

УДК 620.179.141:629.4.027.5

А. Г. ОТОКА, О. В. ХОЛОДИЛОВ, П. А. ДАШУК

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МАГНИТОПОРОШКОВЫЙ КОНТРОЛЬ КОЛЕСНЫХ ПАР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ И НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Описывается технология автоматической магнитопорошковой дефектоскопии колесных пар подвижного состава железных дорог с использованием систем видеонаблюдения и машинного зрения. В качестве средства неразрушающего контроля рассматривается разработанный макет стенда СМДКП-02.

Ключевые слова: колесная пара, цельнокатаное колесо, магнитопорошковый контроль, видеосистема, нейросетевые технологии, люминесцентный метод, автоматизация.

Введение. Магнитопорошковый контроль (МПК) на железнодорожном транспорте стал одним из первых методов, с помощью которого стало возможным выявление поверхностных дефектов в стальных и чугунных изделиях [1]. Он получил широкое распространение при дефектоскопии шеек и средней части осей колесных пар, автосцепок, бандажей, колесных центров и других деталей вагонного и локомотивного хозяйства [2, 3]. Чувствительность метода позволяет выявлять трещины в начальной стадии их развития, когда увидеть дефект визуально или с применением оптических приборов сложно или невозможно. Метод основывается на свойстве магнитного поля концентрировать частицы железа в местах, где находятся дефекты. При этом контролируемую деталь намагничивают соленоидом, а затем поливают техническим вазелиновым или трансформаторным маслом, содержащим тончайший порошок чистого железа, находящийся во взвешенном состоянии. По скоплению частиц порошка определяют наличие дефекта и его контуры [4].

По мере развития метода в железный порошок стали добавлять различные присадки и вещества, препятствующие слипанию частиц, вспениваю суспензии и иные добавки, способствующие улучшению качества магнитопорошковой дефектоскопии. Добавление различных пигментов, окрашивающих частицы порошка, позволило проводить контроль деталей с различным цветом поверхности.

До недавнего времени считалось, что магнитопорошковый метод несовершенен, что обусловлено трудностью его автоматизации, связанной с необходимостью расшифровки дефектограмм, по которым можно увидеть, а не оценить параметры дефектов (т. е. по сути метод является индикаторным).

В настоящее время широкое распространение получило использование люминесцентных суспензий с добавлением антикоррозионных добавок и антикоагулянтов. Особенностью таких суспензий является свечение люминофора в ультрафиолетовой или синей областях света. При контроле деталей в

темном или затененном месте наблюдается высокая контрастность свечения индикаторного рисунка, образованного люминесцирующими частицами на фоне поверхности объекта контроля. Поэтому чувствительность люминесцентного магнитопорошкового контроля на практике считается максимальной (ширина раскрытия трещины может достигать 0,1 мкм).

Достоинством люминесцентного метода является то, что интенсивность свечения люминесцирующих частиц коррелирует с шириной раскрытия трещины [5, 6]. В то же самое время вследствие необходимости проведения осмотра в УФ-свете очень большой оказывается нагрузка на зрение человека.

Целью работы является разработка технологии автоматизированного МПК цельнокатаных колес колесной пары вагона при минимальном участии человека.

Описание работы стенда. В работах [7, 8] достаточно подробно была рассмотрена технология МПК цельнокатаных колес при ремонте колесных пар вагонов на примере макета стенда СМДКП-01.300588.121192.АА. На основе его применения нами была разработана технология автоматизированного контроля колесных пар с использованием видеокамер и встроенной УФ-подсветки (рисунок 1).

Отличительной особенностью данного стенда является применение видеокамер, направленных в зону контроля колеса и фиксирующих интенсивность свечения люминесцентного индикатора. Если интенсивность индикации, измеренная на изделии, превышает таковую на настроечном образце с допустимым дефектом, то количественное значение интенсивности свечения соответствует достижению браковочного уровня, что свидетельствует о превышении допустимого значения ширины несплошности [9].

Рассмотрим более подробно последовательность технологических операций на стенде СМДКП-02 с использованием системы видеонаблюдения.

