

6. Stanova E., Fedorko G., Fabian M., Kmet S. Computer modelling of wire strands and ropes Part I: Theory and computer implementation // *Advances in Engineering Software*. 2011. – Vol. 42. – P. 305–315.

7. MA Jun, GE Shi-rong, ZHANG De-kun. Distribution of wire deformation within strands of wire ropes // *J China Univ Mining & Technol*. 2008. – Vol. 18. – P. 0475–0478.

8. Wen-Guang Jiang, Michael K. Warby, John L. Henshall. Statically indeterminate contacts in axially loaded wire strand // *European Journal of Mechanics A/Solids*. 2008. – Vol. 27. – P. 69–78.

9. Páczelt I., Beleznai R. Nonlinear contact-theory for analysis of wire rope strand using high-order approximation in

the FEM // *Computers and Structures*. 2011. – Vol. 89. – P. 1004–1025.

10. Chang Huang and Knapp R. H. Parametric Modeling of Double and Triple Helical Strands // *Proceedings of the Sixteenth (2006) International Offshore and Polar Engineering Conference, San Francisco, California, USA, May 28-June 2, 2006*.

11. Seyed Reza Ghoreishia, Tanguy Messagera, Patrice Cartrauda and Peter Daviesc. Validity and limitations of linear analytical models for steel wire strands under axial loading, using a 3D FE model // *International Journal of Mechanical Sciences*. 2007. – Vol. 49. I. 11. – P. 1251–1261.

12. Глушко М. Ф. Стальные подъемные канаты. – Киев : Техника, 1966. – 327 с.

E. A. Kalentyev, PhD in Engineering, Institute of Mechanics, Ural Branch RAS, Izhevsk

V. V. Tarasov, DSc in Engineering, Professor, Institute of Mechanics, Ural Branch RAS, Izhevsk

V. N. Novikov, Izhevsk State Agricultural Academy

Yu. V. Puzanov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. G. Bazhin, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Development of geometric model of double lay rope for numerical analysis

The paper presents a methodology for the development of the geometric model of a double lay rope used for the numerical analysis of the stress-strain state and the study of mutual displacements of rope elements.

Keywords: geometric model, double lay rope, numerical analysis.

Получено: 10.11.14

УДК 621.771.06

Ю. О. Михайлов, доктор технических наук, профессор

А. Л. Майков, аспирант

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРОКАТНЫХ СТАНОВ КРВ-18, КРВ-25 МЕТОДОМ ЭФФЕКТА БАРКГАУЗЕНА

В статье проведен анализ возможности раннего диагностирования зарождения дефектов рабочего инструмента прокатных станков КРВ методом магнитных шумов (эффект Баркгаузена).

Ключевые слова: холодная прокатка труб, прокатный инструмент, эффект Баркгаузена.

Качественный рабочий инструмент прокатных станков (калибры и оправки) является основным условием выпуска продукции, отвечающей требованиям технических условий. Однако в процессе прокатки вследствие воздействия высоких температур, давлений, трения о металл и знакопеременных нагрузок происходит износ или разрушение рабочего инструмента.

Износ прокатного инструмента обусловлен появлением растягивающих напряжений на его рабочих поверхностях, возникающих при прокатке в результате поверхностно-пластического деформирования. При достижении определенного критического уровня происходит релаксация растягивающих и заложенных при изготовлении инструмента сжимающих напряжений, что приводит к появлению микротрещин. Зародившиеся микротрещины в дальнейшем приводят к еще большему растрескиванию и, наконец, полному разрушению рабочей поверхности прокатного инструмента.

Зарождение микротрещин на начальном этапе их появления не сказывается на качестве выпускаемой продукции, однако дальнейшее интенсивное разрушение инструмента с появлением трещин и следов выкрашивания металла приводит к наличию в выпускаемой продукции дефектов наружной и внутренней поверхностей. Такая продукция отправляется в брак.

Наличие брака продукции резко снижает экономические показатели предприятия, что в условиях рыночной экономики и жесткого регламента контрактных поставок недопустимо. Следовательно, необходимо либо полностью исключить, либо снизить до минимума вероятность выпуска продукции, не соответствующей установленным техническим требованиям из-за износа рабочего инструмента прокатных станков.

Поставленная выше задача имеет несколько путей решения. Один из них – в техническом диагностировании рабочего инструмента прокатных станков. Целью технического диагностирования, проводимого

го перед началом и (или) в процессе эксплуатации инструмента, является установление возможного либо остаточного ресурса рабочего инструмента. Проводя такое диагностирование, можно практически полностью исключить появление брака в выпускаемой продукции по причине выхода из строя прокатного инструмента

В основу решения задачи диагностирования ресурса рабочего инструмента прокатных станов положена возможность применения метода эффекта Баркгаузена (метода магнитных шумов) для неразрушающего контроля ферромагнетиков.

