

## ОСОБЕННОСТИ ВИБРАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОКАТНЫХ КЛЕТЯХ

В. В. ВЕРЕНЕВ<sup>1</sup>, А. В. БАГЛАЙ<sup>2</sup>, С. В. БЕЛОДЕДЕНКО<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт черной металлургии НАН Украины им. З. И. Некрасова.

49107, г. Днепр, пл. Академика Стародубова, 1. E-mail: verenev0704@gmail.com

<sup>2</sup>ДП «Диамех-Украина». 61105, г. Харьков-105, ул. Киргизская, 19, АБК-1. E-mail: baglay@diamech.com.ua

<sup>3</sup>Национальная металлургическая академия Украины. 49600, г. Днепр, пр-т Гагарина, 4. E-mail: sergeibelo@gmail.com

При разработке систем диагностики для прокатных станов необходимо учитывать два режима работы: переходный при захвате полосы валками и установившийся во время холостого хода и прокатки. Показано, что измерение вибросигналов переходных процессов следует проводить, прежде всего, с учетом сочетаний наилучшего и наилучшего состояния шпиндельного и моторного участков линии привода. В этом случае существенно повышается достоверность определения износа и угловых зазоров в сочленениях. Диагностирование в стационарном режиме работы осуществляется так же, как и для роторных машин, в результате чего устанавливают поломки подшипников, зубчатых зацеплений и др., что не определяется при захвате полосы. Библиогр. 5, табл. 1, рис. 4.

*Ключевые слова:* прокатная клеть, линия привода, динамика, износ, зазоры, вибрация, диагностика

Существенное влияние на ударные нагрузки, формирующиеся в прокатных станах в период захвата полосы валками, оказывают угловые зазоры в сочленениях линии главного привода, зависящие от износа элементов [1]. Чем больше зазоры, тем больше, в частности, максимальное пиковое значение крутящего момента. В свою очередь динамические нагрузки оказывают отрицательное влияние на долговечность оборудования [2, 3]. Поэтому одной из актуальных задач для внедряемых на станах вибрационных диагностических систем является определение текущего состояния сочленений линии привода в части их износа и угловых зазоров.

Однако прокатные станы по технологическим и режимным условиям работы существенно отличаются от роторных машин, на которых наиболее распространено применение системы мониторинга и диагностики состояния оборудования. Поэтому поставленная в работе задача состоит в том, чтобы раскрыть особенности и закономерности изменения технического состояния совместно с ударными нагрузками в процессе длительного периода эксплуатации клетей с учетом сроков фактических ремонтных воздействий. Это позволяет определить периоды, когда результаты виброизмерений в переходных режимах захвата полосы валками приносят наибольшую диагностическую эффективность.

Первая особенность состоит в разных периодах обслуживания двух основных участков – шпиндельного и моторного (редуктор – двигатель) (рис. 1). Замену шпинделей по износу бронзовых вкладышей осуществляют через 15...60 суток в зависимости от типа и условий

работы стана. Плановое техническое обслуживание редукторов осуществляется раз в год во время капитального ремонта. Поэтому в процессе эксплуатации образуются различные сочетания технического состояния указанных двух участков, из которых выделим основные (рис. 2).

1. Нормальное (хорошее) состояние обоих участков в начальный период после капитального ремонта шестеренной клетки, редуктора, муфт, установки шпинделей с новыми бронзовыми вкладышами.

2. Максимальный износ бронзовых вкладышей в шпинделях (перед заменой) при хорошем состоянии участка редуктор – двигатель.

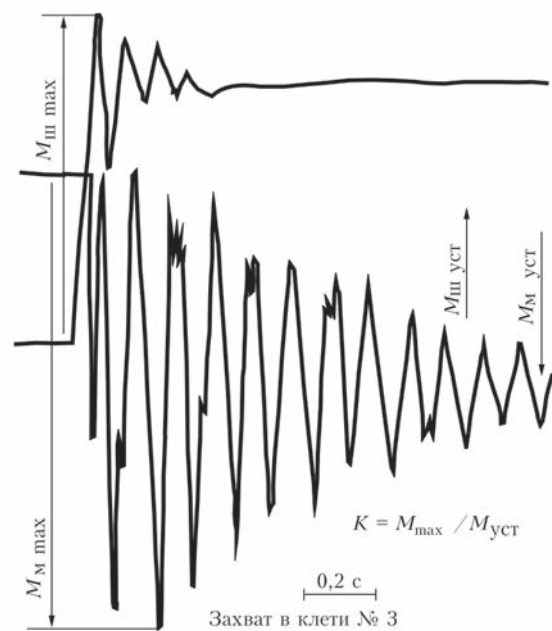


Рис. 1. Переходный процесс по моменту на шпиндельном участке (ш) и промежуточном валу (м) между двигателем и редуктором при захвате полосы валками. Стан 2000

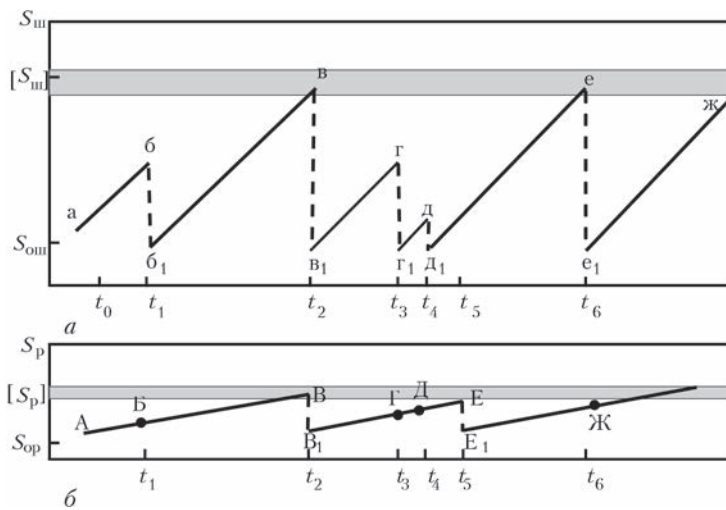


Рис. 2. Развитие износа на шпиндельном (а) и моторном (б) участках в процессе длительной эксплуатации клетки № 3 с учетом дат технического обслуживания главной линии в соответствии с таблицей.  $[S_{ш}] = 5...6$  мм допустимое значение износа бронзовых вкладышей;  $[S_p] = 1$  мм – то же для зубчатых зацеплений участка редуктор – двигатель;  $[S_0]$  – начальный зазор

3. Максимальный износ зубчатых зацеплений редуктора и муфт при установке шпинделей с новыми вкладышами (хорошее состояние шпиндельного участка).

4. Наихудшее состояние обоих участков линии привода наступает непосредственно перед капитальным ремонтом, когда их износ наибольший.

Вторая особенность состоит в следующем: а – износ и угловые зазоры на шпиндельном участке приводят к увеличению динамики как на этом участке, так и на участке редуктор – двигатель; б – износ на моторном участке влияет только на динамику этого участка.

Максимальные динамические перегрузки при захвате полосы валками оценивают коэффициент

том динамичности  $K$  (рис. 1). Результаты математического моделирования с учетом фактических дат технического обслуживания (см. таблицу) и износа согласно рис. 2 показали следующее (рис. 3). Из-за износа и образования зазоров на обоих участках их динамика во времени носит периодический пило- скачкообразный вид. Он диктуется техническим состоянием (ТС) участков. Вначале происходит постепенное увеличение коэффициента динамичности, а после замены шпинделей с изношенными вкладышами значения  $K$  резко уменьшаются.

Рассмотрим совместно графики на рис. 2 и 3 с учетом данных таблицы. После установки в момент  $t_1$  (20.03.2001 г.) шпинделей с новыми вкладышами ТС шпиндельного участка восстановилось (т. «б», рис. 2, а), динамика обоих участков уменьшилась (т. «В» и «в», рис. 2). Однако ТС моторного участка продолжало ухудшаться (линия А-Б-В, рис. 2, б). До момента  $t_2$  (29.10.2001 г.) замены шпинделей их наработка составила 8 месяцев. Динамика возрастала по линиям «В-Г» и «в-г», а износ – по «б<sub>1</sub>-в» и «Б-В». Измерения момента перед заменой шпинделей показали наибольшую динамику, что неплохо согласуется с расчетной кривой. Одновременно в момент  $t_2$  заменили входной вал и блок колес. Поэтому произошло существенное уменьшение не только  $K_{ш}$ , но и  $K_m$ .

Момент  $t_2$  интересен тем, что перед ремонтом, т. е. при  $t_2^-$ , состояние обоих участков было наихудшим (вариант 4), а после ремонта ( $t_2^+$ ) наилучшим (вариант 1). Поэтому измерения крутящего

Данные агрегатного журнала об отказах и ремонтах оборудования клетки № 3

Дата	Вид ремонта	№ клетки	Место отказа		Вид отказа	Вид восстановления	
05.12.00	Ремонт тек.	3	Шпиндели	Вкладыши	Выработка	Замена, шпиндели	
02.03.01	Ремонт тек.	3	->-	->-	->-	->-	
09.08.01	Ремонт тек.	3	->-	->-	->-	Замер, зазоры	
28.08.01	Ремонт тек.	3	->-	->-	->-	->-	
13.09.01	Ремонт тек.	3	->-	->-	->-	->-	
29.10.01	Ремонт кап.	3	Редуктор ЦД4-320	Вал входной	Зацепление правое	Трещина	Замена, вал входной
29.10.01	Ремонт кап.	3	Редуктор ЦД4-320	Блок колес	->-	Поломка 1 зуб.	Замена, блок колес
29.10.01	Ремонт кап.	3	Редуктор ЦД4-326	Вал выходной	Пш	Износ	Замер, зазоры
29.10.01	Ремонт кап.	3	Шпиндели	Вкладыши	Выработка	Замена, шпиндели	
06.03.02	Ремонт тек.	3	->-	->-	->-	->-	
23.04.02	Ремонт тек.	3	->-	Головка	Дефекты	Демонтаж	
07.05.02	Ремонт тек.	3	Редуктор ЦД4-326	Вал входной	Зацепление левое	Поломка 10 зуб.	Осмотр
23.05.02	Ремонт тек.	3	Редуктор ЦД4-320	->-	->-	Поломка	Замена, вал входной
23.05.02	Ремонт тек.	3	Редуктор ЦД4-320	Блок колес	Зацепление	Износ	Замена, блок колес
05.11.02	Ремонт тек.	3	Шпиндели	Вкладыши	Выработка	Замена, шпиндели	

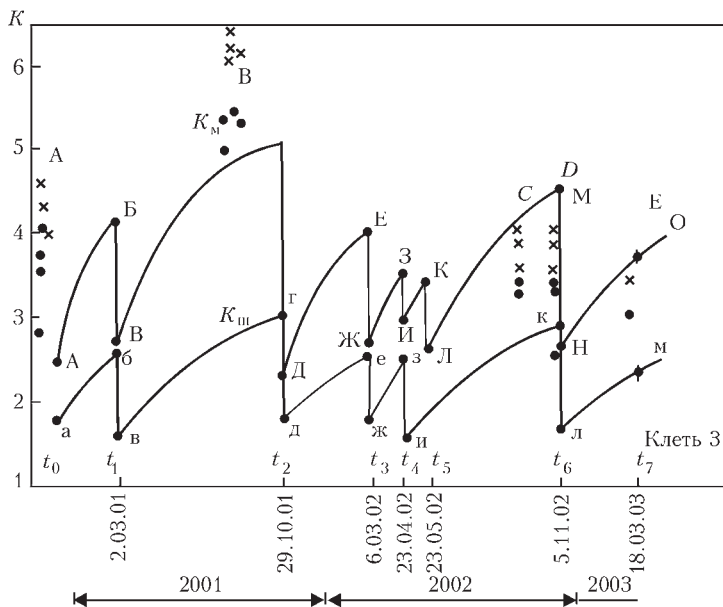


Рис. 3. Зависимость коэффициента динамичности на моторном  $K_M$  и шпиндельном  $K_{ш}$  участках во время эксплуатации клетки №3 стана 1680 с учетом дат технического обслуживания шпинделей (с заменой бронзовых вкладышей) и редуктора (замена зубчатых передач):  $\times$ ,  $\bullet$  – максимальные и средние значения  $K_M$  в разные периоды измерений

