

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

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

РОЗВИТОК СПОСОБІВ ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ПРОКАТНИХ КЛІТЕЙ В ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

Анотація. Наведено кілька способів діагностики прокатного обладнання в перехідних режимах роботи, перш за все при захваті полоси валками та показники – час запізнення реакції ділянок, кореляційні поля, період коливань. Розглянуті напрямки розвитку та пошуку нових способів, наведені приклади використання з діагностичною метою особливостей прокатки та роботи обладнання.

Ключові слова: прокатна кліть, лінія приводу, валки, динамічні процеси, вібрація, технічний стан, зазори, діагностика, час запізнення.

Посилання для цитування: Вереньов В. В. Розвиток способів діагностики технічного стану обладнання прокатних клітей в перехідних режимах роботи. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2024. Вип. 38. С. 362-369. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-362-369>.

Мета роботи полягає в тому, щоб на прикладах деяких способів діагностики обладнання прокатних станів показати можливості і напрямки їх розвитку та збагачення. Подані деякі нові діагностичні рішення.

Стан питання. Більшості прокатних станів властивий стаціонарний режим роботи, тобто з постійною швидкістю обертання валків під час прокатки чи холостого ходу. Відомі способи, методи та системи діагностування прокатного обладнання базуються на вимірюваннях вібраційних параметрів і пристосовані для подібних умов роботи. За їх допомогою визначають певне коло ознак технічного стану, наприклад, поламка зубчатих передач, тріщини, ексцентриситет валків, різнотовщинність прокату. Поряд з цим на станах мають місце такі періодичні режими, як захват метала валками та викид із валків, розгін та гальмування, прокатка полос з зварними з'єднаннями. В ці моменти в обладнанні спостерігаються значні коливання зусилля прокатки,

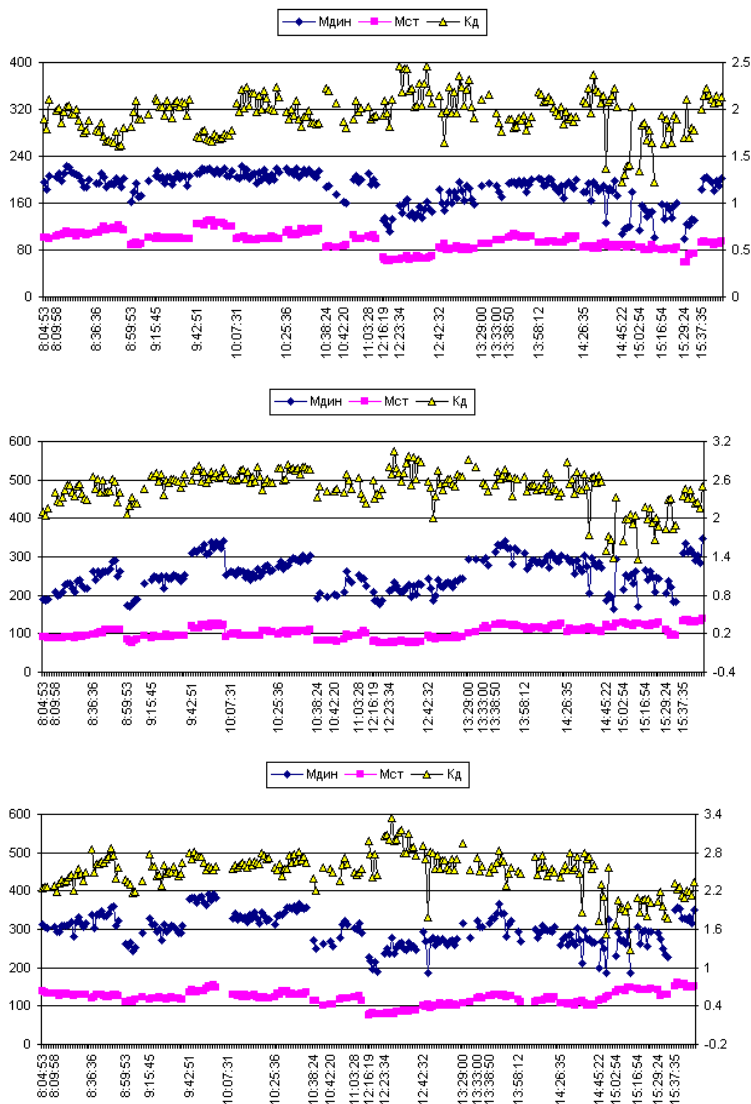


моменту сил пружності, вібрація станин робочих, шестеренних клітей та редуктора. Максимальна амплітуда зусилля досягає 1,1 – 1,3, а моменту від 1,5 – 2,5 до 3 – 4,5 відносно сталого значення в залежності від ділянки лінії приводу. Систематичні ударні навантаження призводять до поламки деталей та вузлів обладнання крутильної лінії. Значно впливають на ударне навантаження зазори в зчленуваннях лінії приводу валків, обумовлені зносом. Знос бронзових вкладишів шпинделів, зубчатих зчеплень шестеренної кліті, редуктора, проміжних муфт, підшипників, подушок робочих і опорних валків відомими способами майже не визначається.

