

А. Н. КИРЕЕВ (ОАО «ХК Лугансктепловоз»)

ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ КАТАНЫХ КОЛЕСНЫХ ЦЕНТРОВ ЛОКОМОТИВОВ В РАДИАЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ

Наведено результати експериментальних і теоретичних досліджень з застосування АД-діаграм для оцінки припустимості несутцільності під час ультразвукового контролю катаних колісних центрів в радіальному напрямку. Застосування цього методу дозволяє позбутися необхідності виготовлення стандартних зразків підприємства та зменшити похибки оцінюючи припустимість несплошностей. Результати дослідження використані у ВАТ «ХК «Лугансктепловоз» в процесі впровадження ультразвукового контролю катаних колісних центрів локомотивів на відсутність неприпустимих несплошностей металу.

Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований по применению АД-диаграмм для оценки допустимости несплошностей при ультразвуковом контроле катанных колесных центров в радиальном направлении. Применение этого метода позволяет избавиться от необходимости изготовления стандартных образцов предприятия и уменьшить погрешность при оценке допустимости несплошностей. Результаты исследования использованы в ОАО «ХК «Лугансктепловоз» при внедрении ультразвукового контроля катанных колесных центров локомотивов на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей металла.

The article presents the results of experimental and theoretical research on application of ADD-diagrams for estimation of admissibility of defects in ultrasonic control of the rolled wheel centers in radial direction. The application of this method will eliminate the need of producing the standard manufacturer's samples and reduce the error in estimation of defects admissibility. The results of the study have been used at OJSC Luganskteplovoy in introduction of ultrasonic control of the rolled locomotive wheel centers for absence of impermissible internal metal defects.

Современная научно-техническая революция, повышение темпов жизни поставили перед железнодорожным транспортом сложную технико-экономическую задачу организации высокоскоростного пассажирского движения. Это в первую очередь связано с созданием более мощных пассажирских локомотивов, с повышенными требованиями к качеству.

Одной из задач при создании скоростных пассажирских локомотивов является уменьшение общей массы локомотива для ослабления динамического воздействия на рельсовый путь, в частности, уменьшение неподрессоренной массы ходовой экипажной части (оси, колеса, буксовые узлы).

Одним из путей уменьшения неподрессоренной массы ходовой экипажной части является замена литых колесных центров при изготовлении составных колес колесной пары катаными [1; 2].

На рис. 1 показан скоростной пассажирский тепловоз ТЭП 150 производства ОАО «ХК Лугансктепловоз», в конструкции ходовой экипажной части которого применены катаные колесные центры. Помимо меньшей массы катаные колесные центры имеют более высокие показатели механических свойств по сравнению с литыми [3].



Рис. 1. Скоростной пассажирский тепловоз ТЭП 150 производства ОАО «ХК Лугансктепловоз»

Одной из наиболее ответственных операций для обеспечения качества катанных колесных центров является ультразвуковой контроль на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей в соответствии с [4].

Объемные литые несплошности в процессе пластической деформации при изготовлении катанных колесных центров приобретают плоскую форму, что делает их более опасными. Несплошности также имеют различную ориентацию в пространстве (рис. 2), поэтому амплитуда эхо-сигнала от них в различных направле-

ниях при ультразвуковом контроле будет не одинаковой. В связи с этим катаные колесные центры подвергаются ультразвуковому контролю в осевом направлении: обод и ступица, в радиальном направлении: обод и зона перехода от обода к диску.

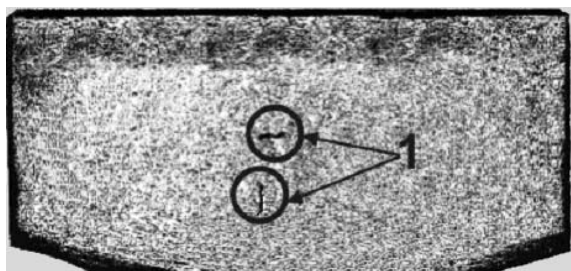


Рис. 2. Фотография макроструктуры катаного колесного центра:

1 – несплошности в ободу катаного колесного центра

В ранее существующих методиках ультразвукового контроля катаных колесных центров настройка чувствительности ультразвукового дефектоскопа и оценка допустимости несплошностей производилась по стандартным образцам предприятия (СОП) с выполненными в них глухими сверлениями с плоским дном на разной глубине в контролируемой зоне.

