підшипниках валків, з'єднанні хвостовика робочого валка через бронзові вкладиші з шпинделем і подібні їм вздовж лінії приводу через зачеплення редуктора, муфт до валу двигуна. У результаті на кожній

ділянці лінії спостерігається різний рівень амплітуд коливань, моменту і вібрація, які значно залежать від зносу та зазорів в зчленуваннях. Останні під час стаціонарної роботи з постійним навантаженням замкнуті, тому за допомогою відомих методів виявити їх фактичний стан важко.

Мета статті полягає в тому, щоб підвести підсумки результатів одержаних досліджень і розглянути можливості подальшого пошуку і розвитку нових методів і способів діагностики в перехідних режимах роботи обладнання прокатних станів.

Стан питання. Наведені нижче приклади типових перехідних процесів під час захвату полоси валками (рис. 1, 2) дозволяють визначити ряд їх закономірностей і особливостей.

1. Початок реакції моменту сил пружності на всіх ділянках лінії приводу різний, що пояснюється різним станом їх зносу і зазорів. Згідно рис. 1 спочатку навантажується один з шпинделів, потім другий, після чого вал між редуктором та двигуном.

2. Час запізнення реакції ділянок відносно датчика на кліті різний і збільшується в напрямку до двигуна.

3. Після першого піка M_{max} момент на проміжному валу знижується до 0, зазори розмикаються і спостерігається зворотний ударний пік моменту, який дорівнює моменту M_c в сталому режимі прокатки. Відносний рівень динаміки на i -тій ділянці лінії приводу визначають коефіцієнтом динамічності $K_i = M_{imax} / M_{ic}$.

4. Шляхом масових вимірювань у промислових умовах і статистичного моделювання встановлено, чим більше знос і зазори, тим більше час запізнення реакції ділянок і коефіцієнт динамічності [1, 2, 5].

5. Спостерігається закономірність: якщо технічний стан обладнання задовільний, наприклад, після капітального ремонту, частота вібрації в перехідному процесі корпусу редуктора і шестеренної кліті співпадає з частотою коливань моменту сил пружності. З часом з'являється високочастотна складова вібрації їх корпусу, обумовлена поступовим розвитком зносу та зазорів, з збільшенням зворотних ударів в проміжному валу.

6. Під час безперервної прокатки, наприклад, в двох клітях коли захват полоси валками відбувається у другій кліті, обладнання першої кліті реагує через зусилля натягу, але в значно меншій мірі (ведеться прокатка, тому зазори замкнуті), ніж при захваті металу в першій кліті [3].

7. Велике значення з діагностичної точки зору має встановлений динамічний зв'язок парціальних пружних систем (лінія приводу – валки, опори валків – стійки кліті, лінія приводу – редуктор та ін.) [4]. Наприклад, під час буксування валків перед захватом полоси в лінії

приводу сталося п'ять ударних піків моменту сил пружності, на які амплітудою і періодом відреагувала вібрація корпусу редуктора (рис. 2).

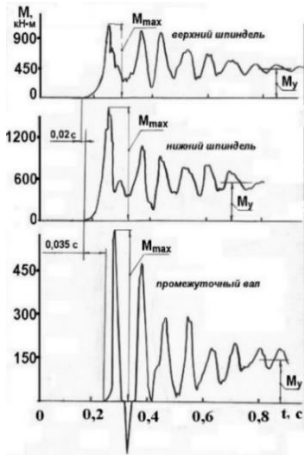


Рисунок 1 – Момент сил пружності на верхньому і нижньому шпинделі і проміжному валу в кліті № 5 стана 1700 КарМК [1].

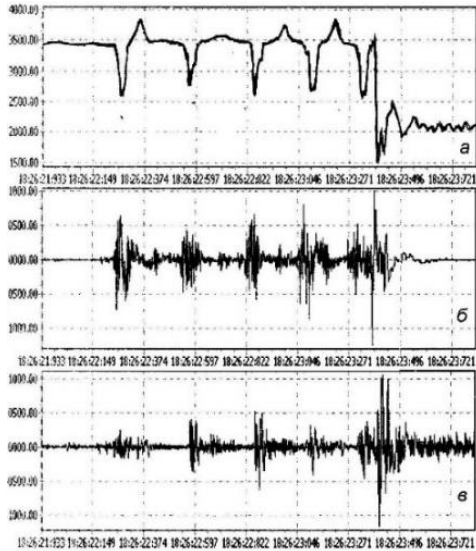


Рисунок 2 – Момент сил пружності на проміжному валу (а) і вібрація корпусу редуктора (б,в) при буксуванні валків перед захватом полоси. Кліть ДУО, стан 1680 [4].