В ІЧМ в останні два десятиліття заснований та розвивається новий підхід до визначення технічного стану обладнання прокатних клітей [1-4]. Він базується на використанні параметрів перехідних процесів в нестационарних режимах роботи, а також результатах досліджень на математичних моделях. Коливання кліті, зусилля прокатки, моменту сил пружності в шпинделях та проміжних валах, валкових опор та інш. суттєво залежать від зносу обладнання і зазорів. Базою відзначеного підходу також стали результати численних дослідно-промислових вимірювань перш за все на шести безперервних тонколистових станах гарячої прокатки 1680 (Запоріжжя), 1700 (Маріуполь, Караганда), 2000 (Липецьк, Череповець), 2500 (Магнітогорськ). Особливо значна інформативність про перехідні процеси в лініях приводу валків одержана шляхом вимірювань моменту сил пружності з допомогою системи, розробленої в свій час к.т.н. Є. Я. Подковиріним, та програми реєстрації, обробки та представлення даних (інж. А. П. Далічук). Одержано різноманіття перехідних процесів, великі масиви числових даних одноразово в декількох клітях при різному стані обладнання і режимах прокатки (рис. 1).

Подамо декілька прикладів нових способів визначення технічного стану обладнання і міркування відносно їх подальшого розвитку.

1. Вперше запропоновано визначати стан зносу та зазори за часом запізнення реакції ділянок лінії приводу на ударне навантаження в прокатній кліті під час захвату полоси валками [5] (рис. 2): чим більше зазори, тим більше час запізнення. В залежності від стану обладнання він може збільшуватися до 50 %, що важливо. Цей показник використано в інших способах: полоси задаються в валки зі збільшенням швидкості (удару по валках); визначається швидкість розповсюдження ударної хвилі вздовж ділянок, як допоміжний показник, що дозволяє підвищити достовірність аналізу.



кл.7

Рисунок 1 – Приклад графічного представлення для кожної полоси оброблених результатів вимірювань під час тривалої прокатки партій полос в клітках 5, 6, 7 стана 1680: M_d – максимальне значення динамічного моменту в лінії приводу; M_c – середній момент в сталому режимі прокатки; K_d – коефіцієнт динамічності

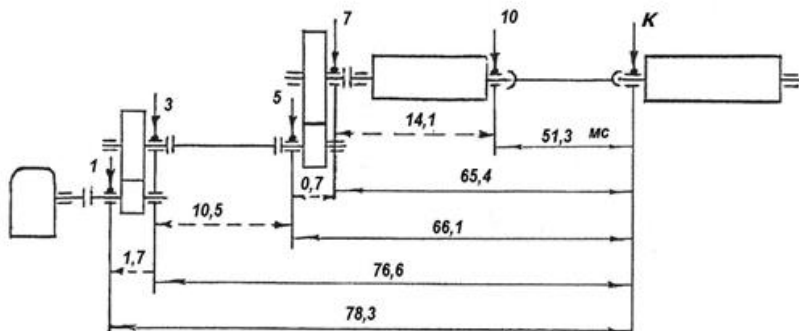


Рисунок 2 – Час запізнення реакції ділянок лінії приводу валків кліті ДУО стану 1680 при захваті слябів

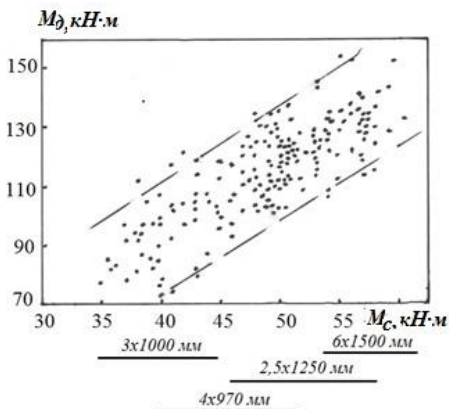


Рисунок 3 – Кореляційне поле середнього статичного навантаження M_c у процесі прокатки та максимального динамічного моменту M_d на проміжному валу під час захвату слябів валками. Кліть ДУО, стан 1680

2. На основі масових вимірювань на діючих станах вперше встановлено кореляційний зв'язок максимального моменту сил пружності M_d під час захвату метала валками з середнім значенням моменту M_c в сталому режимі прокатки. Чим більше M_c тим більше M_d , що підтверджується шляхом математичного моделювання. Дія випадкових збурень з боку обладнання і технології призводить до кореляційного поля значень M_d , M_c , яке апроксимується лінійною залежністю M_d (M_c). Кут її нахилу збільшується з погіршенням технічного стану обладнання і технології та може слугувати діагностичною ознакою (рис. 3) [4].