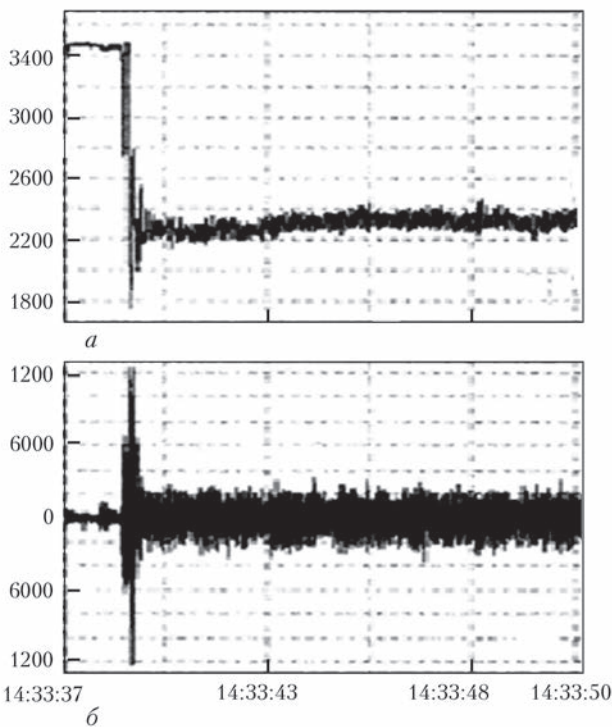


Рис. 4. Момент на промежуточном валу (а) и вибрация корпуса редуктора (б) при холостом ходе, захвате полосы валками и прокатке

момента и вибрации непосредственно перед капитальным ремонтом и сразу после него позволяют получить образцы «наихудших» и «наилучших» сигналов, связанных с ТС оборудования, а их сравнение между собой сделать правильные диагностические выводы. Очевидно, что измерения вокруг других точек  $t_i^-$  и  $t_i^+$ , отмеченных на рис. 2 и 3 также обеспечивают достаточно высокую информативность. Несмотря на то, что им со-

ответствуют промежуточные сочетания состояния участков.

В связи с изложенным предлагается вести построение текущих кусочно-линейных зависимостей согласно рис. 2, экстраполировать их во время межремонтного периода и назначать дату измерений с учетом отмеченных сочетаний ТС участков. При таком подходе к процедуре организации измерений параметров переходных процессов удастся максимально использовать весьма информативный режим захвата полосы для определения износа и угловых зазоров в сочленениях крутильной системы линии привода валков [4].

При использовании системы диагностики на прокатных станах в режиме стационарного вращения могут применяться известные методы и способы определения ТС для роторных машин. В этом случае распознается другой вид износа и неисправностей, в частности, подшипников и зубчатых зацеплений: дефекты тел качения и сепаратора, зацепления, муфт, дефекты смазки, несоосность и др. [5]. В переходных режимах эти дефекты не успевают себя проявить. В свою очередь в стационарном режиме не проявляются износ и зазоры в сочленениях линии привода, поскольку она находится в напряженном состоянии. Особые требования к условиям работы клетки здесь не предъявляются, они подобны требованиям для роторных машин: при разных частотах вращения, нагрузках, холостой и рабочий режим и др.

Таким образом, в переходном и стационарном режимах работы прокатной клетки с помощью системы диагностики решаются разные задачи. В этих режимах по разному откликаются измеряемые сигналы на возмущения, как это заметно на рис. 3. В холостом режиме перед захватом полосы вибрация отсутствовала. При захвате полосы наблюдается реакция момента и вибрации ударного вида, после захвата, т.е. под нагрузкой вибрация увеличилась.

### Выводы

1. При разработке систем диагностирования клеток прокатных станов необходимо учитывать высокую информативность переходных процессов в режимах захвата полосы валками, параметры которых тесно связаны с износом и угловыми зазорами в сочленениях линии привода.
2. Диагностические измерения вибросигналов в таком режиме наиболее эффективны прежде всего в периоды сочетаний наихудшего и наилучшего состояния шпиндельного и моторного участков, т. е. перед и после ремонтов.



3. В стационарном режиме работы клетки (холостой или рабочий) могут быть применимы известные методы и способы диагностирования для роторных машин.

4. Использование в диагностических целях переходного и стационарного режимов работы оборудования существенно расширяет и углубляет диагностику прокатных клетей и повышает ее эффективность.

**Список литературы**

1. Веренев В. В., Большаков В. И., Путноки А. Ю. и др. (2011) *Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680*. Днепропетровск, ИМА-пресс.
2. Клименко В. Н., Коновалов Л. В., Горелик В. С. (1976) *Режимы нагружения и прочность прокатных станов*. Киев, Техника.
3. Гребеник В. М., Цапко В. К. (1989) *Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надежности и долговечности)*. Справочник. Москва, Металлургия.
4. Веренев В. В., Большаков В. И., Путноки А. Ю. и др. (2007) *Диагностика и динамика прокатных станов*. Днепропетровск, ИМА-пресс.
5. Барков А. В., Баркова Н. А., Азовцев А. Ю. (2000) *Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации*. Санкт-Петербург, Изд. Центр СПбГМУ.