Відзначені особливості використані в низці розроблених способів визначення технічного стану обладнання [6-10]. Наприклад, за часом запізнення реакції ділянок лінії приводу на ударне навантаження в кліті в момент захвату металу валками [6]. Згідно з вимірюваннями цей час в залежності від ділянки та її стану становить 7-25 мс для шпинделів та 50-120 мс для валу двигуна. Тобто діапазон його зміни достатньо значний для того, щоб розрізнити різні етапи вимірювань. В іншому способі [4] використовується швидкість розповсюдження пружної хвилі по ділянках лінії від кліті до двигуна і порівняння з її базовим значенням в безззорному круглому стрижні (3200 м/с). Прийняті до уваги особливості зміни часу запізнення в залежності від послідовності захвату металу в калібрах валків клітей з багатонитковою прокаткою [10]. У способі [8] використовується залежність періоду коливаний моменту сил пружності і розмаху амплітуди вібрації корпусу редуктора від зазору, а в способі [7] залежність розкриття зазору від швидкості подачі полоси в валки.

Поряд з результатами вимірювань використовуються залежності, одержані шляхом математичного моделювання перехідних процесів при різному технічному стані обладнання [2, 3, 5]. Достовірність методів доказана результатами вимірювань під час різного технічного стану ділянок на діючих станах 1680, 1700, 2000 та 2500.

Напрямки розвитку. Спираючись на досвід досліджень і одержану базу вібродинамічних процесів в перехідних режимах роботи розглянемо шляхи і системні положення пошуку нових методів і способів визначення технічного стану обладнання прокатних клітей.

1. Погляд на динаміку обладнання в єдиному взаємопов'язаному процесі: холостий хід – захват металу валками – розгін стану – стаціонарний режим роботи – гальмування – викид металу з валків. Наприклад, під час викиду металу з валків в кінці прокатки лінія приводу звільняється від пружного моменту, що призводить до 2 – 4 прямих та зворотних ударів на редукторній ділянці, період між якими залежить від зносу та зазору, що може бути використано для розробки нового способу [4].

2. Актуальність визначення поточного зносу елементів в зчленуваннях лінії приводу, який призводить до розвитку кутових зазорів та збільшення ударних навантажень, перш за все під час захвату металу валками.

3. Пошук і використання взаємозв'язку вібродинамічних процесів у всіх системах прокатної кліті та лінії приводу. Встановлена і обґрунтована наявність кореляційних полів середнього статичного моменту M_c під час прокатки і максимального динамічного моменту M_d при захваті металу валками (рис. 3). Поле представляє собою полосу точок деякої ширини по осі M_c . Зі збільшенням статичного моменту M_c , тобто моменту прокатки, збільшується максимальний (піковий) динамічний момент M_d . Розкид поля по осям M_c і M_d обумовлений сорторозміром, що прокатується, але в значній мірі і також зазорами, які розмикаються на випадкове значення. Чим більші зазори, тим більше розкид поля. Поле апроксимується лінійною залежністю $M_d(M_c)$ з відповідними параметрами. Вказані залежності і поля одержані також шляхом статистичного моделювання перехідних процесів [5]. Очевидно, що подальше вивчення особливостей зміни параметрів кореляційних полів по ділянках лінії приводу може бути корисним для визначення технічного стану. Необхідно прийняти до уваги, що такі допоміжні поля як статичний момент – температура полоси, температура полоси – її різновтовщинність, статичний момент – розмах амплітуди вібрації та ін. дають можливість значно підвищити точність і глибину діагнозу.

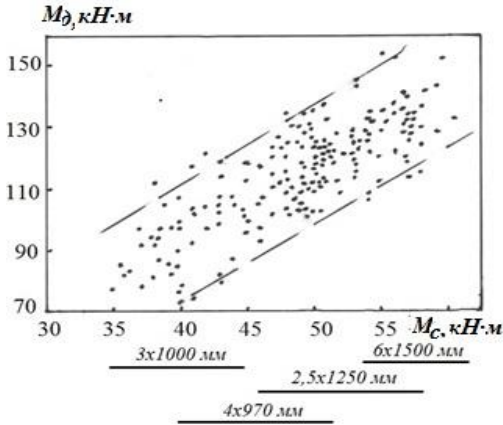


Рисунок 3 – Кореляційне поле максимального динамічного моменту M_d і сталого моменту M_c в кліті ДУО стану 1680.