Розвиток відзначеного напрямку і способів полягає перш за все в збагаченні вимірювань параметрів, в статистичній їх обробці та одержанні крайніх значень показників. Наприклад, того ж часу

запізнення реакції ділянок при найкращому і найгіршому стані обладнання. Використання особливостей технології прокатки, наприклад, в чотирьохниткових дротяних станах час запізнення реакції ділянок при захваті першої полоси коли зазори розімкнуті порівнюється з часом, коли відбувається захват другої полоси, а перша продовжує прокатуватись при замкнених зазорах [6]. У способі [7] використані особливості збільшення періоду перехідних коливань між першими піками крутного моменту, коли в редукторі розмикається зв'язок зубчатого зачеплення. Це ж явище спостерігається між амплітудами вібрації корпусу редуктора (рис. 4).

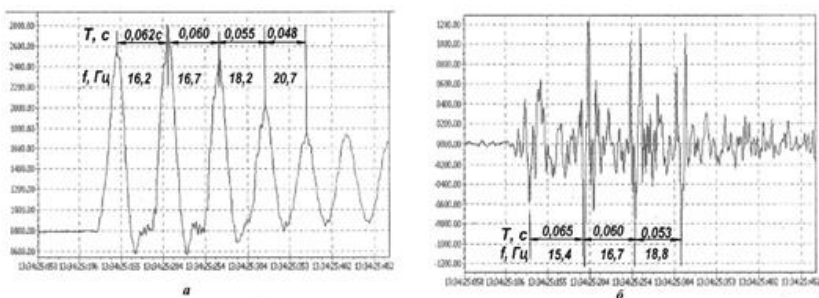


Рисунок 4 – Момент сил пружності (а) на проміжному валу між двигуном та редуктором і віброшвидкість (б) корпусу редуктора на вхідному валу при захваті полоси валками кліті 3 стану 1680

Велике значення має поглиблення досліджень кореляційних полів, їх властивостей і залежності від технічного стану обладнання, пошук нових полів на основі вимірювання вібропараметрів. Наприклад, X_d , M_c , де X_d – максимальне пікове значення певного вібраційного параметра корпусу шестеренної кліті або редуктора. Подібні поля шляхом вимірювань одержувати значно простіше, ніж моменту при достатній інформативності.

3. Крім коефіцієнта варіації γ_c моменту M_c в сталому режимі прокатки запропоновано використовувати значення коефіцієнтів варіації γ_d динамічного моменту M_d і коефіцієнта динамічності γ_k $K = M_d/M_c$, які визначаються з масивів вимірювань перехідних процесів. Шляхом порівняння комбінацій їх значень та відношень встановлюють, які збудження переважають – нестабільність параметрів прокатки, наприклад, розкид температури металу, її зміна вздовж прокату, чи обладнання - дія, перш за все, зазорів [2].

4. З метою більш повного уявлення розробили математичну модель лінії привода (м.н.с. В. В. Коренной) з урахуванням руху зубчатого зачеплення шестеренних валків, колеса і шестерні редуктора та їх осей

в опорах при наявності низки зазорів. На прикладі клітей 5 і 6 стану 1680, в яких по різному розташовані двигуни відносно шестерні редуктора, встановили важливі особливості і залежності їх руху в полях зазорів та дії зусиль [4].