Оценка допустимости несплошностей по эталонным отражателям в стандартных образцах предприятия может быть выполнена только со значительной погрешностью [5].

Основную погрешность вносит разность затухания в изделии и стандартном образце. Для уменьшения погрешности требуется переход к методике оценки допустимости несплошностей без применения СОП, одним из таких способов методики оценки допустимости несплошностей является работа с АРД-диаграммами (амплитуда-расстояние-диаметр). Особенности работы с АРД-диаграммами в осевом направлении при ультразвуковом контроле катаных колесных центров на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей рассмотрены автором ранее в работе [3].

Целью данной работы является исследование возможности применения АРД-диаграмм для оценки допустимости несплошностей при ультразвуковом контроле катаных колесных центров в радиальном направлении.

В радиальном направлении, в отличие от осевого, отсутствует донная поверхность, эхо-сигнал от которой можно использовать для учета затухания ультразвуковой волны в изделии [3]. Помимо ослабления эхо-сигнала от несплошности в радиальном направлении вследствие затухания происходит ослабление за счет ввода ультразвуковой волны через выпуклую цилиндрическую поверхность.

Толщина контактного слоя между ультразвуковым преобразователем и криволинейной поверхностью будет меньше для центральной и больше для краевых точек преобразователя, кроме этого выпуклая цилиндрическая поверхность будет играть роль расфокусирующей линзы для ультразвуковой волны. Влияние кривизны поверхности ввода ультразвуковой волны на амплитуду эхо-сигнала от отражателей было исследовано различными авторами в работах [6–8].

Радиус катаных колесных центров после предварительной механической обработки составляет 455 мм. Как следует из работы [8] пренебрегать кривизной поверхности ввода ультразвуковой волны и пользоваться формулами акустического тракта для плоской поверхности ввода можно при радиусах кривизны больше 500 мм.

Для расчета амплитуды эхо-сигнала от плоскостных отражателей в дальней зоне (зоне Фраунгофера) преобразователя (в ближней зоне контроль производится раздельно-совмещенными преобразователями) используется формула

$$\left| \frac{A}{A_0} \right| = \frac{S_a S_b}{\lambda^2 x^2}, \quad (1);$$

где A – амплитуда принятого сигнала; A_0 – амплитуда опорного сигнала, в качестве опорного сигнала принимается эхо-сигнал от донной поверхности (59 мм) в стандартном образце СО-2 [9]; S_a – площадь излучателя; S_b – площадь отражателя; λ – длина продольной ультразвуковой волны; x – расстояние до отражателя.

Для учета затухания и ослабления вследствие потерь на кривизне поверхности формула умножается на

$$e^{-2\delta x},$$

где δ – коэффициент ослабления ультразвука вследствие затухания и ослабления на кривизне поверхности ввода ультразвуковой волны. Амплитуда эхо-сигнала в дБ равна

$$A_{дБ} = 20 \lg \left| \frac{A}{A_0} \right|. \quad (2).$$

Для расчета относительного коэффициента ослабления (за счет затухания, расхождения и ослабления при вводе ультразвука через криволинейную поверхность) в дБ используется формула

$$N_{дБ} = \frac{A_{дБ(дн)}}{x}, \quad (3);$$

где $A_{дБ(дн)}$ – амплитуда донного эхо-сигнала в дБ относительно СО-2.