4. Під час періодичних вимірювань моменту сил пружності (динамічного моменту) на верхньому і нижньому шпинделях і на валу між редуктором і двигуном, з'являється можливість найбільш точного визначення стану цих ділянок. Тут поряд з кореляційними полями використовується розрахункова залежність максимального динамічного моменту від зазорів. Відомо, що за допомогою коефіцієнта варіації $v_c = \sigma/m$, де σ - середньоквадратичне відхилення, m – середнє значення, визначають стабільність процесу прокатки полоси чи партії полос. Нами встановлено і на прикладах показано, що одні сполучення коефіцієнтів варіації статичного моменту, динамічного моменту і коефіцієнта динамічності вказують на задовільний стан технології і обладнання, а інші їх сполучення – погіршення [2], що може бути використано з діагностичною метою.

5. Врахування конструктивних особливостей, кінематичних схем та особливостей технологічного процесу разом з режимами роботи обладнання, як це, наприклад, використано в способі з чотирьохнитковою прокаткою [10].

6. Цілеспрямоване створення спеціальних режимів як прокатки, так і роботи обладнання з метою підвищення інформативності параметрів перехідних процесів подібно до способу [9].

7. Використання математичних моделей перехідних процесів, їх розширення і уточнення з метою вивчення інформативних параметрів та побудови діагностичних моделей. Результати моделювання редуктора з урахуванням зчеплення коліс показують, що інформативною являється петля руху осей в полі зазору. Чим більше зазор в осях і підшипниках, тим більше петля відрізняється від прямої лінії коли зазори відсутні [5].

8. Цікавим є питання, за який час і з якою швидкістю проходить ударна хвиля в полосі між двома клітьми, коли відбувається захват полоси в другій клітці. Слід очікувати, що цей час і швидкість пов'язані з маркою сталі, температурою полоси, її розмірами і відстанню між клітьми. Чи можливо за цими двома параметрами визначити стан і якість металу полоси.

При наявності певних досягнень необхідно зазначити, що поле досліджень нового напрямку визначення технічного стану обладнання залишається достатньо значним. Ще мало використовуються такі штатні датчики, як тиску в системі гідроврівноважування валкової системи клітей. Вони досить чутливі до удару металу по валках, тому відносно їх легко визначається час реакції інших ділянок. Це відноситься також до тензодатчиків, які на постійній основі встановлюють на фундаментних болтах редуктора, шестеренної клітці, а також на стійках станини прокатної клітці. Важливе вивчення взаємних кореляційних полів. Використання математичних і комп'ютерних моделей, статистичного моделювання динамічних навантажень дозволяє поряд з діагностуванням обладнання вести моніторинг максимального динамічного моменту на ділянках лінії приводу, що необхідно для оптимізації процесу прокатки і розрахунку ресурсу обладнання.

Висновки

Наведені приклади вказують на можливість пошуку нових рішень відносно способів визначення фактичного технічного стану обладнання, успішно розвивати дослідження і використовувати з діагностичною метою динамічні параметри прокатних станів під час перехідних режимів роботи.

Перелік посилань

1. *Диагностика и динамика прокатных станов* / Веренев В. В., Большаков В. И., Путники А. Ю. и др. Днепропетровск : ИМА-ПРЕС, 2007. 144 с.
2. Веренев В. В. *Снижение динамических нагрузок и диагностика широкополосных станов в переходных режимах*. Никополь : СПД Фельдман О. О., 2014. 203 с.
3. Веренев В. В., Путники А. Ю., Подобедов Н. И. *Переходные процессы при непрерывной прокатке*. Д. : Літограф, 2017. 116 с.
4. Веренев В. В. *Динамические процессы в широкополосных станах горячей прокатки*. Д. : Літограф, 2018. 158 с.
5. Веренев В. В., Подобедов Н. И. *Статистическое моделирование динамических нагрузок в широкополосных станах*. Днепр : ЛИРА, 2021. 74 с.
6. Патент України № 70137А. Спосіб визначення технічного стану устаткування крутильної системи лінії головного приводу прокатної клітці / Вереньов В. В., Юнаков О. М., Далічук А. П. та ін. Заяв. 26.12.2003. Надр. 15.09.2004. Бюл. № 19.

7. Патент № 87827 Україна, МПК (2009) G01M7/00, G01M 15/00. Спосіб визначення зміни технічного стану зчленування робочий валок - шпindelь лінії головного приводу прокатної кліті / В. В. Вереньов, М. І. Подобедов, О. Ю. Путнокі [та ін.]. № a200607272; заявл. 30.06.2006; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16.

8. Патент 86640 Україна МПК (2009) G01M7/00, G01M13/00. Спосіб визначення технічного стану зубчатого зачеплення редуктора лінії приводу прокатної кліті / В. В. Вереньов, А. П. Далічук, В. В. Коренной [та інш.]. (№a200702387; заявл. 05.03.07; опубл. 12.05.09. Бюл. № 9.

9. Патент 87575 Україна МПК (2009) G01M7/00, G01M13/00. Спосіб визначення технічного стану ділянок лінії головного приводу першої кліті при безперервній прокатці заготовки у двох суміжних клітях / В. В. Вереньов, В. В. Коренной, С. В. Мацко [та інш.]. № a200712228; заявл. 05.11.06; опубл. 27.07.2009. Бюл. № 14.

10. Патент 124756 Україна МПК (2021) G01M 13/028. Спосіб діагностики лінії головного приводу валків кліті з багатонитковою прокаткою / В. В. Вереньов, А. В. Баглай, М. І. Подобедов. № a202003925; заявл. 30.06.20; опубл. 10.11.2021. Бюл. № 45.

References

1. Verenev, V. V., Bolshakov, V. I., & Putnoki, A. Yu. et al. (2007). *Diagnostics and dynamics of rolling mills*. IMA-PRES

2. Verenev, V. V. (2014). *Reduction of dynamic loads and diagnostics of wide-band mills in transient modes*. SPD Heldman O.O.

3. Verenev, V. V., Putnoki, A. Yu., & Podobedov, N. I. (2017). *Transient processes during continuous rolling*. Litograf

4. Verenev, V. V. (2018). *Dynamic processes in wide-band hot rolling mills*. Lithographer.

5. Verenev, V. V., & Podobedov, N. I. (2021). *Statistical modeling of dynamic loads in broadband mills*. LIRA

6. Verenev, V. V., Yunakov, O. M., Dalichuk, A. P. et al. (2004). Application Patent of Ukraine No. 70137A. The method of determining the technical condition of the equipment of the torsion system of the main drive line of the rolling cage. *Bul.*, 19

7. Verenev, V. V., Podobedov, M. I., Putnoki, O. Yu. et al. (2009). Patent No. 87827 Ukraine. The method of determining the change in the technical state of articulation of the working rolls - the spindle of the main drive line of the rolling mill. *Bul.*, 16

8. Verenev, V.V., Dalichuk, A.P., Korennoi, V.V. et al. (2029). Patent No. 86640 Ukraine. The method of determining the technical condition of the gearing of the reducer of the rolling mill drive line. *Bul.*, 9

9. Verenev, V. V., Korennoi, V. V., Matsko, S. V. et al. (2009). Patent No. 87575 Ukraine. The method of determining the technical condition of sections of the main drive line of the first cage during continuous rolling of the workpiece in two adjacent cages. *Bul.*, 14

10. Verenev, V. V., Baglai, A. V., & Podobedov, M. I. (2021). Patent No. 124756 Ukraine. The method of diagnosis of the main drive line of cage rolls with multi-filament rolling. *Bul.*, 45

V. V. Verenev¹, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0002-2561-5365

¹ *Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine*

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF DIAGNOSTIC METHODS IN TRANSIENT OPERATING CONDITIONS OF ROLLING MILLS

Abstract. The issue of using the parameters of vibrodynamic processes in rolling mills, primarily during the gripping of the strip by rolls, to determine the technical condition of the equipment is considered. Examples of typical transient processes of the moment of elastic forces on the spindles and the motor shaft and vibration of the equipment along the drive line are noted. Examples of developed methods of diagnosing the actual technical condition of rolling cage equipment are provided. In particular, with the use of such a new indicator as the time delay of the reaction of the areas to the impact load in the cage. On the basis of the obtained industrial measurements and mathematical modeling, the directions for the search and development of new methods and methods are proposed and substantiated. It is recommended to use the correlation fields constant moment - the maximum moment of elastic forces during strip capture, coefficients of variation, purposeful creation of special modes of rolling and operation of equipment and installation of continuously operating strain gauges and use of regular sensors.

Key words: rolling mill, equipment, diagnostics, transitional process, gap, impact load, strip gripping, lag, correlation field.

For citation: Verenev, V. V. (2023). Prospects for the development of diagnostic methods in transient operating conditions of rolling mills. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 37, 316-323. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2023-37-316-323>

*Стаття надійшла до редакції збірника 16.11.2023 р.
Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 9 від 19.12.2023 р.)*