

УДК 640.179.16

С. В. Казанцев¹, аспирант

E-mail: sergokazancev@mail.ru

В. В. Муравьев^{1,2}, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой

E-mail: pmkk@istu.ru

А. В. Андреев¹, аспирант

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
ФГБУН «УдмФИЦ УрО РАН», г. Ижевск

Распространение ультразвуковой головной волны в эксплуатируемых рельсовых плетях

Представлены тезисы к экспериментальным данным исследования скорости головной волны, распространяющейся в рельсовой плети, содержащей 4 сварных соединения, выполненных электроконтактной сваркой, и дефекты типа вертикального износа головки, образованные из-за недостаточной прочности металла. Скорость головной волны значительно уменьшается в месте стыка рельсов и имеет пик при удалении от него. Скорость головной волны в области дефектов имеет максимальное значение в центре и провалы при удалении от него на 100 мм в продольном направлении рельса в обе стороны. Для возбуждения головной волны в рельсах использовался П-образный ультразвуковой преобразователь с встречно расположенными излучателем и приемником на расстоянии 72 мм.

Ключевые слова: головная ультразвуковая волна, первый критический угол, сварное соединение рельсов, скорость ультразвука, бесстыковой путь.

Введение

Бесстыковой путь в современном мире все более востребован в связи с его преимуществами над звеньевым путем. Использование бесстыкового пути приводит к снижению затрат на содержание рельсов, на материалы, необходимые для скрепления рельсов, и на тяговое усилие поездов за счет снижения сопротивления движению. Но отсутствие стыков приводит к возникновению температурных напряжений.

Для контроля механического состояния металлоконструкций активно применяется измерение скорости головной волны из-за ее чувствительности, например, к одноосным напряжениям (в 2,7 раза выше по сравнению с поперечной волной для стали 30) [1]. В работах [2, 3] применяются лазерные источники и пьезоэлектрические приемники для контроля напряженного состояния рельсовых плетей бесстыкового пу-

ти. Применение данного метода позволяет достичь точности измерения скорости головной волны до 2 м/с.

С целью исследования распространения головных волн в области сварных соединений и дефектов рельсов был проведен эксперимент по возбуждению головных волн в эксплуатирующейся рельсовой плети с двумя дефектами типа «смятие и вертикальный износ» и четырьмя сварными стыками.

Основная часть

В ходе исследования были сняты осциллограммы головной волны по длине стометровой рельсовой плети через каждый метр, сигналы в зоне четырех сварных стыков и в зоне двух дефектов типа 41.2 «смятие и вертикальный износ», образованных из-за недостаточной прочности металла. Для возбуждения и приема волны использовался ультразвуковой дефектоскоп DIO1000 PA и П-образный раздельно-совмещенный ультразвуковой преобразователь, излучатель и приемник которого наклонены встречно под углом 27° к плоскости контролируемого изделия, резонансная частота преобразователя 2,5 МГц.

Скорость головной волны вычислялась с помощью измерения разности временной задержки волны в стандартном образце СО-2 и в рельсе по формуле [4]

$$C_{\text{ГОЛ}} = \frac{b}{\left(\frac{b}{C_{\text{СО-2}}} - \Delta t \right)}, \quad (1)$$

где $C_{\text{ГОЛ}}$ – скорость головной волны в образце; b – база прозвучивания преобразователя; $C_{\text{СО-2}}$ – скорость распространения головной волны в стандартном образце СО-2; Δt – разность времени пробега головной волны в рельсе и в СО-2.

При проведении эксперимента значение скорости головной волны в СО-2 принято за 5900 м/с. Случайная погрешность измерений составила не более 5 м/с [5]. Используемый в работе способ измерения скорости не позволяет найти абсолютное значение скорости в связи с трудностью определения точки выхода преобразователя головной волны, что приводит к получению постоянной погрешности, связанной с определением скорости в эталонном образце (СО-2). Для определения абсолютного значения скорости предлагается использовать измерения скорости головной волны с помощью акустического излучателя и двух разнесенных

пьезоприемников на основе разности временных пробежек от излучателя до первого приемника и от излучателя до второго приемника [6].

Скорость головной волны по длине рельса изменяется скачкообразно от 5890 м/с до 5935 м/с.

В зоне сварного соединения минимальная скорость наблюдается непосредственно в стыке свариваемых рельсов и составляет от 5870 м/с до 5890 м/с для разных стыков. При удалении от стыка на 70–90 мм скорость головной волны увеличивается на 50–70 м/с. При этом П-образным преобразователем измеряется время распространения головной волны на участке 72 мм (база прозвучивания преобразователя).

