УДК 621.771.065 DOI: http://dx.doi.org/10.15407/tdnk2019.01.07

ВИБРАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА РЕДУКТОРА ШИРОКОПОЛОСНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА 1680

А.В. Баглай[1], М.М. Кипин[1], М.А. Дубина[2]

[1]ГП «ДИАМЕХ-УКРАИНА». 61105, г. Харьков, ул. Киргизская, 19, АБК-1. E-mail: baglay@diamech.com.ua

[2]ПАО «Запорожсталь». 69008, г. Запорожье, Южное шоссе, 72

С помощью внедренной вибродиагностической системы во всех клетях стана 1680 комбината «Запорожсталь» выполняется контроль технического состояния подшипниковых опор электродвигателей, редукторов и шестеренных клетей, а также зубчатых зацеплений. Даны общие сведения о системе. Приведены первые результаты диагностического анализа вибрационных сигналов и примеры обнаружения зарождающихся дефектов подшипников редуктора клетей 3 и 8, подтвержденные последующим предупредительным ремонтным воздействием. Библиогр. 3, рис. 11.

Ключевые слова: непрерывный прокатный стан 1680, горячая прокатка, система диагностики, вибрация, подшипники, повреждения

На отечественных металлургических комбинатах все шире внедряются системы диагностики механического оборудования [1]. Известно, что на комбинате им. Ильича для этих целей используется комплекс переносных приборов различного назначения. Имеются сведения об эффективности их применения в части предупреждения поломок [2].

На непрерывном широкополосном стане горячей прокатки 1680 ПАО «Запорожсталь» в период 2016–2017 гг. установлена отечественная стационарная система вибромониторинга и диагностики «Прокат». Основу ее составляет система контроля технического состояния (СКТС) «КОРУНД» производства компании «ДИАМЕХ». Отличительной особенностью СКТС является: возможность непрерывной записи сигнала (до 180 с); разрешающая способность спектра до 25600 линий; статистический анализ переходных и установившихся режимов прокатки; автоматизированная диагностика и совместимость с ORACLE SQL (рис. 1).

Целью создания СКТС электродвигателей, силовых редукторов и шестеренных клетей на стане являлось построение современной многоуровневой масштабируемой системы, выполняющей анализ параметров работы оборудования и диагностику на основании измерений вибрационных сигналов и непрерывный мониторинг работоспособности данного оборудования.

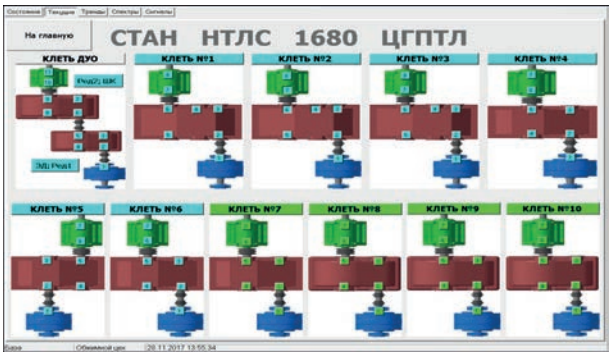


Рис. 1. Схема расположения датчиков вибрации в точках *1 – 11* линий привода клетей стана 1680 с цветовой индикацией: зеленый цвет транспарантов – показания в установившемся режиме прокатки; голубой – в режиме холостого хода

© А.В. Баглай, М.М. Кипин, М.А. Дубина, 2019

Стан состоит из последовательно расположенных пяти черновых и шести чистовых клетей (рис. 1). 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 валка, которые приводятся от электродвигателя через редуктор, шестеренную клеть и универсальные шпиндели (рис. 2). Режим работы каждой клети носит периодически повторяющийся характер и включает: холостой ход, захват полосы валками; установившийся процесс прокатки на постоянной скорости; выброс полосы из валков; холостой ход [3].