1 Подъемно-поворотное устройство 2 стенда поднимается максимально вверх для последующей установки на нее колесной пары 1, перемещаемой при помощи кран-балки.

2 Колесная пара 1 опускается вниз к намагничивающим устройствам 7, 8, которые располагаются внутри сливных ванн 3.

3 Включается привод 12 вращения колесной пары 1 от средней части оси.

4 Включается насосная станция 14, обеспечивающая перемешивание и подачу суспензии в зону контроля цельнокатаных колес (одновременное включение двигателя «мешалки» 15 и насоса 13). Происходит равномерное нанесение суспензии за счет гибких шлангов 11 на участок поверхности колес с двух сторон.

5 Осуществляется намагничивание колес путем пропускания переменного тока по изолированному кабелю соленоида $I_{\text{сол}}$ и прилегающего проводника $I_{\text{п}}$. Намагничивание обеспечивается за счёт мощного ($I_{\text{max}} = 5 \text{ кА}$) источника тока 5.

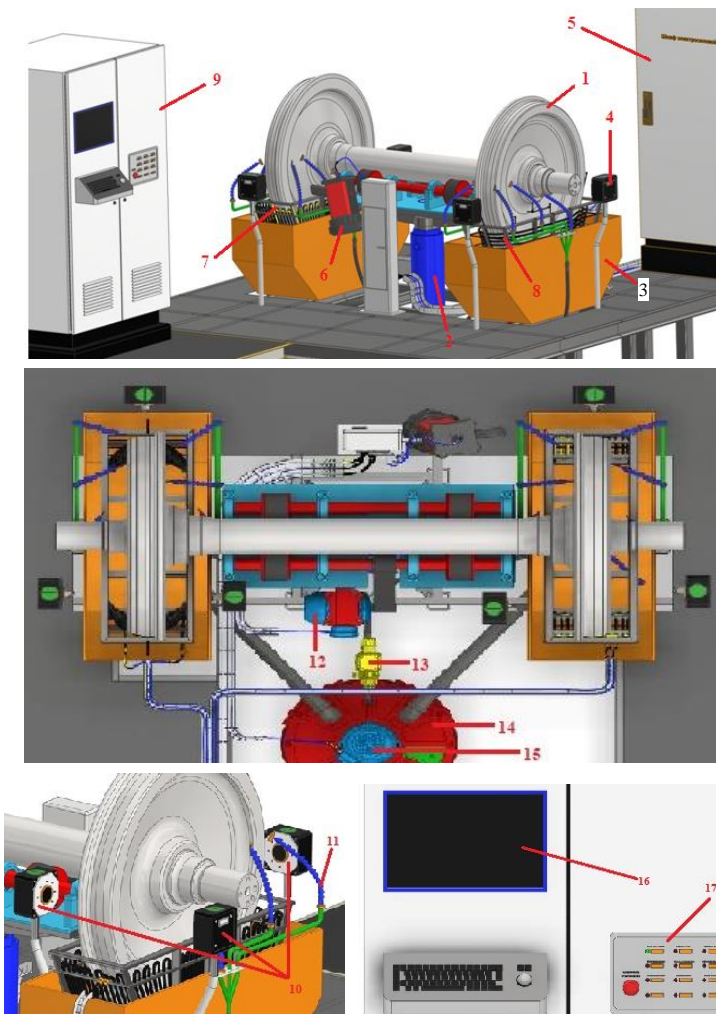


Рисунок 1 – Макет станда СМДКП-02:

1 – цельнокатаное колесо; 2 – подъемно-поворотное устройство с приводом вращения колесной пары от средней части оси; 3 – ванна для размещения намагничивающего устройства; 4 – видеокамера со встроенным УФ-источником освещения зоны контроля колеса; 5 – шкаф распределительный силовой; 6 – источник УФ-излучения; 7 – намагничивающее устройство в виде проводника, располагаемого в радиальном (поперечном) направлении цельнокатаного колеса; 8 – намагничивающее устройство в виде соленоида (катушки), образованного витками изолированного кабеля с медной жилой; 9 – рабочее место оператора (автоматизированное рабочее место); 10 – видеокамера со встроенной УФ-подсветкой; 11 – гибкий шланг; 12 – мотор-редуктор вращения колесной пары; 13 – насос подачи суспензии в зону колеса; 14 – насосная станция; 15 – электродвигатель перемешивания суспензии; 16 – компьютер; 17 – пульт управления стандом