Результаты изучения физики эффекта Баркгаузена (ЭБ) показали принципиальную возможность применения его и сопутствующих ему магнитных шумов для неразрушающего контроля ферромагнитных материалов и изделий из них. К настоящему времени попытки использовать ЭБ сделаны практически во всех областях неразрушающего контроля – дефектоскопии, структуроскопии, измерениях линейных размеров, технической диагностике [1–8].

В настоящее время метод контроля путем анализа параметров скачков Баркгаузена (СБ) и магнитных шумов внесен в ГОСТ 18353–79 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов».

Экспериментальные исследования рабочего инструмента прокатных станов КРВ

Объект исследований. Для проведения первоочередных исследований был выбран рабочий инструмент станов КРВ, т. к. он работает в наиболее жестких условиях: прокатка идет с деформацией труб около 80 %, количество двойных ходов клети составляет от 300 до 320 ходов в минуту.

Рабочим инструментом станов КРВ, на котором при прокатке формируется профиль трубы (наружная и внутренняя поверхность, толщина стенки и т. д.), являются калибры и оправка. А поскольку наиболее дорогостоящим и трудоемким в изготовлении является калибр, то и работы, проводимые в настоящее время, посвящены исследованию возможности применения метода эффекта Баркгаузена для контроля остаточного ресурса калибров.

Калибры станов КРВ-18, КРВ-25 изготавливаются из стали 4Х5В2ФС, применяемой для изготовления тяжело нагруженного прессового инструмента при горячем деформировании легированных конструкционных сталей и жаропрочных сплавов, а также прессформ для литья под давлением медных сплавов.

Химсостав стали 4Х5В2ФС: углерода – 0,4 %; хрома – 5 %; вольфрама – 2 %; кремния – не более 1,5 %; марганца, серы, фосфора – от 0,3 до 0,5 %.

Твердость калибров в состоянии «поставки», т. е. при выпуске из производства в цехе 44, составляет от 48 до 54 HRC.

Структура материала – мартенсита отпуска.

В настоящее время технологический процесс изготовления калибров отработан настолько, что их ресурс в среднем составляет 40–50 тыс. м, а в отдельных случаях достигает 90–100 тыс. м. Тем не менее на сегодняшний день индикатором начала разрушения калибра является появление брака при прокатке.

Из представленных лабораторией надежности статистических данных по коэффициенту ориентации гидридов, выходу годного, уровням несоответствий партий труб очевидно, что увеличение процента выпуска несоответствующей продукции зачастую не связано с состоянием рабочего инструмента, а связано с другими факторами технологического процесса (изменением технологии получения трубной заготовки, изменением калибровки и пр.). Однако в основном причиной выпуска несоответствующей продукции является ненадлежащее состояние рабочего инструмента прокатных станов. Особенно сильное влияние состояние рабочего инструмента прокатных станов оказывает на «размерные» характеристики продукции, такие как отклонение наружного (внутреннего) диаметра, толщины стенки от номинальных значений, изменение геометрии труб (эллипсность, разнотолщинность стенок и пр.).

Аппаратура экспериментальных исследований.

Для проведения исследований была создана экспериментальная установка, структурная схема которой представлена на рис. 1.

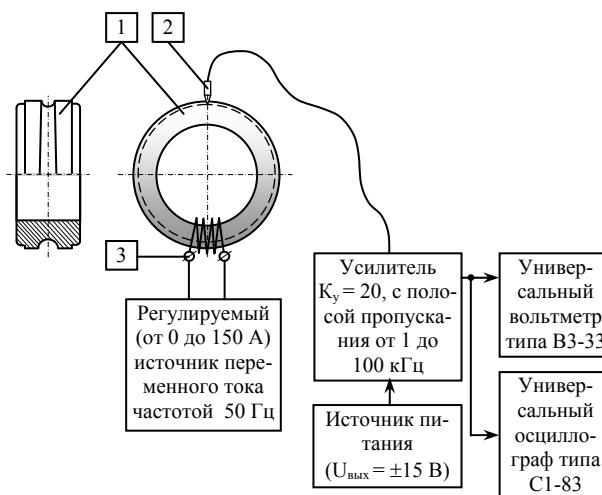


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки: 1 – тело калибра; 2 – датчик Баркгаузена; 3 – перемещающее устройство

Экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 1, состоит:

- из перемещающего устройства, состоящего из промышленного сварочного аппарата переменного тока промышленной частоты (50 Гц) с возможностью регулирования тока в диапазоне от 0 до 140 А и катушки (5 витков провода 10 мм), наматываемой перед проведением контроля непосредственно на калибр. Выбранный диапазон перемещающего тока обеспечивает доведение образца в процессе контроля до состояния насыщения;

- датчика Баркгаузена, необходимого для съема информации с контролируемой поверхности калибра, представляющего собой катушку 500 витков провода 0,05 мм, намотанную на феррите диаметром 0,8 мм. Диаметр феррита выбран с учетом обеспечения локальности съема информации;

– усилителя с $K_v=20$ и полосой пропускания от 1 до 100 кГц;

– источника питания ± 15 В;

– универсального вольтметра В3-33 для контроля магнитошумовых характеристик калибра;

– универсального осциллографа С1-83, необходимого для визуализации происходящих процессов.