Каждая клеть оснащена от 7 до 11 датчиками, установленными на корпусном оборудовании. Места их расположения выбраны таким образом, чтобы можно было диагностировать подшипники и зубчатые зацепления муфт, редукторов и шестеренных клетей (рис. 1). Всего на клетях стана установлено 87 датчиков вибрации типа АС-104-1А,

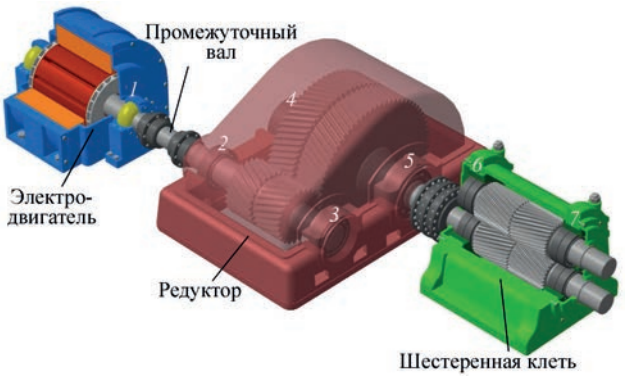


Рис. 2. Схема и линии привода валков прокатной клети: *1–7* – точки установки датчиков вибрации

(виброускорение, виброскорость) с определением пик-фактора и эксцесса.

Задача данного сообщения состоит в том, чтобы привести первые положительные результаты эксплуатации системы.

Для удобства оперативного реагирования эксплуатационного персонала цеха на показания системы в программе реализована сигнализация по средним значениям основных вибрационных параметров согласно рис. 3 (*A* – виброускорение, м/с^2, диапазон частот 2…10000 Гц; *V* – виброскорость, мм/с, диапазон частот 2…1000 Гц). Дополнительно контролируются: пик-фактор, эксцесс и виброускорение в 3-х диапазонах.

Усредненные значения вибрационных параметров по каждой точке контроля отображаются на экране монитора с учетом специфики прокатного производства: Час1 – среднее значение за 1 ч от текущего времени; Час2 – среднее значение за 2 ч от текущего времени; Сут – среднее значение за сутки.

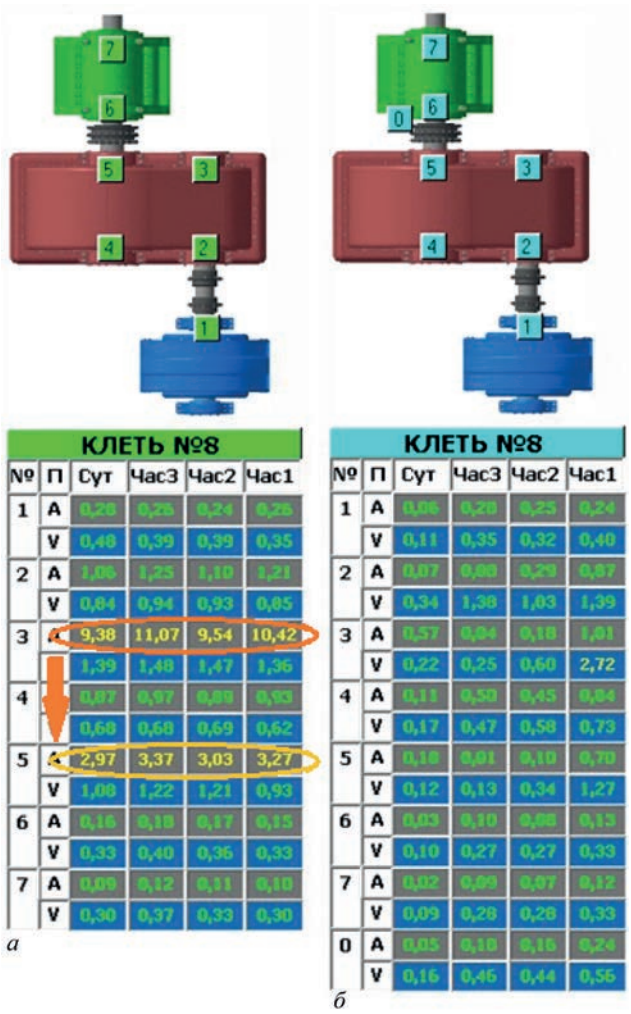


Рис. 3. Отображение вибросостояния узлов клети 8: *а* – до ремонта; *б* – после ремонта (установлен дополнительный датчик на шестеренной клети). Подшипник № 3: 97773 – рост виброускорения и его влияние на сопредельный подшипник № 5 (указано стрелкой)

Нормирование вибрационных параметров предусмотрено для двух режимов работы оборудования: установившийся процесс прокатки на постоянной скорости и холостой ход.

