

ВОПРОСЫ ВИБРАЦИОННОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

В. В. ВЕРЕНЕВ¹, А. В. БАГЛАЙ², С. В. БЕЛОДЕДЕНКО³

¹Институт черной металлургии НАН Украины им. З. И. Некрасова, 49107, г. Днепр, пл. Академика Стародубова, 1.
E-mail: verenev0704@gmail.com

²ДП «Диамех-Украина», 61105, г. Харьков-105, ул. Киргизкая, 19, АКБ-1. E-mail: baglay@diamech.com.ua

³Национальная металлургическая академия Украины, 49600, г. Днепр, просп. Гагарина, 4. E-mail: sergeibelo@gmail.com

В работе показано, что при разработке системы диагностирования оборудования прокатной клети необходимо учитывать вибрационные процессы в переходных режимах работы и при установившемся процессе прокатки и холостого хода. При таком подходе существенно обогащается информационное поле для диагностических целей. Приведены примеры переходных и вибрационных процессов в оборудовании клетей. Библиогр. 5, табл. 1, рис. 4.

Ключевые слова: прокатный стан, оборудование, линия привода, переходные процессы, вибрация, диагностика

В последние два десятилетия расширяется применение средств и методов вибрационной диагностики роторных машин на прокатных станах. Станы различного типа и назначения работают в специфических условиях и при разных технологических режимах. Поэтому при внедрении известных диагностических систем необходимо учитывать конструктивные, технологические и режимные условия работы прокатного стана. Цель данной работы состоит в том, чтобы раскрыть некоторые аспекты, относящиеся к диагностированию оборудования прокатных станом.

В качестве примера рассмотрим типовой непрерывный широкополосный стан горячей прокатки (НШС г.п.) 1680. Стан состоит из последовательно расположенных пяти черновых и шести чистовых клетей. На стане прокатываются полосы толщинами 1,5...6,0 мм шириной 900...1500 мм. Исходная заготовка представляет собой сляб толщиной 140...110

мм. Каждая клеть включает два опорных и два рабочих вала, которые приводятся от электродвигателя через редуктор, шестеренную клеть и универсальные шпиндели (рис. 1). Режим работы каждой клети носит периодически повторяющийся характер и включает: *a* – захват полосы валками; *b* – установившийся процесс прокатки на постоянной скорости; *в* – выброс полосы из валков; *г* – холостой ход.

Рассмотрим более подробно первые два режима. Особенность процесса захвата полосы валками заключается в том, что он носит ударный характер нагружения, в результате которого во всем оборудовании клети и линии привода формируются затухающие колебательные процессы (рис. 2, 3) [1]. Длительность переходных процессов весьма незначительная (до 0,8...1,0 с), однако они обладают существенной информативностью. Это связано не только с быстрым нагружением, но и действием