Для расчета абсолютного коэффициента ослабления (за счет затухания и ослабления при вводе ультразвука через криволинейную поверхность) используется формула

$$\delta = -\frac{\ln\left(\frac{10^{A_{дБ(дн)}/20} 2\lambda x}{S_a}\right)}{2x} = -\frac{\ln\left(\frac{10^{(N_{дБ \cdot x})/20} 2\lambda x}{S_a}\right)}{2x}. \quad (4)$$

В радиальном направлении отсутствует донная поверхность, для определения коэффициента ослабления ультразвуковой волны в радиальном направлении были проведены экспериментальные исследования.

Аппаратура и исследуемые образцы. Для экспериментальных исследований были изготовлены шесть образцов из катаного колесного центра (рис. 3), для получения разного затухания в них ультразвуковой волны они были подвергнуты термической обработке по режимам указанным в табл. 1.

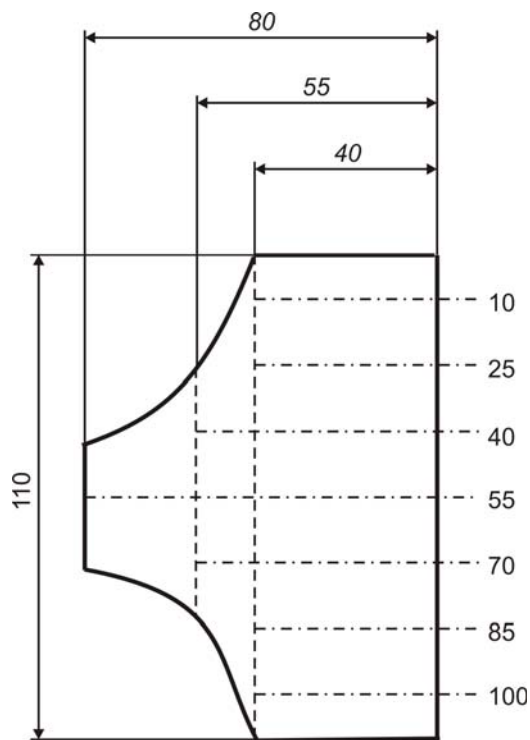


Рис. 3. Образцы из катаного колесного центра: - - - - место реза образцов; - . - . место определения коэффициента ослабления

Таблица 1

Режимы термической обработки образцов из катаного колесного центра

№ образца	Режим термической обработки
1	Нормализация от 830 °С, отпуск при 500 °С
2	Нормализация от 850 °С, отпуск при 500 °С
3	Нормализация от 870 °С, отпуск при 500 °С
4	Нормализация от 890 °С, отпуск при 500 °С
5	Нормализация от 910 °С, отпуск при 500 °С
6	Нормализация от 930 °С, отпуск при 500 °С

Шероховатость поверхности ввода ультразвуковой волны и донной поверхности не более $R_z = 40$ мкм. В качестве контактной жидкости использовалось масло индустриальное И 20 с кинематической вязкостью $\nu = 66,57$ сСт. Для исследований использовался ультразвуковой дефектоскоп УД 2-70, пьезоэлектрический преобразователь П111-2,5-к12-003.

Методика и проведение испытаний. Коэффициент ослабления по координате 55 мм определялся по донному эхо-сигналу на глубине 80 мм, коэффициенты ослабления по координатам 40 и 70 мм определялся по донным эхо-сигналам на глубине 55 мм, коэффициент ослабления по координатам 10, 25, 85 и 100 мм определялся по донным эхо-сигналам на глубине 40 мм.

Также измерялся донный эхо-сигнал в осевом направлении и определялись относительный и абсолютный коэффициенты ослабления. Результаты представлены в табл. 2.