По результатам промышленной эксплуатации системы «ПРОКАТ» выявлена неисправность подшипника серии 97773 установленного на ведущем валу редуктора клети 8 (точка 3 на рис. 2). Подшипник является роликовым, коническим, двухрядным, с внутренним дистанционным кольцом. Угол контакта, по которому воспринимается нагрузка, составляет 10…17°. Допустимая радиальная нагрузка у двухрядных подшипников в 1,7 раза выше, чем у аналогичных однорядных. Заданный зазор обеспечивается подшлифовыванием дистанционного кольца, установленного между внутренними кольцами. Основное предназначение подобной конструкции – восприятие значительных комбинированных нагрузок (в том числе двухсторонних осевых) при жесткой фиксации и малых оборотах.

На подшипнике № 3 (рис. 2 – задний подшипник быстроходного вала редуктора) клети 8 длительный промежуток времени наблюдался высокий уровень виброускорения (порядка 10 м/с^2), на сопредельном подшипнике № 5 также имеет место повышенный уровень порядка 3 м/с^2 (рис. 3). Спектральный состав проблемного подшипника показывает (рис. 4), что в спектре доминирует высокочастотная составляющая (на частотах зацепления зубчатой пары силового редуктора и ее гармониках 2,2…10,2 кГц), а также присутствуют подшипниковые частоты (0,02…2,2 кГц), которые смещаются во времени в связи с изменением скорости проката и наличием периодических ударных нагрузок.

На основании данной информации при проведении ближайшего плавно-предупредительного ремонта (ППР) были запланированы следующие ремонтные работы по редуктору:

– проверить состояние рабочих поверхностей зубьев зубчатой пары силового редуктора;

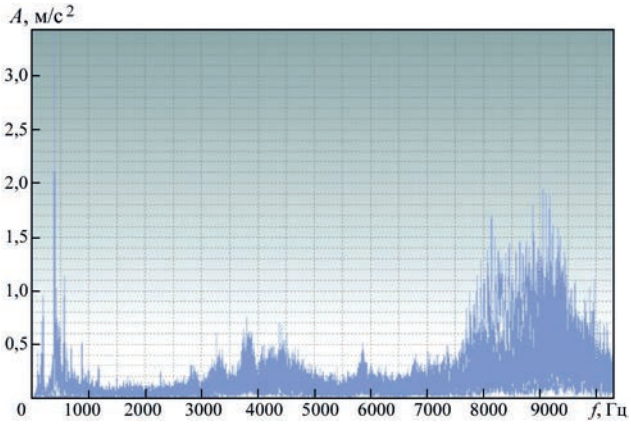


Рис. 4. Спектр виброускорения подшипника № 3 до ремонта. Клеть 8

– вести ревизию подшипника № 3 редуктора.

Результаты ремонтных воздействий. По результатам вскрытия корпуса редуктора был обнаружен дефект роликового двухрядного подшипника № 3: 97773 – повреждение внутреннего дистанционного кольца (рис. 5).

Ввиду ограничения времени на ремонтные воздействия, была произведена замена быстроходного вала редуктора с установкой новых подшипников.

На рис. 3 в таблице представлены средние значения вибрационных параметров до и после выполнения ремонта: как видно из показаний, на подшипниках № 3 и № 5 наблюдается низкий уровень виброускорения порядка 0,57 м/с^2 и 0,18 м/с^2 соответственно. Спектр виброускорения на подшипнике № 3 клети 8 после его замены существенно изменился (рис. 6).

По результатам мониторинга на подшипнике № 5 клети 6 наблюдается плавный рост виброускорения от 2,6 до 3,04 м/с^2, при этом значение виброскорости находится в пределах нормы и составляет 0,7 мм/с (рис. 7). В связи с этим была выдана рекомендация ремонтной службе произвести ревизию подшипника № 5 редуктора при проведении ближайшего ППР. В результате осмотра данного подшипника выявлен дефект сепаратора и принято решение о его замене (рис. 8).