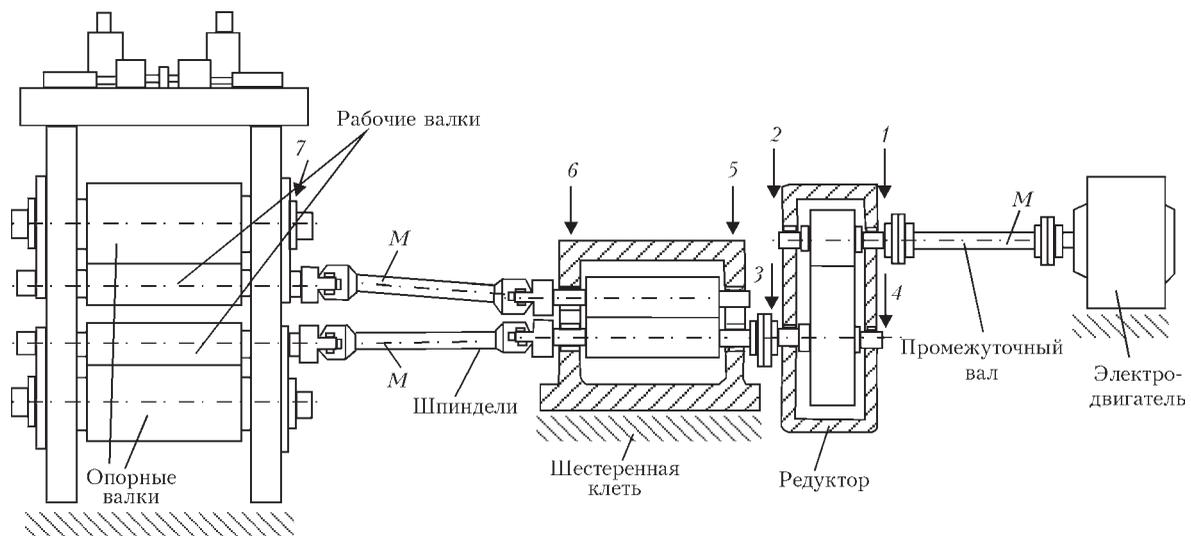


Рис. 1. Схема прокатной клети и линии привода валков (оси передач редуктора расположены в горизонтальной плоскости): М и ↓ – точки измерения момента и вибрации

© В. В. Веренев, А. В. Баглай, С. В. Белодеденко, 2018

Возмущающие факторы, влияющие на вибродинамические процессы в двух режимах работы прокатной клетки

Режим захвата полосы валками		Установившийся режим	
1	Износ (зазоры) в сочленении «шпиндель-рабочий валок»	1	Поломка и износ зубчатых зацеплений
2	Износ (зазоры) в зубчатом зацеплении шестеренной клетки редуктора	2	Поломка и износ в подшипниковых опорах валов шестеренной клетки и редуктора
3	Износ подшипниковых опор	3	Поломки подшипников рабочих и опорных валков.
4	Зазор между опорами валков и станиной	4	Эксцентриситет бочки валков
5	Ослабление крепежных болтов шестеренной клетки и редуктора	5	Биение шпинделей
Длительность колебаний до 0,8..1,0 с		6	Разнотолщинность полосы.
		Длительность колебаний 10...30 с и более	

ряда сопутствующих возмущающих факторов, связанных с износом оборудования (таблица).

Так, в крутильной системе главного привода коэффициент динамичности K достигает значений 3,5...5,0 при развитом износе бронзовых вкладышей универсальных шпинделей и 1,8...2,5 при новых вкладышах [1]. Подобные систематические перегрузки, несмотря на кратковременное действие, отрицательно сказываются на ресурсе работы оборудования [2]. Поэтому одна из важных задач состоит в определении текущего технического состояния (износа, зазоров) шпиндельного сочленения. В настоящее время они непосредственно во время работы стана не измеряются. Замену шпинделей производят по результатам замеров износа бронзовых вкладышей во время остановки стана в связи с

перевалкой рабочих валков или согласно плановым ремонтным срокам, определяемым на основе опыта эксплуатации.

Частота и амплитуда колебаний оборудования в переходный период зависят также от износа зубчатых зацеплений шестеренной клетки, редуктора и муфт, от зазоров в подшипниковых опорах и между подушками валков и станиной клетки.

На основании опытно-промышленных экспериментальных измерений на шести НШС г. п. и

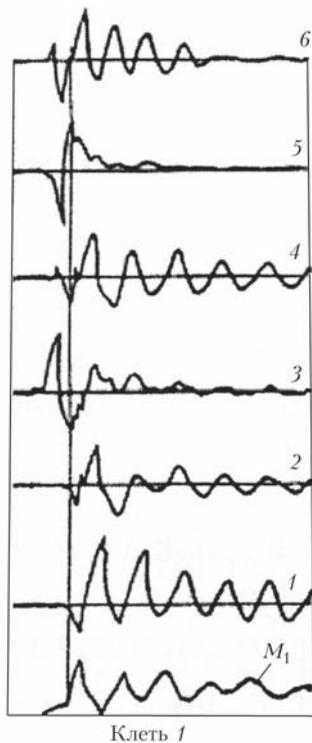


Рис. 2. Момент M_1 сил упругости на промежуточном валу между двигателем и редуктором и вибрация корпуса шестеренной клетки и редуктора: 1, 2 – опоры быстроходного вала; 3, 4 – опоры; 5, 6 – опоры шестеренных валков. Клеть № 1 стана 1680