Методика контроля калибров. Для получения достаточного количества информации о состоянии калибров до установки и после снятия со станов проводились следующие исследования:

– на калибровочном участке проводился контроль магнитошумовых характеристик, в которых производился контроль магнитошумовых характеристик путем измерения ЭДС на выходе измерительной катушки датчика Баркгаузена;

– измерения ЭДС проводились для различных режимов тока намагничивания тока, а именно: в диапазоне от 0 до 140 А с шагом 10 А. Результаты измерений приведены в таблице и на рис. 2;

– контролю подвергались калибры до установки и после снятия со станов.

Результаты экспериментальных исследований. В настоящее время проведены исследования более 20 калибров станов КРВ-18 до установки на станы и 8 калибров после снятия со станов. Рассмотрим результаты экспериментальных исследований на примере калибров № 675, 676, полученные до их установки и после снятия со стана.

Характер зависимостей ЭДС СБ от тока намагничивания на выходе датчика у калибров, находящихся в состоянии «поставки» и у калибров, снятых со станов по причине их износа, одинаков. Однако у изношенных калибров наблюдается повышение уровня магнитного шума по отношению к уровню магнитного шума, характерного для исходного состояния. Этот факт, как говорилось выше, свидетельствует об износе рабочих поверхностей калибров в результате релаксации растягивающих напряжений, возникающих при поверхностно-пластическом деформировании рабочих поверхностей калибров в процессе прокатки труб. Косвенным доказательством наличия упрочнения рабочих поверхностей калибров является также и повышение твердости их рабочих поверхностей на 1-2 НРС.

Значения ЭДС СБ на выходе датчика для новых и изношенных калибров при различных режимах тока намагничивания, мВ

Ток перемагничивания, А

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|

До установки на стан (новые)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0,00 | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,23 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,68 | 0,75 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

После снятия со стана (изношенные)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| 0,00 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,46 | 0,52 | 0,58 | 0,63 | 0,75 | 0,93 | 1 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|

В таблице приведены данные экспериментальных исследований калибров, а рис. 2 наглядно иллюстрирует разницу в уровнях магнитного шума новых и изношенных калибров при различных режимах тока намагничивания.

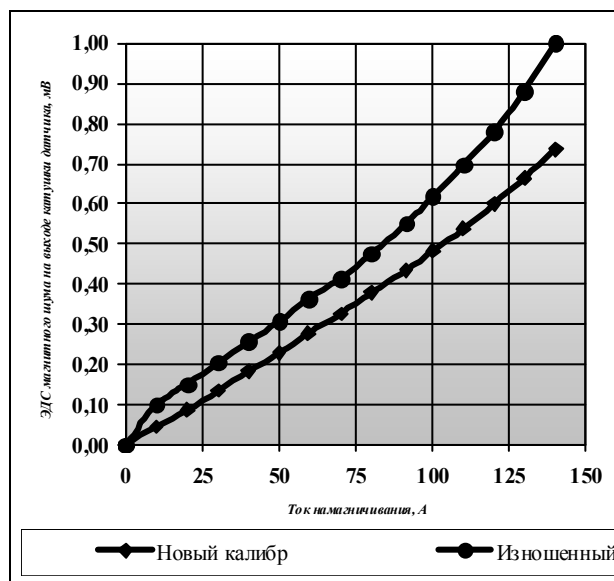


Рис. 2. Зависимость ЭДС СБ от тока намагничивания для новых и изношенных калибров

Наиболее выгодным для осуществления контроля калибров с целью диагностирования их возможного или остаточного ресурса является область больших токов намагничивания (свыше 100 А), где разница в уровнях магнитного шума является наибольшей. Область больших токов предпочтительна еще и по причине того, что погрешность измерения ЭДС на выходе датчика здесь минимальна, что обусловлено характеристиками применяемых средств измерений, в частности универсального вольтметра В3-33.

Выводы и рекомендации

1. Полученные результаты показывают, что примененный метод позволяет решить поставленную задачу диагностирования ресурса рабочего инструмента прокатных станов. Однако требуется проведение дополнительных исследований с целью набора большего объема статистического материала для установления однозначной связи уровня магнитного шума с ресурсом рабочего инструмента прокатных станов (установлению градуировочной характеристики метода).