После замены подшипника 97770 уровень виброускорения снизился до нормативного значения 0,15 м/с^2, приоритет – бездефектное эксплуатационное состояние.

Тренд виброускорения подшипника № 5 клети 6 до технического обслуживания и после замены подшипника, представленный на рис. 9, подтвердил правильность действий.

Тренд виброускорения подшипника № 4 (клеть 4, черновая группа) на рис. 10, указывает на то, что вибросостояние данного узла превышает нормативное значение (ОУ: > 2,8 м/с², пик) и имеет приоритет – требует принятия мер.

При выполнении ревизии подшипника № 4 редуктора клети 4 был обнаружен проворот подшипника и выполнена его замена, после чего тренд вибрации фиксирует снижение уровня виброускорения приблизительно в 3 раза (рис. 10).

В системе предусмотрена возможность при необходимости переставлять датчики, устанавливать дополнительные и анализировать их сигналы. В частности, на шестеренных клетях клетей 5 и 8 выполнен монтаж дополнительных датчиков вибрации в аксиальном направлении для контроля осевых нагрузок со стороны ведомого вала ре-

Рис. 5. Подшипник 97773. Повреждение внутреннего дистанционного кольца. Клеть 8

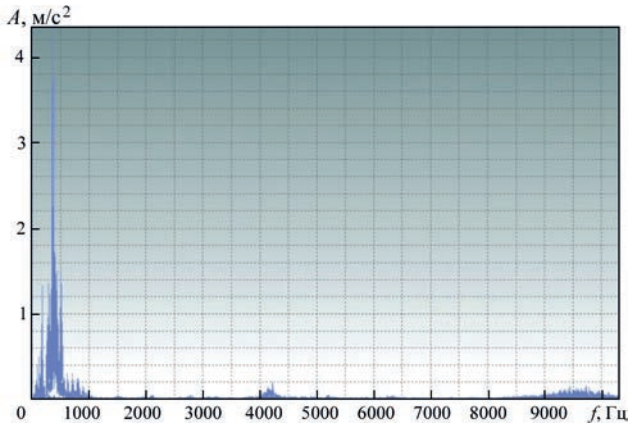
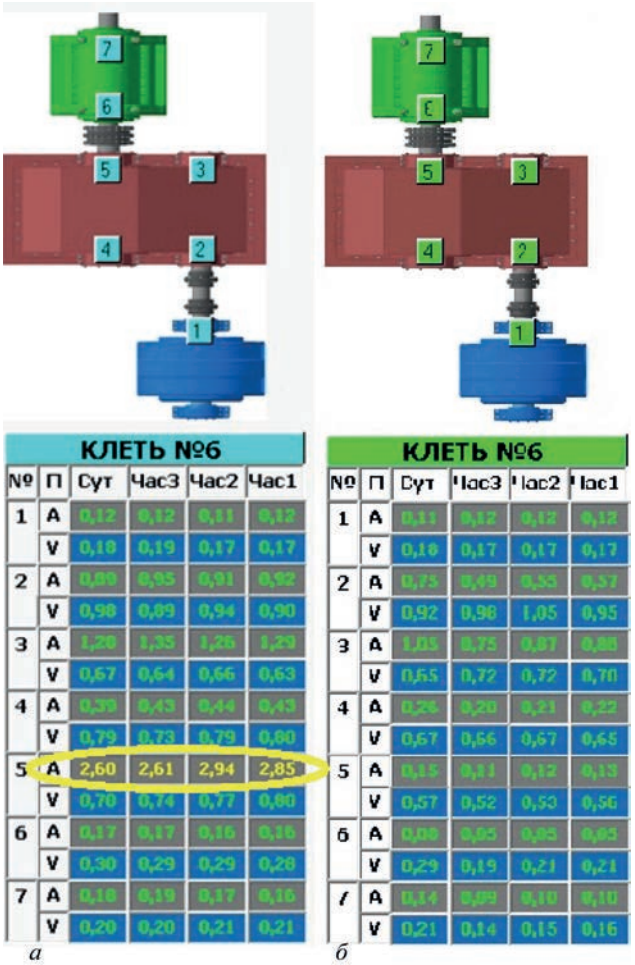