**References**

1. Verenev, V.V., Bolshakov, V.I., Putnoki, A.Yu. et al. (2011) *Dynamic processes in broad-strip rolling mill stands 1680*. Dnepropetrovsk, IMA-press [in Russian].
2. Klimenko, V.N., Konovalov, L.V., Gorelik, V.S. (1976) *Loading modes and strength of rolling mills*. Kiev, Tekhnika [in Russian].
3. Grebenik, V.M., Tsapko, V.K. (1989) *Reliability of metallurgical equipment (estimation of reliability and service life)*. In: Refer. book. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
4. Verenev, V.V., Bolshakov, V.I., Putnoki, A.Yu. et al. (2007) *Diagnostics and dynamics of rolling mills*. Dnepropetrovsk, IMA-press [in Russian].
5. Barkov, A.V., Barkova, N.A., Azovtsev, A.Yu. (2000) *Monitoring and diagnostics of rotary machines for vibration*. St.-Petersburg, Izd. Tsentr SPbGMU [in Russian].

**ОСОБЛИВОСТІ ВІБРАЦІЙНИХ ВИМІРІВ  
В ПРОКАТНИХ КЛІТЯХ**

В. В. ВЕРЕНЕВ<sup>1</sup>, А. В. БАГЛАЙ<sup>2</sup>, С. В. БЕЛОДЕДЕНКО<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Інститут чорної металургії НАН України ім. З. І. Некрасова.  
49107, м. Дніпро, пл. Академіка Стародубова, 1.  
E-mail: verenev0704@gmail.com

<sup>2</sup>ДП «Діамех-Україна». 61105, м. Харків-105, вул. Киргизька,  
19, АБК-1. E-mail: baglay@diamech.com.ua

<sup>3</sup>Національна металургійна академія України. 49600, м.  
Дніпро, пр-т Гагаріна, 4. E-mail: sergeibelo @ gmail.com

При розробці систем діагностики для прокатних станів необхідно враховувати два режими роботи: перехідний при захопленні смуги валками і сталий під час холостого ходу і прокатки. Показано, що вимірювання вібросигналів перехідних процесів слід проводити, перш за все, з урахуванням поєднаних найгіршого і найкращого стану шпindelного і моторного ділянок лінії приводу. В цьому випадку істотно підвищується вірогідність визначення зносу і кутових зазорів в з'єднаннях. Діагностування в стаціонарному режимі роботи здійснюється так, як і для роторних машин, в результаті чого встановлюють поломки підшипників, зубчастих зачеплень та ін., що не визначається при захопленні смуги. Бібліогр. 5, табл. 1, рис. 4.

Ключові слова: прокатна кліть, лінія приводу, динаміка, знос, зазори, вібрація, діагностика

**FEATURES OF VIBRATION MEASUREMENTS IN  
ROLLING STANDS**

V.V. VERENEV<sup>1</sup>, A.V. BAGLAI<sup>2</sup>, S.V. BELODEDENKO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Z.I.Nekrasov Institute of Ferrous Metallurgy of NASU, 1 Acad.  
Starodubov str., 49107, Dnepr. E-mail: verenev0704@gmail.com

<sup>2</sup>SC "Diamekh-Ukraine". 19 Kirgizskaya str., 61105,  
Kharkiv-105, ABK-1. E-mail: baglay@diamech.com.ua

<sup>3</sup>National Metallurgical Academy of Ukraine, 4 Gagarin Ave.,  
49600, Dnepr. E-mail: sergeibelo@g.mail.com

Development of diagnostic systems for rolling mills should take into account two operation modes: transition at strip gripping by the rolls and steady during idle-running and rolling. It is shown that measurement of vibration signals of transition processes should be conducted, primarily, allowing for the combinations of the worst and the best states of the spindle and motor sections of the drive line. In this case, the accuracy of determination of wear and clearance angles in the junctions is essentially increased. Diagnostics in the stationary operating mode is conducted similar to rotary machines. It results in finding breakage of bearings, gearing, etc. that is not determined at strip gripping. 5 Ref., 1 Table, 4 Fig.

Keywords: rolling stand; drive line, dynamics, wear, clearances, vibration

Поступила в редакцію  
21.03.2018



Інститут електросварки ім. Е.О. Патона НАН України  
НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сикорського»

Международная Ассоциация «Сварка»

**IX МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ЛУЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРКЕ  
И ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ**

9–13 сентября 2019 г., Одесса, Украина

<http://pwi-scientists.com/eng/ltwmp2019>

Тел.: (38044) 200-82-77