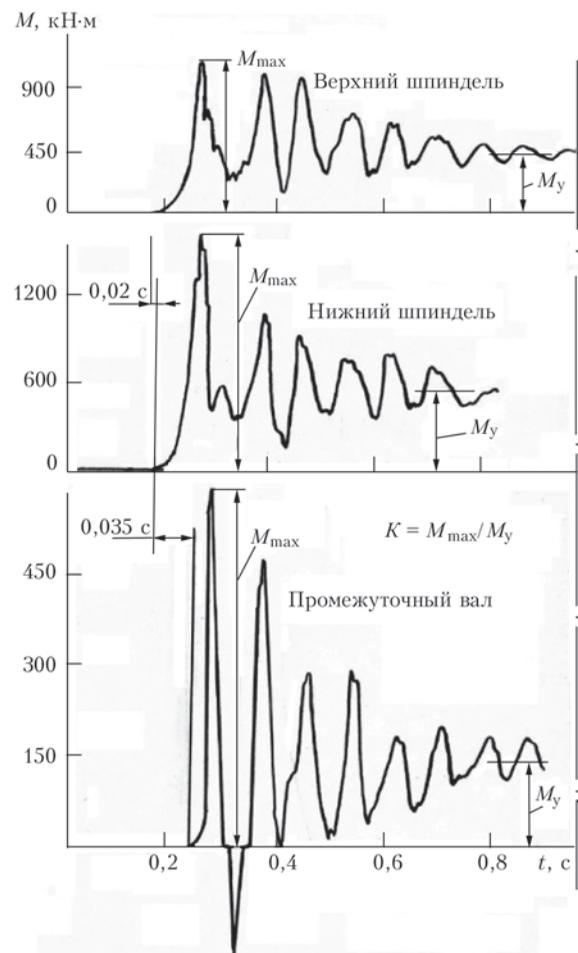


Рис. 3. Переходной процесс по моменту сил упругости на шпинделях и промежуточном валу при захвате полосы валками. Клеть № 5 стана 1700

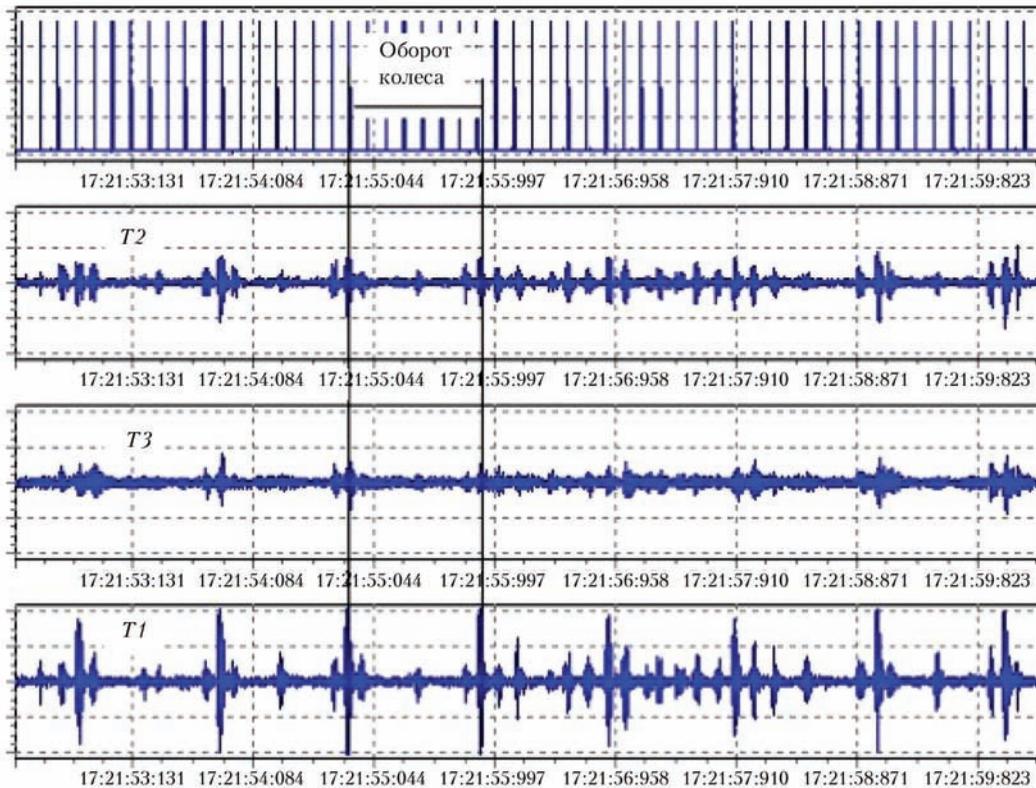


Рис. 4. Характер вибраций в точках 1, 2 и 3 (рис. 1) во время холостого хода при наличии дефекта в т. 1

математического моделирования установлен ряд особенностей переходных процессов [1].