Рис. 6. Спектр виброускорения подшипника № 3 после ремонта. Клеть 8



КЛЕТЬ №6

№	П	Сут	Час3	Час2	Час1
1	A	0,12	0,12	0,11	0,12
	V	0,18	0,19	0,17	0,17
2	A	0,80	0,85	0,91	0,92
	V	0,98	0,89	0,94	0,90
3	A	1,20	1,35	1,26	1,29
	V	0,67	0,64	0,66	0,63
4	A	0,39	0,43	0,44	0,43
	V	0,79	0,73	0,79	0,80
5	A	2,60	2,61	2,94	2,85
	V	0,70	0,74	0,77	0,80
6	A	0,17	0,17	0,16	0,16
	V	0,30	0,29	0,29	0,28
7	A	0,18	0,19	0,17	0,16
	V	0,20	0,20	0,21	0,21

а

КЛЕТЬ №6

№	П	Сут	Час3	Час2	Час1
1	A	0,11	0,12	0,12	0,12
	V	0,18	0,17	0,17	0,17
2	A	0,75	0,49	0,55	0,57
	V	0,92	0,96	1,05	0,95
3	A	1,05	0,75	0,87	0,88
	V	0,65	0,72	0,72	0,70
4	A	0,28	0,20	0,21	0,22
	V	0,67	0,66	0,67	0,65
5	A	0,15	0,11	0,12	0,13
	V	0,57	0,52	0,53	0,56
6	A	0,08	0,05	0,05	0,05
	V	0,29	0,19	0,21	0,21
7	A	0,14	0,09	0,10	0,10
	V	0,21	0,14	0,15	0,16

б

Рис. 7. Вибросостояние узла подшипника № 5 (ОУ: > 2,2 м/с², пик), требует принятия мер. Клеть 6: *а* – до ремонта; *б* – после ремонта

Рис. 8. Подшипник 97770. Повреждение сепаратора. Клеть 6

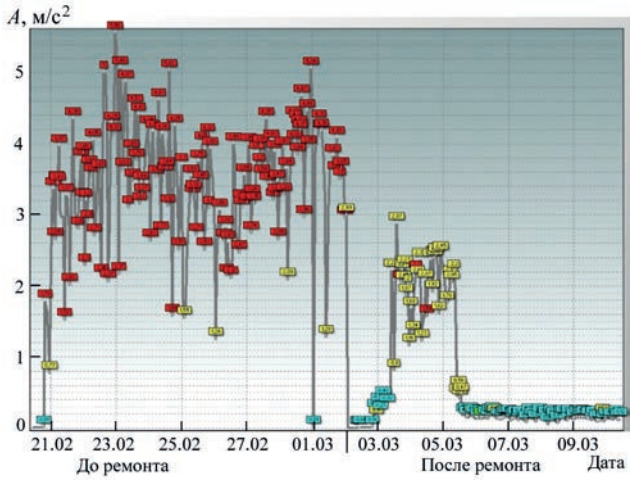


Рис. 9. Тренд виброускорения подшипника № 5 до и после ремонта. Клеть 6, 2018 г.

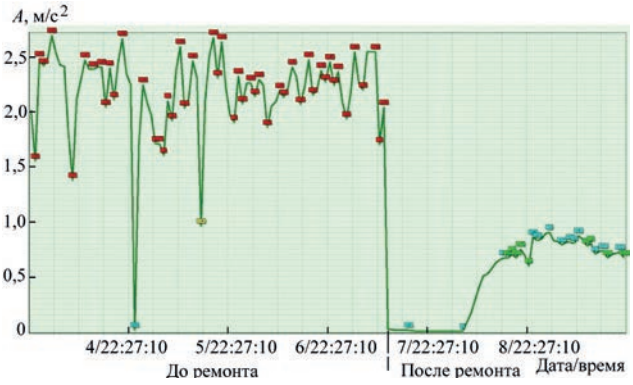


Рис. 10. Тренд виброускорения подшипника № 4 до и после ремонта. Клеть 4, июнь 2018 г.