6 Одновременно с включением режима намагничивания работает программа автоматического поиска дефектов. Изображения с видеокамер 4 со встроенной системой УФ-подсветки передаются на компьютер 16 рабочего места оператора 9. Программное обеспечение анализирует места с высокой интенсивностью свечения магнитного индикатора и выдает соответствующее сообщение оператору:

- «нет индикаций» – деталь годная и в дальнейшем контроле не нуждается;
- «есть индикации» – в этом случае оператор должен разделить обнаруженные области на относящиеся к дефектам и ложные индикации (рисунок 2).

При появлении сообщения «есть индикации» дополнительно выводится команда «подтвердить дефект» и указывается сторона колеса левой или правой ванны (№ 1л, № 2л, № 3п, № 4п)

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ	
Есть дефект	Нет дефекта
<p>При подтверждении оператором наличия дефекта отводятся все гибкие шланги 11, колесная пара 1 подъемно-поворотным устройством 2 поднимается вверх для дальнейшего съема с позиции контроля при помощи кран-балки. Информация о забракованной колесной паре заносится в базу данных программы с обязательным указанием размера дефекта (ширина раскрытия определяется программой по интенсивности свечения, а длину принимают равной протяженности магнитопрошковой индикации)</p> 	<p>Процесс подтверждения отсутствия дефекта при автоматизированном МПК продолжается до трех полных оборотов колесной пары 1.</p>  <p>При повторных появлениях на экране компьютера 16 сообщения «есть индикации» оператор подтверждает наличие или отсутствие дефектов до тех пор, пока не выполнится условие прокрутки колесной пары на три оборота</p>

Рисунок 2 – Алгоритм подтверждения информации о наличии дефекта

В зависимости от типа применяемого освещения подтверждение дефектов осуществляется с применением ручного переносного УФ-фонаря или источника синего света 6, находящегося на позиции контроля колесной пары.

При отсутствии сигналов программы автоматического поиска дефектов, информирующих о наличии индикаций, колесная пара 1 поднимается вверх и

поворачивается на 180°, после чего выполняются указанные выше п. 2–6. При отсутствии дефектов и в этом случае колесная пара снимается с позиции контроля при помощи кран-балки, а в базу данных программы заносятся сведения о проконтролированной колесной паре с указанием ее номера, завода-изготовителя и года изготовления.

Заключение. В настоящее время автоматизацией МПК, в том числе с использованием систем видеонаблюдения и машинного зрения занимается большое количество организаций, что свидетельствует о том, что магнито-порошковая дефектоскопия превращается из индикаторного метода, только визуализирующего дефекты, в обычный инструментальный метод измерительного контроля, позволяющий получить количественную информацию о характеристиках дефекта в виде электрического сигнала.

В настоящее время использование рассмотренного в работе стенда или ему подобного дает возможность значительного повышения эффективности традиционного ручного МПК с применением передвижного электромагнита (ярма), при котором весьма велико влияние субъективного фактора. Особенно низка эффективность выявления дефектов при таком методе контроля в случае большой площади цельнокатаного колеса [10].