1. Чем больше износ и угловой зазор в шпindelном сочленении, тем больше коэффициент динамичности в линии привода.

2. В процессе эксплуатации клетей вид колебаний момента на валу между двигателем и редуктором существенно изменяется от типового затухающего осциллятора до появления обратных ударов после одного-двух пиков колебаний (рис. 3) при уменьшении их частоты.

3. Наблюдается взаимосвязь момента и вибрации корпусного оборудования вдоль линии привода (рис. 2). Она состоит в том, что при хорошем (начальном) состоянии оборудования низшая частота крутильных колебаний четко проявляется в вибрации, а при увеличении износа, например, подшипниковых опор редуктора, проявляется высокочастотная составляющая.

4. Происходит запаздывание реакции участков линии привода на ударное приложение нагрузки к валкам тем большее, чем больше износ в сочленениях (рис. 3).

5. С увеличением износа опорных подушек валков увеличиваются удары между подушкой и станиной [3].

В работе [4] показано каким образом параметры переходных процессов, обусловленные захватом полосы валками, используются в диагностических целях.

Установившийся режим прокатки длится 10...30 с и более в зависимости от типа стана. В отличие от

режима захвата здесь действуют другие возмущения со стороны оборудования (таблица). Характер их вибрационного проявления во многом идентичен тем, которые изучены для роторных машин. Например, приведенный на рис. 4 вид существенного ударного вибрационного процесса в т. 1 редуктора, где имелся дефект в подшипнике, близок к известным примерам из публикации [5]. Поэтому для режимов работы с нагрузкой и без нагрузки приемлемы известные и опробованные способы и методы диагностирования при постоянной частоте вращения механизма.

Клетки широкополосных станов по конструктивному решению идентичны и отличаются величиной передаточного отношения редуктора. Частота вращения валков от клетки к клетке увеличивается. Особенность технологического режима состоит в том, что захват полосы валками осуществляется на скорости холостого хода при небольшом (0,5 %) падении ее после нагружения линии привода. Существенное значение для прокатных станов имеет то, что путем сравнения вибрационных процессов в идентичных точках оборудования одной клетки, а также между клетями в режимах работы под нагрузкой и без нагрузки повышается достоверность диагностических выводов.

В результате представленных материалов приходим на первый взгляд к тривиальному выводу – вибрационные процессы в идентичных точках оборудования в переходном и установившемся режимах существенно отличаются. Однако вместе с этим существенно отличаются и возмущающие

факторы. Последние, в свою очередь, тесно связаны с техническим состоянием оборудования. Рассмотренные режимы в информативном отношении (в части вибрации) дополняют и обогащают друг друга. Например, в режиме *б* задача определения зазора в шпиндельном сочленении не решается, однако решается в режиме *а*; не решается в режиме *а* задача определения поломки зуба в зацеплениях, но решается в режимах *б* и *г*.

Диагностической информацией обладают также режимы выброса полосы из валков и не отмеченные в таблице: разгон и торможение стана, прокатка сварных соединений, взаимодействие смежных клетей через прокатываемую полосу, когда в первой клетке наступает установившийся режим прокатки, а в следующей происходит захват полосы валками. Учет этих режимов существенно наполняет вибрационную информацию о состоянии оборудования и технологии прокатки и повышает эффективность применения систем диагностики.

Выводы

1. Вибрационные процессы в оборудовании прокатных станов существенно различаются при захвате полосы валками и в режиме прокатки в части информативности о состоянии оборудования.

2. При разработке систем вибрационной диагностики, предназначенных для прокатных станов, учет не только режимов захвата и прокатки, но и таких, как выброс полосы из валков, взаимодействие клетей, разгон и торможение стана, прокатка сварных соединений позволяет полностью использовать в диагностических целях все информационное богатство вибрационных сигналов.