дуктора. В качестве эксперимента на прокатные стойки клети 7 установлены дополнительно 4 датчика вибрации для контроля подшипников верхних и нижних пар рабочих и опорных валков. Это позволит определить возможность проведения гарантированного мониторинга и диагностики ответственных узлов валковой системы.

Экономический эффект от внедрения системы «ПРОКАТ» в цехе ЦГПТЛ по результатам превентивных ремонтов силовых редукторов за 7 месяцев эксплуатации, составил половину стоимости затрат на ее приобретение.

Эффективность работы системы дает основание полагать, что затраты на ее дальнейшее развитие и монтаж дополнительных каналов контроля

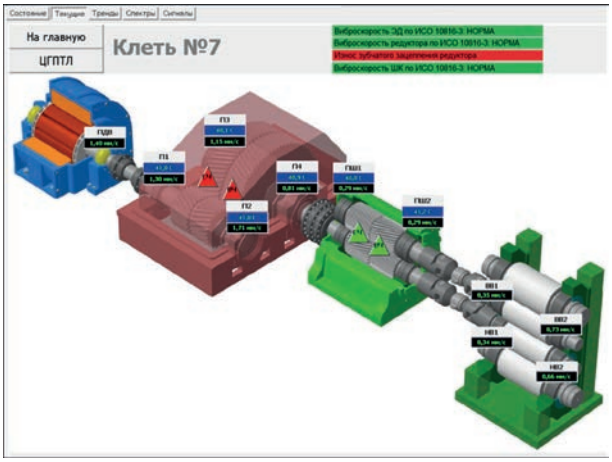


Рис. 11. Клеть 7: визуализация на мониторе АРМ текущих значений вибросостояния клети по виброскорости (ОУ, мм/с, СКЗ), температуре подшипников и результатам автоматической диагностики системы

вибрации на стойки прокатных валков, окупятся в кратчайшие сроки и позволят персоналу оперативно следить за техническим состоянием оборудования прокатного стана.

Выводы

1. Система «ПРОКАТ», установленная на всех одиннадцати клетях непрерывного широкополосного стана 1680 выполняет непрерывный мониторинг технического состояния подшипниковых опор, электродвигателей, редукторов, шестеренных клетей и зубчатых зацеплений, распознает зарождающиеся дефекты. Система построена таким образом, что в любой момент времени работы стана обслуживающий и управленческий персонал цеха могут наблюдать значения виброускорения и скорости во всех узлах в рабочем и холостом режимах вращения и в случае необходимости принимать соответствующие решения.

2. Экономический эффект основанный на результатах превентивных ремонтов силовых редукторов за 7 месяцев эксплуатации системы «ПРОКАТ», составил половину стоимости затрат на ее приобретение.

Список литературы

1. Веренев В.В., Большаков Б.И., Путноки А.Ю. и др. (2007) *Диагностика и динамика прокатных станов.* Днепропетровск, ИМА-пресс.
2. Веренев В.В., Баглай А.В., Белодеденко С.В. (2018) Особенности вибрационных измерений в прокатных клетях. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, **3**, 43–46.
3. Веренев В.В., Баглай А.В., Белодеденко С.В. (2018) Вопросы вибрационного диагностирования оборудования прокатных станов. *Там же,* **2**, 59–62.

References

1. Verenev, V.V., Bolshakov, B.I., Putnoki, A.Yu. et al. (2007) *Diagnostics and dynamics of rolling mills*. Dnepropetrovsk, IMA-press [in Russian].

2. Verenev, V.V., Baglai, A.V., Belodedenko, S.V. (2018) Features of vibration measurements in rolling stands. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **3**, 43-46 [in Russian].
3. Verenev, V.V., Baglai, A.V., Belodedenko, S.V. (2018) Issues of vibration diagnosis of rolling mill equipment. *Ibid*., **2**, 59–62 [in Russian].

