

Басов Г.Г., Киреев А.Н., Додонов В.И.

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ КОЛЕСНЫХ ЦЕНТРОВ ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Basov G.G., Kireev A.N., Dodonov V.I.

IMPROVED TECHNOLOGY OF THE ULTRASONIC DIAGNOSING OF THE WHEEL CENTERS OF HAULING ROLLING STOCKS

В статье рассматривается вопрос усовершенствования технологии ультразвукового диагностирования катаных колесных центров тягового подвижного состава импульсным эхо-методом. Усовершенствованная технология отличается от ранее существующей безэталонным способом настройки чувствительности ультразвуковой аппаратуры и оценки допустимости дефектов, обнаруженных в результате контроля по специфическим диаграммам амплитуда-расстояние-диаметр. Аналитические зависимости для построения диаграмм учитывают изменение размеров зерна по сечению обода и ступицы колесного центра.

Ключевые слова: *тяговый подвижной состав, катаный колесный центр, неразрушающий контроль, ультразвуковой контроль, ультразвуковой импульсный эхо-метод.*

В конструкции колесных пар тягового подвижного состава наибольшее распространение получили составные колеса, так как они, в отличие от вагонных, выполняют функцию передачи тягового усилия. При достижении предельного износа поверхности катания бандаж в составных колесах можно сменить без смены колесного центра. В конструкции составных колес применяются литые [1] и катаные [2] колесные центры. Применение катаных колесных центров взамен литых, позволяет снизить неподрессоренную массу колесной пары, уменьшить динамические усилия взаимодействия между колесом и рельсом, сократить расход металла при изготовлении колес тягового подвижного состава [3]. На рис. 1. представлены примеры тягового подвижного состава в конструкции колес которого применяются катаные колесные центры.



а



б

Рис. 1. Тяговый подвижной состав в конструкции колес которого применяются катаные колесные центры: а – пассажирский тепловоз ТЭП 150 производства ПАО «Лугансктепловоз», б – пригородный дизель поезд ДЭЛ 02 производства ПАО «Лугансктепловоз».

Введение

Для обеспечения качества и надежности катаных колесных центров, во избежании возникновения производственных и эксплуатационных отказов, они подвергаются комплексу мероприятий технического диагностирования. В комплекс мероприятий технического диагностирования входит множество контрольных операций, в том числе и ультразвуковой неразрушающий контроль на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей.

При проведении ультразвукового контроля классификация обнаруженных несплошностей как допустимых или как дефектов осуществляется путем сравнения амплитудной характеристики от несплошности с амплитудной характеристикой от эталонного отражателя в стандартном образце предприятия. Однако такой способ может привести к недостоверной оценке несплошностей в случае разницы в затухании ультразвуковой волны в стандартном образце предприятия и в контролируемом колесном центре.

Целесообразным считается оценка несплошностей с помощью диаграмм амплитуда-расстояние-диаметр (АРД-диаграмм) построенным по формулам акустического тракта представленным в работе [4].

Исследования представленные в работах [5-7] показали, что применение классических формул акустического тракта для построения АРД-диаграмм для оценки несплошностей при ультразвуковом контроле катаных колесных центров не представляется возможным из-за изменения коэффициента затухания продольной ультразвуковой волны вызванным изменением размеров кристаллитов по сечению обода и ступицы катаного колесного центра.

Цель

Целью данной работы является анализ усовершенствованной технологии ультразвукового диагностирования колесных центров тягового подвижного состава с применением специфических диаграмм амплитуда-расстояние-диаметр.

Методика исследований

В работах [5-7] проводились экспериментальные исследования, которые включали в себя исследования микроструктуры по сечению обода и ступицы катаного колесного центра, исследования особенностей прохождения и отражения ультразвуковой волны в ободу и ступице катаного колесного центра в осевом направлении и обода и зоны перехода от обода к диску в радиальном направлении.

Результаты исследований

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований [5-7] были получены новые аналитические зависимости, описывающие связь между амплитудной характеристикой эхо-сигнала от несплошности и параметрами несплошности, необходимые для построения специфических АРД-диаграмм для оценки несплошностей при ультразвуковом контроле обода и ступицы катаного колесного центра в осевом направлении (1), а также обода и зоны перехода от обода к диску катаного колесного центра в радиальном направлении (2), причем учет затухания ультразвуковой волны в радиальном направлении осуществляется по амплитудной характеристике донного эхо-сигнала в осевом направлении.