3. Дополнительно требуется разработка способов, методов и алгоритмов диагностирования и распознавания технического состояния оборудования по параметрам переходных процессов, некоторые из которых изложены в работе [4].

Список литературы

1. Веренев В. В. (2014) *Снижение динамических нагрузок и диагностика широкополосных станов в переходных режимах*. Никополь, СПД Фельдман О.О.
2. Гребеник В. М., Цапко В. К. (1989) *Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надежности и долговечности)*. Справочник. Москва, Металлургия.
3. Усуги Т., Каяси К. (2005) Устройство для демпфирования горизонтальных ударных нагрузок и вибрации клетки на стане горячей прокатки. *Бюлл. «Черная металлургия»*, **6**, 52–55.
4. Веренев В. В., Большаков В. И., Путники А. Ю. и др. (2007) *Диагностика и динамика прокатных станов*. Днепропетровск, ИМА-пресс.
5. Генкин М. Д., Соколова А. Г. (1987) *Виброакустическая диагностика машин и механизмов*. Москва, Машиностроение.

References

1. Verenev, V.V. (2014) *Lowering of dynamic loads and diagnostics of wide-plate mills in transition modes*. Nikopol, SPD Feldman [in Russian].
2. Grebenik, V.M., Tsapko, V.K. (1989) *Reliability of metallurgical equipment (assessment of operational reliability and fatigue life): Refer. book*. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
3. Usugi, T., Kayasi, K. (2005) Device for damping horizontal shock loads and stand vibration in a hot rolling mill. *Bull. Chyorn. Metallurgiya*, **6**, 52-55 [in Russian].
4. Verenev, V.V., Bolshakov, V.I., Putniki, A.Yu. et al. (2007) *Diagnostics and dynamics of rolling mills*. Dnepropetrovsk, IMA-press [in Russian].
5. Genkin, M.D. (1987) *Vibroacoustic diagnostics of machines and mechanisms*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].

В. В. ВЕРЕНЕВ¹, А. В. БАГЛАЙ², С. В. БЕЛОДЕДЕНКО³

¹Інститут чорної металургії НАН України ім. З. І. Некрасова, 49107, м. Дніпро, пл. Академіка Стародубова, 1.

E-mail: verenev0704@gmail.com

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

³Національна металургійна академія України. 49600, м. Дніпро, просп. Гагаріна, 4.

E-mail: sergeibelo@gmail.com

ПИТАННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ПРОКАТНИХ СТАНІВ

В роботі показано, що при розробці системи діагностування обладнання прокатної кліти необхідно враховувати вібраційні процеси в перехідних режимах роботи і при сталому процесі прокатки і холостого ходу. При такому підході істотно збагачується інформаційне поле для діагностичних цілей. Наведені приклади перехідних і вібраційних процесів в обладнанні клітей. Бібліогр. 5, табл. 1, рис. 4.

Ключові слова: прокатний стан, обладнання, лінія приводу, перехідні процеси, вібрація, діагностика

ISSUES OF VIBRATION DIAGNOSIS OF ROLLING MILL EQUIPMENT

V.V.VERENEV¹, A.V.BAGLAI², S.V.BELODEDENKO³

¹Z.I.Nekrasov Institute of Ferrous Metallurgy of the NAS of Ukraine, 1 Akademik Starodubov sq., 49107, Dnepr. E-mail: verenev0704@gmail.com

²SC «Diamekh-Ukraine», 19, Kyrgyzka str., Kharkiv, 61105, АКБ-1. E-mail: baglay@diamech.com.ua

³National Metallurgical Academy of Ukraine, 4 Gagarina Ave., 49600, Dnepr, Ukraine. e-mail: segeibelo@gmail.com

The study shows that vibration processes in transition operating modes and at the steady-state process of rolling and idle run of the mill should be taken into account at development of the system for diagnosis of rolling stand equipment. With such an approach, the information field for diagnostic purposes is significantly enriched. Examples of transition and vibration processes in the stand equipment are given. 5 References, 1 Table, 4 Figures.

Keywords: rolling mill, equipment, drive line, transition processes, vibration, diagnostics

Поступила в редакцію
21.04.2018