Для распознавания дефектов возможно применение различных вычислительных методов. Популярностью пользуются сверточные нейронные сети, основным достоинством которых является способность к обучению и самообучению, позволяющая обнаружить в случайных процессах порядок и некоторую структуру [11–14]. Таким образом, в случае ошибки при идентификации индикаторного рисунка программа самообучается и в последующем при обнаружении дефекта, имеющего аналогичные характеристики (свечение, форму и др.), он признается ею как «ложный». Изображения индикаций, наблюдаемых на цельнокатаном колесе, сохраняются в виде отдельных файлов, что позволяет вести архив и отслеживать состояние колесной пары в процессе ее эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Краткий технический железнодорожный словарь / И. Я. Аксёнов [и др.]. – М. : Трансжелдориздат, 1946. – 606 с.
- 2 Fretting crack detection of a railway axle with a mounted wheel using an induced current potential drop and electromagnetic-field distribution / S. J. Kwon [et al.] // Journal of Mechanical Science and Technology. – 2023. – Vol. 37. – P. 6453–6460.
- 3 Train wheel magnetic flux leakage testing method based on local magnetization enhancement / E. Li [et al.] // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2023. – Vol. 72. – Article 6002409. – 9 p.
- 4 **Богданов, А. Ф.** Эксплуатация и ремонт колёсных пар вагонов / А. Ф. Богданов, В. Г. Чурсин. – М. : Транспорт, 1985. – 270 с.
- 5 Феноменология автоматизации магнито-порошкового метода контроля / К. А. Багаев [и др.] // В мире неразрушающего контроля. – 2008. – № 1 (39). – С. 10–13.

6 **Заславский, С. Л.** Автоматизированный магнитопорошковый контроль свободных колёсных осей подвижного состава / С. Л. Заславский, С. Г. Ершов // В мире неразрушающего контроля. – 2005. – № 3 (29). – С. 66–68.

7 **Отока, А. Г.** Перспективы автоматизации магнитопорошкового контроля колесных пар с использованием систем видеонаблюдения и нейросетевых технологий / А. Г. Отока, О. В. Холодилов // Транспортная наука и инновации : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Самара : СамГУПС, 2023. – С. 51–57.

8 Технология магнитопорошкового контроля цельнокатаных колес на автоматизированном стенде / А. Г. Отока [и др.] // Механика. Исследования и инновации. – 2022. – Вып. 15. – С. 160–168.

9 **Отока, А. Г.** Идея создания стенда автоматизированного магнитопорошкового контроля СМДКП-01.300588.121192.АА / А. Г. Отока, А. М. Лях // Актуальные проблемы железнодорожной науки глазами молодых исследователей : сб. материалов круглого стола, посвящ. Дню железнодорожника. – М. : ВНИИЖТ, 2022. – С. 111–119.

10 **Отока, А. Г.** Определение зоны достаточной намагниченности при традиционном магнитопорошковом контроле цельнокатаного колеса с помощью электромагнита МЭД-120 / А. Г. Отока, Р. В. Траяков, О. В. Холодилов // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БИИЖТа – БелГУТа. В 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 64–66.

11 **Косач, А. А.** Автоматизация обработки данных неразрушающего контроля на основе искусственной нейронной сети / А. А. Косач, Е. Е. Ковшов // Cloud of Science. – 2018. – Т. 5, № 3. – С. 524–531.

12 **Поляков, А. В.** О применении сверточных нейронных сетей при решении задачи неразрушающего контроля изделий / А. В. Поляков // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 1, № 5. – С. 204–207.

13 **Назаренко, С. Ю.** Применение искусственных нейронных сетей в радиационном неразрушающем контроле / С. Ю. Назаренко, В. А. Удод // Дефектоскопия. – 2019. – № 6. – С. 54–64

14 Automated vision system for magnetic particle inspection of crankshafts using convolutional neural networks / K. Tout [et al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2021. – Vol. 112, is. 11–12. – P. 3307–3326.

*A. G. OTOKA, O. V. KHOLODILOV, P. A. DASHUK
Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

THE TECHNOLOGY OF AUTOMATED MAGNETIC POWDER CONTROL OF WHEELSETS USING VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS AND NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES

The technology of automatic magnetic particle flaw detection of railway rolling stock wheelsets using video surveillance and machine vision systems is described. The developed model of the SMDKP-02 stand is considered as a mean of non-destructive control.

Keywords: wheelset, solid-rolled wheel, magnetic particle control, video system, neural network technologies, luminescent method, automatization.

Получено 12.10.2023