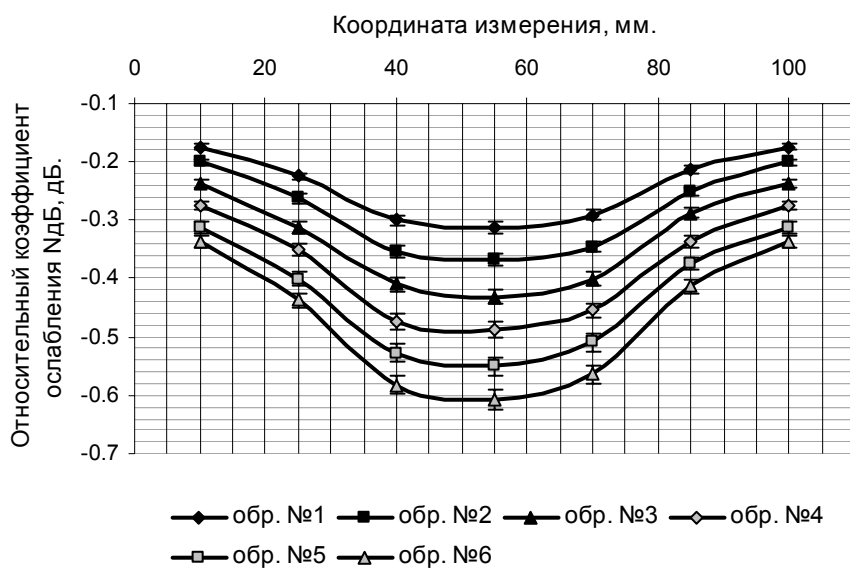
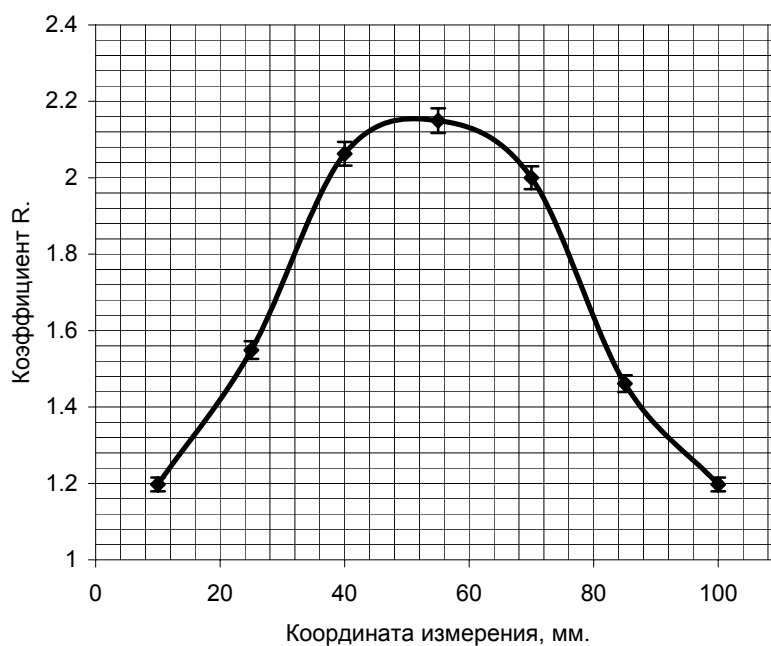
По донным эхо-сигналам в образцах произвели расчет коэффициента ослабления $N_{дБ}$ в радиальном направлении, результаты расчета представлены в виде графика на рис. 4.

Далее был произведен расчет коэффициента R , характеризующего отношение относительного коэффициента ослабления в радиальном направлении к относительному коэффициенту ослабления в осевом направлении.

Усредненные результаты расчета показаны в виде графика на рис. 5, погрешность усреднения не более 1,5 %. Расчетная АРД-диаграмма для образца № 1, координата 55 мм, диаметр плоскодонного отражателя 3 мм приведена на рис. 6.

Таблица 2

№ исследуемого образца	Амплитуда донного эхо-сигнала в осевом направлении относительно $CO^{-2}A_{дБ}$, дБ	Относительный коэффициент ослабления $N_{дБ}$, дБ/мм	Абсолютный коэффициент ослабления δ , Нп/мм
1	-16	-0,1454500	0,00140331
2	-19	-0,1727273	0,00297325
3	-22	-0,2000000	0,00454320
4	-25	-0,2272727	0,00611314
5	-28	-0,2545455	0,00768309
6	-31	-0,2818182	0,00925303

Рис. 4. Зависимость относительного коэффициента ослабления $N_{дБ}$ сигнала от координаты измеренияРис. 5. Зависимость коэффициента R от координаты измерения

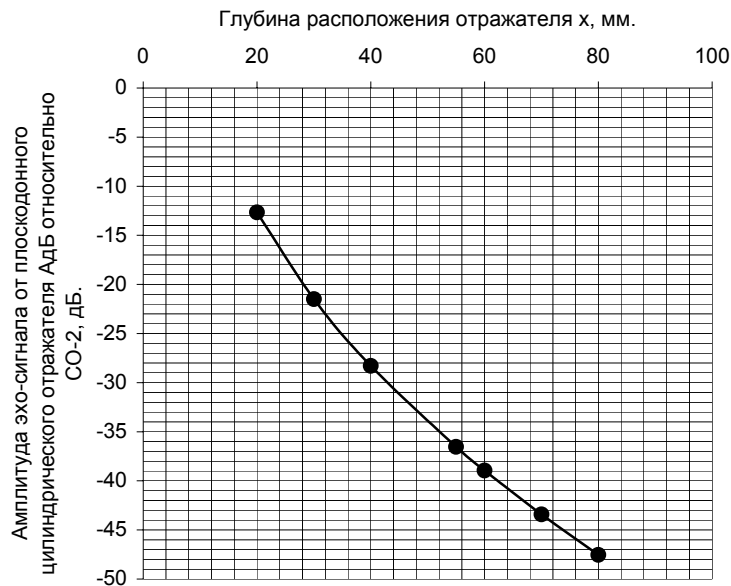


Рис. 6. Расчетная АРД-диаграмма для образца № 1, координата 55 мм, диаметр плоскостонного отражателя 3 мм

Выводы

В результате проведенных исследований выявилась возможность работы с АРД-диаграммами для оценки допустимости несплошностей при контроле катаных колесных центров в радиальном направлении.

При ультразвуковом контроле катаного колесного центра по донному эхо-сигналу в осевом направлении определяется относительный коэффициент ослабления эхо-сигнала, умножая его на коэффициент R из графика (см. рис. 5) для разных координат определяется относительный коэффициент ослабления в радиальном направлении и, воспользовавшись формулами (1) и (2), выстраиваются АРД-диаграммы (см. рис. 6) для различных координат контроля, по которым проводится оценка допустимости несплошностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 4491-86. Центры колесные литые для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия.
2. ТУ У 14-4-497-2001 Центры колесные катаные для тепловозов. Технические условия.
3. Киреев А. Н. Улучшение показателей качества и надежности катаных колесных центров тепловозов путем повышения достоверности ультра-

4. звукового контроля // Рухомій склад та спеціальна техніка залізничного транспорту. Зб. наук. пр. УКРДАЗТ – 2004. – № 64. – С. 110–117.
5. ГОСТ 11018-2000 Тяговый подвижной состав железных дорог колеи 1520 мм. Колесные пары. Общие технические условия.
6. Ермолов И. Н. Неразрушающий контроль. Кн. 2. Акустические методы контроля / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов. – М.: Высш. шк., 1991. – 283 с.
7. Басов Г. Г. Особенности ультразвукового контроля в радиальном направлении осей колесных пар подвижного состава железных дорог / Г. Г. Басов, В. Л. Марков, А. Н. Киреев, С. А. Волкова // Техническая диагностика и неразрушающий контроль – 2004. – 3. – С. 49–50.
8. Голубев А. С. Расчет акустического тракта эхodefектоскопа при контроле изделий с криволинейной поверхностью контактным способом / А. С. Голубев, С. К. Паврос // Известия Ленинградского электротехнического института. – 1970. – № 89. – С. 122–124.
9. Розина М. В. Некоторые особенности ультразвукового контроля тел вращения // Дефектоскопия. – 1966. – № 4 – С. 16–21.
10. ГОСТ 14782. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.

Поступила в редколлегию 09.02.2006.