В области дефектов рельсов типа 41.2 «смятие и вертикальный износ» протяженностью 400 мм максимальная скорость ультразвуковой головной волны наблюдается в центре дефекта. Она примерно на 40 м/с превышает среднюю скорость головной волны по длине рельса. При удалении от центра дефекта на 100 мм в обе стороны по длине рельса скорость головной волны уменьшается на 80–100 м/с, а через 200 мм достигает средней скорости по длине рельса. Такое изменение скорости может быть связано с неравномерностью механических свойств по высоте рельса, полученных в результате термообработки, и с накоплением микродефектов в зоне вертикального износа рельсов.

Выводы

В ходе исследования была измерена скорость ультразвуковой головной волны в эксплуатирующейся стометровой рельсовой плети. Скорость головной волны по длине рельса изменяется скачкообразно от 5890 м/с до 5935 м/с, что может говорить о неравномерном распределении напряженного состояния.

В зоне сварного соединения минимальная скорость наблюдается непосредственно в стыке свариваемых рельсов и составляет от 5870 м/с до 5890 м/с для разных стыков. При удалении от стыка на 70–90 мм скорость головной волны увеличивается на 50–70 м/с.

В области вертикального износа головки рельса максимальная скорость ультразвуковой головной волны наблюдается в центре дефекта. При удалении от дефекта на 100 мм влево и вправо скорость головной волны уменьшается на 80–100 м/с, а через 200 мм достигает средней скорости по длине рельса.

Данная работа может найти применение в неразрушающем контроле дефектов рельсов типа смятия и вертикального износа и сварных соединений бесстыкового пути.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ Бел-а (проект № 20-58-0015) с использованием УНУ «Информационно-измерительный комплекс для исследования акустических свойств материалов и изделий».

Список литературы

1. *Алешин, Н. П.* Современные информационные автоматизированные системы акустического контроля сварки / Н. П. Алешин // Автоматическая сварка. – 2013. – № 10-11 (726). – С. 67–71.
2. Использование эффекта акустоупругости с применением лазерных источников и пьезоэлектрических приемников ультразвука для неразрушающего контроля напряженного состояния рельсовых плетей бесстыкового пути / О. А. Суслов, А. А. Новиков, А. А. Карабутов, Н. Б. Подымова, А. Н. Жаринов, В. А. Симонова // Вестник транспорта Поволжья. – 2015. – № 1 (49). – С. 32–43.
3. Лабораторные экспериментальные исследования макета прибора ультразвукового контроля напряжений в рельсовых плетях / О. А. Суслов, А. А. Новиков, А. А. Карабутов, Н. Б. Подымова // Наука и образование транспорту. – 2015. – № 1. – С. 237–241.
4. *Муравьев, В. В.* Распределение остаточных напряжений и скорости головной волны в рельсах / В. В. Муравьев, А. В. Якимов, С. В. Казанцев // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2019. – Т. 16, № 3. – С. 370–376.
5. ГОСТ Р 55724–2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. – Введ. 2015-07-01. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 28 с.
6. *Карабутов, А. А.* Определение одноосных напряжений в стальных конструкциях лазерно-ультразвуковым методом / А. А. Карабутов, Н. Б. Подымова, Е. Б. Черепецкая // Прикладная механика и техническая физика. – 2017. – Т. 58, № 3 (343). – С. 146–155.

*S. V. Kazantsev*¹, postgraduate student

E-mail: sergokazantsev@mail.ru

V. V. Murav'ev^{1,2}, DSc in engineering, professor, head of department

E-mail: pmkk@istu.ru

*A. V. Andreev*¹, postgraduate student

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

Udmurt Federal Research Center UB RAS, Izhevsk, Russian Federation

Propagation of Ultrasonic Creep Wave in Operated Continuously Welded Rail

Theses are presented to the experimental data on the study of the speed of the creep wave propagating in a hundred-meter continuously welded rail containing a welded joint made by electrocontact welding, and defects such as vertical wear of the

head formed due to insufficient durability. The speed of the creep wave decreases significantly at the junction of the rails and has a peak with distance from it. The speed of the creep wave in the area of defects has a maximum value in the center and dips at a distance of 100 mm from it to the left and to the right along the length of the rail. To excite the creep wave in the rails, a U-shaped ultrasonic transducer was used with an oppositely located emitter and receiver at a distance of 72 mm.

Keywords: ultrasonic creep wave, first critical angle, rail weld, ultrasound speed, continuous welded rail.