ВІБРАЦІЙНА ДІАГНОСТИКА РЕДУКТОРА ШИРОКОСМУГОВОГО ПРОКАТНОГО СТАНУ 1680

А.В. Баглай[1], М.М. Кіпін[1], М.А. Дубіна[2]

[1]ДП «ДІАМЕХ-УКРАЇНА». 61105, м. Харків, вул. Киргизська, 19, АБК-1. E-mail: baglay@diamech.com.ua
[2]ПАТ «Запоріжсталь». 69008, м. Запоріжжя, Південне шосе, 72

За допомогою впровадженої вібродіагностичної системи у всіх клітях стану 1680 комбінату «Запоріжсталь» виконується контроль технічного стану підшипникових опор електродвигунів, редукторів та шестеренних клітей, а також зубчастих зчеплень. Надано загальні відомості про систему. Наведено перші результати діагностичного аналізу вібраційних сигналів і приклади виявлення дефектів, що зароджуються у підшипниках редуктора клітей 3 і 8, підтверджені подальшим попереджувальним ремонтним впливом. Бібліогр. 3, рис. 11.

Ключові слова: безперервний прокатний стан 1680, гаряча прокатка, система діагностики, вібрація, підшипники, пошкодження

VIBRATIONAL DIAGNOSTICS OF A REDUCER OF WIDE-BAND ROLLING MILL 1680

A.V. Baglai[1], M.M. Kipin[1], M.A. Dubina[2]

[1]SC «DIAMEKH-UKRAINA». ABK-1, 19 Kirgizskaya Str., 61105, Kharkov, Ukraine. E-mail: baglay@diamech.com.ua
[2]PJSC «Zaporozhstal». 72 Yuzhnoje Rd., 69008, Zaporozhje, Ukraine

The introduced vibrodiagnostic system is used in all the stands of 1680 mill of «Zaporozhstal» works for control of the technical condition of electric motor bearing supports, reducers and gear stands, as well as gearing. General information about the system is provided. The paper gives the first results of diagnostic analysis of vibration signals and examples of detection of initiating defects in bearings of the reducer of stands 3 and 8, which were confirmed by subsequent preventive repair operations. 3 Ref., 11 Fig.

Keywords: continuous rolling mill 1680, hot rolling, diagnostic system, vibration, bearings, damage

Поступила в редакцию
10.12.2018

Конференция-выставка

«НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ-2019»

Группа компаний «Ассоциация «ОКО» традиционно проводит ежегодную конференцию-выставку «Неразрушающий контроль-2019», которая состоится 15 - 16 мая 2019 г. в Киеве. Конференция нацелена на работу по обмену информацией о достижениях в области средств неразрушающего контроля, методических разработок, а также на определение перспективных путей сотрудничества при создании новой техники и технологий, установление и развитие деловых контактов.

Участникам конференции будут представлены разработки по неразрушающему контролю в следующих отраслях:

- **железная дорога (вагонное, локомотивное и путевое хозяйство);**
- **атомная и тепловая энергетика;**
- **нефтегазовая отрасль и трубопроводный транспорт;**
- **авиастроение и техническое обслуживание летательных аппаратов;**
- **металлургия;**
- **машиностроение;**
- **организация обучения и сертификации персонала по неразрушающему контролю металлов в соответствии с международными стандартами.**

На специализированной выставке будут представлены приборы и установки неразрушающего контроля, разработанные и произведенные предприятиями «Ассоциации «ОКО»: НПФ «Ультракон-сервис», НПФ «Промприлад», УкрНИИНК (Украинский научно-исследовательский институт неразрушающего контроля).

Приглашаем специалистов в области НК посетить конференцию-выставку «Неразрушающий контроль-2019». Участники конференции смогут выступить с сообщениями по актуальным проблемам неразрушающего контроля и принять участие в обсуждении докладов. Участие в данной конференции-выставке будет полезным как для наших постоянных партнеров, так и для тех, кто посетит ее впервые. Это станет началом плодотворного и взаимовыгодного сотрудничества.

Место проведения конференции: г. Киев, ул. Набережно-Луговая, 8.

Больше информации на сайте конференции: **www.ndt.com.ua/conf**

По вопросам участия просим обращаться в оргкомитет:

Кубрак Лилия Нугзаровна
E-mail: lia-lia_2004@mail.ru
тел./факс: (044) 531-37-27, 531-37-26
тел. моб.: (067) 858-98-53