Створення специфічних режимів прокатки і роботи обладнання. Наприклад, за допомогою вертикальних валків в універсальній чорновій кліті на короткій передній ділянці здійснюють незначне пластичне згинання полоси по ширині у вигляді невеликого «жолобу». За рахунок тертя під час вирівнювання жолобу відбувається гальмування швидкості горизонтальних валків та замикання зазорів перш за все в шпінделях. Значення часу запізнення реакції ділянок в цей період, тобто при закритих зазорах, порівнюють з часом запізнення, коли захват полоси йдеться в штатному режимі прокатки з впливом зазорів. З подібною метою можливий режим прокатки, коли спочатку на передній частині полоси довжиною до 0,5 м за рахунок зменшеного обтиснення формують «лижу», потім полосу відводять в зворотному напрямку, збільшують обтиснення і знову задають у валки. Прокатка «лижі» ведеться при закритих зазорах тому час запізнення реакції ділянок в період захвату наступної потовщеної частини полоси менший, ніж при захваті полоси в штатному режимі. Вимірювання часу запізнення можливо також при «піднятті – опусканні» верхнього опорного валка за допомогою гідравлічної системи кліті. За 10-15 секунд до підходу полоси до валків верхній опорний валок виводять з контакту з робочим валком. Після зменшення на 40 -70 % швидкості опорного валка його знову вводять в контакт з робочим валком, швидкість якого зменшується, а зазори в шпінделях закриваються. В цей час полосу задають у валки.

Важливим є також використання математичних моделей перехідних процесів з визначенням нових діагностичних показників і їх залежності від параметрів стану обладнання з створенням специфічних режимів прокатки.

Висновки

Викладений матеріал дозволяє стверджувати можливості успішного пошуку і розвитку способів діагностики обладнання прокатних станів в перехідних режимах роботи.

Перелік посилань

1 Диагностика и динамика прокатных станов / В. В. Веренев, В. И. Большаков, А. Ю. Путноки и др. Днепропетровск : ИМА-пресс, 2007. 144 с.

2 Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680 / В. В. Веренев, В. И. Большаков, А. Ю. Путноки и др. Днепропетровск, ИМА- пресс, 2011. 184 с.

3 Верев В. В. Снижение динамических нагрузок и диагностика широкополосных станов в переходных режимах. Никополь : СПД Фельдман О.О., 2014. 203 с.

4 Верев В. В. Динамические процессы в широкополосных станах горячей прокатки. Днепр : Літограф, 2018. 158 с.

5 Патент 70137. Україна. Спосіб визначення технічного стану устаткування крутильної системи лінії головного приводу прокатної кліті / Верев В. В. та інші. Опубл. 15. 09. 2004, Бюл. № 9.

6 Патент 124756. Україна. Спосіб діагностики лінії головного приводу валків в кліті з багатониктовою прокаткою / Верев В. В. та інші. Опубл. 10.11.2021, Бюл. № 45.

7 Патент 86640. Україна. Спосіб визначення технічного стану зубчатого зачеплення редуктора лінії приводу прокатної кліті / Верев В. В. та інші. Опубл. 12.05.2009, Бюл. № 9.

References

1 Verenev V. V., Bolshakov V. I., Putnoki A. Iu. et al. (2007). Diagnostika i dinamika prokatnykh stanov. IMA-press

2 Verenev V. V., Bolshakov V. I., Putnoki A. Iu. et al. (2011). Dinamicheskie protsessy v kletyakh shirokopolosnogo stana 1680. IMA- press

3 Verenev V. V. (2014). Snizhenie dinamicheskikh nagruzok i diagnostika shirokopolosnykh stanov v perekhodnykh rezhimakh. SPD Feldman O.O.

4 Verenev V. V. (2018). Dinamicheskie protsessy v shirokopolosnykh stanakh gorjachei prokatki. Litograf

5 Patent 70137. Ukraine. (2004). Sposib vyznachennia tekhnichnoho stanu ustatkuvannia krutylnoi systemy linii holovnoho pryvodu prokatnoi kliti. *Biul.* No. 9.

6 Patent 124756. Ukraine. (2021) Sposib diahnostryky linii holovnoho pryvodu valkiv v kliti z bahatonyktovoiu prokatkoiu. *Biul.* No.45.

7 Patent 86640. Ukraine. (2009). Sposib vyznachennia tekhnichnoho stanu zubchatoho zacheplennia reduktora linii pryvodu prokatnoi kliti. *Biul.* No. 9.

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*

DEVELOPMENT OF METHODS FOR DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF ROLLING MILL EQUIPMENT IN TRANSIENT OPERATING MODES

Abstract. Several methods for diagnosing rolling equipment in transient operating modes are presented, primarily when the strip is captured by the rolls and indicators - the time of delay in the reaction of sections, correlation fields, and the oscillation period. The directions of development and search for new methods are considered, examples of using the features of rolling and equipment operation for diagnostic purposes are given.

Key words: rolling mill, drive line, rolls, dynamic processes, vibration, technical conditions, gaps, diagnostics, lag time.

For citation: Verenev, V. V. (2024). Development of methods for diagnosing the technical condition of rolling mill equipment in transient operating modes. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 38, 362-369. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-362-369>

Стаття надійшла до редакції збірника 28.09.2024 р.
Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 12 від 19.12.2024 р.)