

# ВОЗМОЖНОСТИ РУЧНОГО ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГЛУБИНЫ КОНТАКТНО-УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН НА ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ РЕЛЬСОВ

© 2022 г. Сергей Павлович Шляхтенков<sup>1</sup>, Д.Б. Некрасов<sup>2,\*</sup>, С.В. Палагин<sup>2</sup>, О.В. Бессонова<sup>2</sup>, С.А. Бехер<sup>1,\*\*</sup>

<sup>1</sup> – Сибирский государственный университет путей сообщения, Россия 630049  
Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191

<sup>2</sup> – ЕВРАЗ ЗСМК, Россия 654042 Новокузнецк, Космическое шоссе, 16  
E-mail: \*dmitry.nekrasov@evraz.com; \*\*behers@mail.ru

Динамические силы от железнодорожного подвижного состава ведут к снижению контактно-усталостной прочности и как следствие назначенного ресурса верхнего строения пути. В результате напряженно-деформированного состояния в контакте рельса с колесом, возникают и накапливаются повреждения поверхностного, деградирующего слоя. Износ и повреждения рельсов в эксплуатации в подавляющем большинстве случаев определяются зарождением и развитием трещин контактно-усталостного характера поверхности головок рельсов. Устранение усталостных дефектов рельсов проводят с помощью профилактической шлифовки, с разной периодичностью. Для оценки технического состояния дефектного рельса, эффективного планирования шлифовки требуется информация о глубине трещин, от которой в значительной степени зависит уровень опасности дефектов.

Целью работы является определение возможностей ручного вихретокового контроля для измерения глубины контактно-усталостных трещин на поверхности катания рельсов, оценка показателей точности и степени влияния мешающих факторов.

Исследования проводились на вырезанных из действующего пути фрагментах рельса с реальными дефектами поверхности катания. Установлены основные конфигурации трещин: одиночные трещины, сетка трещин в рабочей грани и средней части, ориентированные вдоль, поперек и под углом к продольной оси рельса. Обнаруженные трещины контролировались вихретоковым методом на частотах 100 и 400 кГц дефектоскопом Вектор-60Д. Для уменьшения влияния наклона преобразователя измерялась проекция сигнала на ось, перпендикулярную направлению изменения сигнала, вызванного влиянием мешающего фактора. При этом влияние мешающего фактора на результаты измерения глубины уменьшалось.

Далее проконтролированные образцы разрезались по линии сканирования и параллельно ей для оценки глубины трещин. На полученных металлографических шлифах с помощью оптического микроскопа с увеличением  $\times 100$  и  $\times 200$  для каждой трещины в трех сечениях измерялись: глубина, ширина раскрытия на поверхности и угол наклона

относительно вертикальной плоскости. В 6 образцах идентифицировано 72 трещины глубиной от 0,12 до 1,73 мм.

На основе полученных данных построена зависимость глубины трещины от амплитуды сигнала, которая аппроксимировалась линейной зависимостью методом наименьших квадратов:

$$A = b \cdot h + a,$$

где  $h$  – глубина, мкм;  $A$  – амплитуда сигнала, относительные единицы;  $a = 0,14$  мм ( $\sigma_a = 0,005$  мм) – коэффициент пропорциональности;  $b = 1,11$  мм<sup>-1</sup> ( $\sigma_b = 0,038$  мм<sup>-1</sup>) коэффициент смещения.

Максимальная чувствительность сигнала ВТП к глубине трещины реализуется при частоте 100 кГц по всем образцам, коэффициент корреляции составляет 0,78 (отдельно для каждого образца 0,72 - 0,97). На частоте 400 кГц значение коэффициента корреляции  $k = 0,61$ . Это связано с меньшей в два раза глубиной проникновения вихревых токов и в 2 и более раза чувствительностью к углу наклона преобразователя. Толщина скин-слоя, составляет 0,066 мм для 100 кГц и 0,033 мм для 400 кГц.

Погрешность измерения глубины трещины ручным вихретоковым методом на частоте 100 кГц в диапазоне от 0,12 до 1,5 мм содержат аддитивную и мультипликативную составляющие. Границы с доверительной вероятностью 0,95 аддитивной составляющей  $\pm 0,15$  мм, мультипликативной –  $\pm 6,9$  %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коссов В.С., Волохов Г.М., Краснов О.Г., Овечников М.Н., Протопопов А.Л., Огуенко В.В. Влияние величины осевых нагрузок подвижного состава на контактно-усталостную долговечность рельсов. // Вестник ВНИИЖТ. 2018. Т. 77. № 3. С. 149–156.
2. Тапков К. А., Муравьев В. В. Моделирование напряженно-деформированного состояния рельса при эксплуатации // Приборостроение в XXI веке. Интеграция науки, образования и производства. 2018. С. 205–212.
3. Жданов А. Г., Крюков А. С., Лунин В. П., Чегодаев В. В. Неразрушающий контроль поверхности головок рельсов вихретоковым методом // Технология машиностроения. 2015. № 6. С. 41–44.
4. Park, Jeong & Lee, Taek & Back, In & Park, Sang & Seo, Jong & Choi, Won & Kwon, Se. Rail surface defect detection and analysis using multi-channel eddy current method based algorithm for defect evaluation. // Nondestructive Evaluation. 2021. V. 83.
5. Peng Xu, ChenLu Zhu, HongMing Zeng, Ping Wang. Rail crack detection and evaluation at high speed based on differential ECT system. // Measurement. 2020. V. 166. P. 108-152.