2. Рекомендуется также продолжить работы по исследованию возможности контроля остаточного ресурса рабочего инструмента прокатных станов методом магнитных шумов (эффекта Баркгаузена) на большем количестве калибров, а также расширить область исследований на станы типа ХПТ.

Библиографические ссылки

1. Вотруба К. Влияние пластической деформации на эффект Баркгаузена // Изв. АН СССР, сер. Физ., 1957, 21, вып. 9. – С. 1246–1249.
2. Добнер Б. А., Лещенко И. Г., Филинов В. В., Колмогорова Т. Ф. Исследование напряженных состояний в конструкционных сталях методом магнитного шума // Эффект Баркгаузена и его использование в технике. – Ижевск: ДНТП, 1977. – С. 140–144.

3. Дорощев А. Л. Индукционная структуроскопия. – М. : Энергия, 1973. – 117 с.

4. Дорощев А. Л., Садовников С. Н., Воскобойникова Л. С., Кадышкин Б. А., Трунина Е. В., Эльконина М. В. Использование метода вихревых токов для оценки механических напряжений и диагностики повреждений // Материалы Всесоюзной научно-технической конференции «Современные методы и средства контроля качества материалов и изделий без разрушения». – Минск : Наука и техника, 1971. – С. 6–14.

5. Зверев В. А., Крейсик Н. П., Крейсик Т. А., Мельникова В. М., Пушина Е. Д. Разработка магнитошумового структуроскопа для оценки физико-технического состояния поверхностного слоя ферромагнитных изделий // Эф-

фект Баркгаузена и его использование в технике. – Ижевске : ДНТП, 1977. – С. 148–150.

6. Колачевский Н. Н. Магнитные шумы. – М. : Наука, 1971. – 136 с.

7. Колачевский Н. Н. Экспериментальное исследование влияния упругих напряжений, термообработки и кристаллической структуры ферромагнитного образца на интенсивность магнитных шумов. – ФММ, 1961, 11, вып. 2. – С. 211–214.

8. Шиф И. М., Неизвестнов Б. М. Магнитный контроль упрочнения поверхностного пластически деформированного слоя стальных деталей // Дефектоскопия. – 1965. – № 6. – С. 27–35.

* * *

Yu. O. Mikhailov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
A. L. Maykov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Investigating the possibility of technical diagnosis of tools for rolling mills KPW-18, KPW-25 by Barkhausen effect method

The paper presents the analysis of possibility of early flaw diagnosis of tools for rolling mills KPW by method of magnetic noise (Barkhausen effect).

Keywords: cold tube rolling, rolling tool, Barkhausen effect.

Получено: 31.10.14

УДК 622.673.6:621.86.065.3 – 72

В. Н. Новиков

Ижевская государственная сельскохозяйственная академия

В. В. Тарасов, доктор технических наук, профессор

Е. А. Калентьев, кандидат технических наук

Институт механики УрО РАН

Ю. В. Пузанов, кандидат технических наук, доцент

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФРИКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В статье описан способ определения фрикционных характеристик смазочных материалов для стальных канатов, работающих при низких температурах.

Ключевые слова: стальные канаты, смазочные материалы, низкая температура.

Основная функция канатного смазочного материала – снижение износа каната и канато-блочной системы. В настоящее время для смазывания стальных канатов используют специальные канатные смазки как отечественного производства: Канатная 39У, Торсиол-35Б, БОЗ-1, Торсиол-55, Ваерол, Ваерол-Э, КФ-10, Е-1, Е-9, Е-86, ЛЗ-Е-91 и др., так и импортного производства: Эласкон-20, Эласкон-30, LWKP, FK-160, FK-12, MLOG, Gripa-22, Germ Duros-10, SK-VR, SK-NZ/L, Rope Dressing-105, Molykote 165 BR, Mutilus A, Surret-350, Mobyл Arma и др.

Ко всем указанным смазочным материалам предъявляются высокие эксплуатационные требования [1, 2], среди которых: высокие вязжущие свойства, способность оставаться на канте при проходе через блоки и хорошо смазывать канат, проникая в центр пряди, не впитывать влагу, растворяться в га-

золине при очистке каната, не содержать в своем составе кислых и щелочных составных частей и т. д.

Кроме того, канатный смазочный материал должен сохранять свои свойства, а также защищать канат от износа и при отрицательных температурах.

Основным недостатком любых смазочных материалов при использовании на холоде является то, что они становятся вязкими и не способны полностью защитить трущиеся поверхности. В первые минуты работы узлов трения при отрицательных температурах наблюдается их повышенный износ до момента, пока смазочный материал не разогреется и не достигнет требуемой вязкости.

Аналогичная ситуация происходит и при работе стальных канатов. Однако для смазывания стальных канатов в основном используют смазки, которые в неразогретом состоянии представляют собой однородные мази с температурой каплепадения 65–80 °С