Амплитудная характеристика ультразвукового эхо-сигнала от несплошности в ободу и ступице катаного колесного центра при контроле в осевом направлении описывается аналитической зависимостью (1).

$$N_{i\tilde{n}} = \begin{cases} x = x_1 : N_{i\tilde{n}} = 20 \lg \left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2} e^{(-2\delta \cdot x)} \right) + k_1 \\ x = x_2 : N_{i\tilde{n}} = 20 \lg \left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2} e^{(-2\delta \cdot x)} \right) + k_2 \\ x = x_3 : N_{i\tilde{n}} = 20 \lg \left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2} e^{(-2\delta \cdot x)} \right) + k_3, \\ x = x_4 : N_{i\tilde{n}} = 20 \lg \left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2} e^{(-2\delta \cdot x)} \right) + k_4 \\ x = x_5 : N_{i\tilde{n}} = 20 \lg \left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2} e^{(-2\delta \cdot x)} \right) + k_5 \end{cases} \quad (1)$$

где δ – относительный коэффициент затухания:

$$\delta = - \frac{\ln \left(\frac{N_{\ddot{a}}}{10} \frac{20}{2 \lambda \delta_{\ddot{a}}} \frac{S_a}{S_b} \right)}{2 x_{\ddot{a}}};$$

N_{oc} – амплитуда эхо-сигнала от отражателя при контроле в осевом направлении, дБ;

x – глубина расположения отражателя, мм;

x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – глубины расположения отражателей по которой производится корректировка исходной зависимости, мм (табл. 1, 2);

k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 – коэффициенты корректировки зависимости (табл. 1, 2);

S_a – площадь излучателя, мм²;

S_b – площадь отражателя, мм²;

λ – длина продольной ультразвуковой волны, мм;

x_0 – расстояние до донной поверхности от поверхности ввода продольной ультразвуковой волны в осевом направлении, мм;

N_0 – амплитуда донного эхо-сигнала в осевом направлении относительно СО-2, дБ.

Таблица 1

Глубины расположения отражателей в ободе катаного колесного по которым происходит корректировка исходной зависимости и коэффициенты корректировки

Глубина расположения отражателя	x_1	x_2	x_3	x_4	$x_{5емпра}$
	20	37,5	55	72,5	90
Коэффициент корректировки	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
	0	-3	-5	-4	-1

Таблица 2

Глубины расположения отражателей в ступице катаного колесного центра по которым происходит корректировка исходной зависимости и коэффициенты корректировки

Глубина расположения отражателя	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	20	62,5	105	147,5	190
Коэффициент корректировки	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
	0	-2	-4	-3	-1

Коэффициенты $k_1 - k_5$ характеризуют зависимость изменения коэффициента затухания по сечению обода и ступицы колесного центра от изменения размеров кристаллитов стали.

Амплитудная характеристика ультразвукового эхо-сигнала от несплошности в обода и зоне перехода от обода к диску катаного колесного центра при контроле в радиальном направлении описывается аналитической зависимостью (2):

$$N_{pa\partial} = 20 \lg \left(\frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2} \cdot e^{x \delta_r} \right), \quad (2)$$

где $\delta_r = \left(\ln \left(\left(10^{(ZRN \partial) / (20 x \partial)} \right) / S_a \right) \right) / Z$;

Z, R – коэффициенты (табл. 3, 4);

S_a – площадь излучателя, мм²;

S_b – площадь отражателя, мм²;

λ – длина продольной ультразвуковой волны, мм;

x – глубина расположения отражателя, мм;

$N_{pa\partial}$ – амплитуда эхо-сигнала от отражателя в обода и зоне перехода от обода к диску при контроле в радиальном направлении, дБ;

x_∂ – расстояние до донной поверхности в осевом направлении, мм;

N_∂ – амплитуда донного эхо-сигнала в осевом направлении, дБ.

Таблица 3

Коэффициент Z для различных координат расположения преобразователя

Координата	10	25	40	55	70	85	100
Z	40	40	55	80	55	40	40

Таблица 4

Коэффициент R для различных координат расположения преобразователя

Координата	10	25	40	55
R	1,197296	1,548827	2,062755	2,149413
Координата	70	85	100	
R	2	1,461288	1,197296	

Процесс оценки несплошностей по усовершенствованной методике осуществляется по АД-диаграммам построенным по аналитическим зависимостям (1) и (2).

Выводы

Разработанный метод классификации несплошностей при ультразвуковом контроле катаных колесных центров обладает более высокой достоверностью чем метод с использованием стандартных образцов предприятия, что подтверждается экспериментальными исследованиями проведенными в работе [5].

Результаты работы внедрены в Публичном акционерном обществе «Лугансктепловоз» в технологический процесс ультразвукового контроля колесных центров пассажирского тепловоза ТЭП 150 и пригородного дизель-поезда ДЭЛ 02.

ЛИТЕРАТУРА

1. Центры колесные литые для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия: ГОСТ 4491-86. – [введен в действие 1988-01-01] – М.: Издательство стандартов, 1987. – 9 с. – (Международный стандарт).
2. Центры колесные катаные черновые. Технические условия: ТУ У27.1-4-509-2001. – [введен в действие 2001-01-12] – Днепропетровск: Днепропетровский государственный центр стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. – 13 с. – (Технічні умови України).
3. Филонов С.П./ Тепловоз 2ТЭ116. / С.П. Филонов, А.И. Гибалов, Е.А. Никитин – М.: Транспорт, 1996. – 334 с.

4. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля./ И.Н. Ермолов – М.: Машиностроение, 1981. – 240 с.
5. Киреев А.Н. Усовершенствование изготовления и контроля колесных центров подвижного состава железных дорог: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Киреев Андрей Николаевич. – Харьков, 2007. – 198 с.
6. Киреев А.М. Удосконалення виготовлення та контролю колісних центрів рухомого складу залізниць: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.07 „Рухомий склад залізниць та тяга поїздів” / А.М. Киреев. – Харків, 2007. – 20 с.
7. Киреев А.М. Наукові основи та практична реалізація вдосконалення ультразвукового контролю елементів та систем рухомого складу залізниць: Монографія/ А.М. Киреев.–Луганськ: Вид-во„Ноулідж”, 2012.–142 с.

REFERENCES

1. Centers wheeled poured for rolling stocks of railways of track 1520 mm. General technical conditions: GOST 4491-86. – [consummated 1988-01-01] – Moscow.: Publishing house of standards, 1987. – (intergovernmental standard).
2. Centers are wheeled rolling draft. Technical terms.: TT U27.1-4-509-2001. – [consummated 2001-01-12] - Dnipropetrovs'k: Dnipropetrovsk state center of standardization, metrology and certification, 2001. – (Technical terms of Ukraine).
3. Filonov S.P., Gibalov A.I., Nikitin E.A. Diesel locomotive 2TE116. – Moscow: Transport. 1996. – 334 p.
4. Ermolov I.N. Theory and practice of ultrasonic control. – Moscow.: Mashinostroenie, 1981. – 240 p.
5. Kireev A.N. Improvement of making and control of the wheeled centers of mobile composition of railways: dis. . candidate of engineering sciences: 05.22.07 / Kireev A.N. – Kharkov, 2007. – 198p.
6. Kireev A.N. Improvement of making and control of the wheeled centers of rolling stock of railways: abstract of thesis of dissertation on gaining of scientific degree of candidate of engineering sciences : specialty 05.22.07 - The rolling stock of railways is that traction of trains. – Kharkov, 2007. – 20 p.
7. Kireev A.N. Scientific bases are that practical realization of perfection of ultrasonic control of elements and systems of rolling stock of railways: Monograph. – Lugansk: Publishing house „Nooulidg", 2012. – 142 p.

Басов Г.Г., Киреев А.М., Додонов В.І. Удосконалення технології ультразвукового діагностування колісних центрів рухомого складу залізниць.

Розглянуто питання удосконалення технології ультразвукового контролю катаних колісних центрів тягового рухомого складу. Удосконалена технологія відрізняється від раніше існуючої безеталонним способом настроювання чутливості ультразвукової апаратури та оцінки припустимості дефектів, що знайдені в результаті контролю по специфічним діаграмам амплітуда-відстань-діаметр. Аналітичні залежності для побудови діаграм враховують зміну розміру зерна по перетину обода та маточини колісного центра.

Ключові слова: *тяговий рухомий склад, катаний колісний центр, неруйнівний контроль, ультразвуковий контроль, ультразвуковий імпульсний луна-метод.*

Basov G.G., Kireev A.N., Dodonov V.I. Improved technology of the ultrasonic diagnosing of the wheeled centers of hauling rolling stocks.

The analysis of the improved technology of ultrasonic diagnosing of wheel centers of hauling rolling stocks using the specific diagrams amplitude-distance-diameter is the purpose of this article.

The ultrasonic diagnosing process of the rolling wheel centers of hauling rolling stocks of railways has investigated. The deep analysis of experimental research works has been conducted including microstructure research on the section of rim and central part of rolling wheel center, studies of passing and reflection features of ultrasonic wave in a rim and central part of the rolling wheel center in axial direction and rim and transition area from a rim to the disk in radial direction.

The most important result of this work is increasing authenticity of ultrasonic control of rolling wheel centers of hauling rolling stocks.

New mathematical dependences for construction of specific diagrams amplitude-distance-diameter have proposed as the result of theoretical and experimental investigations. The improved method of ultrasonic control of wheel centers has been developed.

Keywords: hauling rolling stock, rolling wheel center, nondestructive control, ultrasonic control, ultrasonic impulsive echo-method.

Басов Г.Г. – д-р техн. наук, профессор Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина.

Киреев А.Н. – канд. техн. наук, начальник Центральной заводской лаборатории Публичного акционерного общества «Лугансктепловоз», доцент кафедры метрологии Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина.

e-mail: ktn_lifter@ukr.net

Додонов В.И. – старший преподаватель Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина.