

УДК 629.4.027

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.147.2014.74064>

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ОСЕЙ КОЛІСНИХ ПАР ВАГОНІВ
ЗА ДОПОМОГОЮ КОЕРЦИТИМЕТРІЇ**

Канд. техн. наук І.Д. Борзилов, старш. викл. К.В. Шевченко, В.Ю. Калитюк

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР
ВАГОНОВ С ПОМОЩЬЮ КОЭРЦИТИМЕТРИИ**

Канд. техн. наук И.Д. Борзилов, старш. преп. К.В. Шевченко, В.Ю. Калитюк

**UPGRADING OF NON-DESTRUCTIVE CONTROL OF AXES OF WHEELPAIRS OF
CARRIAGES BY MEANS OF COERCIMETER**

Cand. of techn. sciences I.D. Borzilov, K.V. Shevchenko, V. U. Kalutyuk

Для підвищення якості неруйнівного контролю осей колісних пар вагонів запропоновано, поряд з існуючими методами неруйнівного контролю використовувати на вагоноремонтних підприємствах неруйнівний контроль коерцитивної сили з визначенням залишкових і робочих внутрішніх напружень металу. Наведені результати проведеної коерцитиметрії поверхневого та глибокого шару металу осі колісної пари, яка мала явні ознаки на поверхневому шарі множинних втомних мікротріщин.

Ключові слова: вісь колісної пари, втомне руйнування, неруйнівний контроль, коерцитиметрія, структуроскоп.

Для повышения качества неразрушающего контроля осей колесных пар вагонов предложено, на ряду с существующими методами неразрушающего контроля, использовать на вагоноремонтных

предприятиях неразрушающий контроль коэрцитивной силы с определением остаточных и рабочих напряжений металла. Приведены результаты коэрцитиметрии поверхностного и глубинного слоев металла оси колесной пары, которая имела явные признаки в верхнем слое множественных микротрещин.

Ключевые слова: ось колесной пары, усталостное разрушение, неразрушающий контроль, коэрцитиметрия, структуроскоп.

Recently the number of cases of fatigue destruction of wheel sets axles wagons in operation has sharply increased in. Fractures of the axes wheel sets carriages in cold appears mainly in consequence of its limiting condition which occurs due to metal aging, gradual accumulation of metal fatigue stresses under action alternating loads, origin and development of fatigue cracks. To improve the quality of non-destructive testing of wheel axles waggon pairs was invited to use non-destructive testing coercitive force with determination of residual and operating metal tension on car-repair enterprises along with existing methods of non-destructive testing. In the article are showed results of coercimeter in upper and lower layers of metal wheel pair, which had significant signs of multiple micro cracks in the upper layer.

Keywords: axis of wheelpair, fatigue failure, non-destructive control, coercimeter, structurescope.

Постановка проблеми. За останній час стрімко зросла кількість випадків втомного руйнування осей колісних пар вагонів в експлуатації. Причина цього явища бачиться в тому, що в процесі обстеження колісних пар на вагоноремонтних підприємствах не відбувається оцінка рівня накопичених втомних пошкоджень в осях через відсутність методів та засобів неруйнівного контролю цього явища. Саме через це існує проблема підвищення якості неруйнівного контролю шляхом визначення рівня накопичених втомних пошкоджень осей колісних пар на вагоноремонтних підприємствах за допомогою коерцитиметрії як доповнення до існуючих методів ультразвукового та магнітопорошкового методів неруйнівного контролю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останніми роками коерцитиметрія [1,2] стала широко застосовуватися для контролю рівня накопичених втомних пошкоджень металоконструкцій, що є досить актуальним й для неруйнівного контролю основних елементів ходових частин вагонів.

Можливості застосування коерцитиметрії в процесі застосування неруйнівного контролю металоконструкцій вагонів описані в роботах [3,4]. Встановлено, що всі зміни в структурі матеріалу відображаються у відповідних змінах магнітних і електрофізичних параметрів. Зміни, що відбуваються в матеріалі металоконструкцій вагонів, можливо відстежувати за допомогою коерцитиметрії, прогнозуючи руйнівні пошкодження, які можуть виникнути внаслідок накопичення

втомних пошкоджень. Але фактори невизначеності, які завжди існують у використанні методів неруйнівного контролю, вносять елемент ризику в оцінку рівня накопичених втомних пошкоджень металоконструкцій. У зв'язку із цим виникає необхідність аналізу обраного методу магнітної структуроскопії для осей колісних пар, щоб можна було даний метод науковообґрунтовано рекомендувати в практику використання.

Постановка завдання. Злами осей колісних пар вагонів у холодному стані (рис. 1) відбуваються в основному внаслідок граничного стану, який настає через старіння металу, поступове накопичення в металі втомної напруги під дією знакозмінних навантажень, зародження та розвиток утомленої тріщини.

Тому основне завдання даної статті полягає в тому, щоб показати доцільність визначення залишкового ресурсу осей колісних пар вагонів, що дозволить, з одного боку, підвищити якість неруйнівного контролю під час обстеження колісних пар на вагоноремонтних підприємствах, з іншого боку — спрогнозувати вірогідність появи відмови вагонів у міжремонтний період та, як результат, підвищити безпеку руху поїздів в експлуатації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як відомо, вісь колісної пари являє собою брус змінного по довжині поперечного перетину, що зазнає складного характеру напруженого стану. Найбільші напруження викликані деформацією згину та обумовлені дією вертикального навантаження.

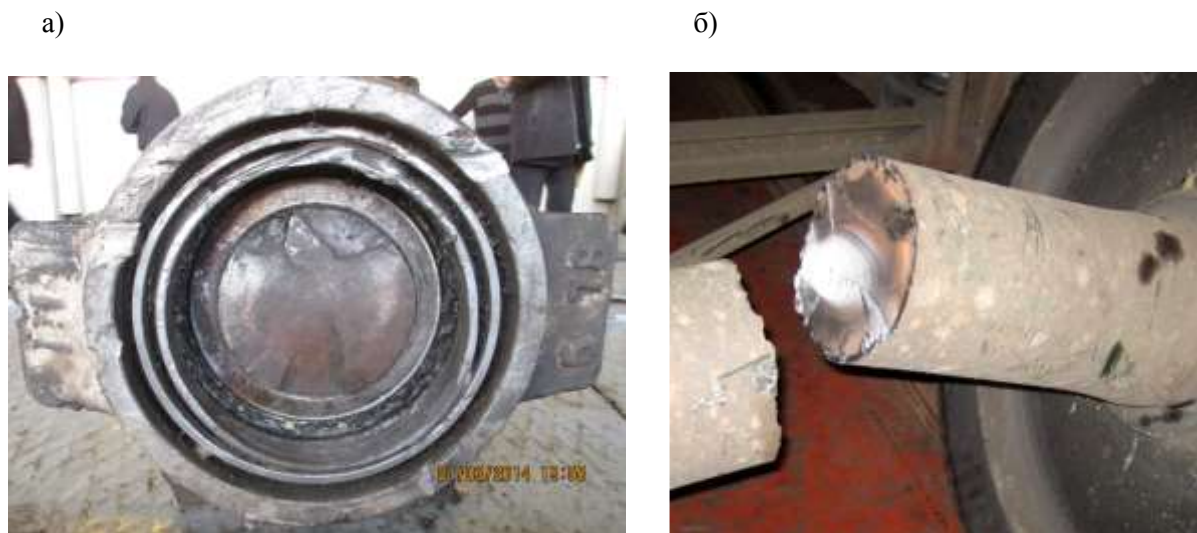


Рис. 1. Зломи осей колісної пари, що відбулися в холодному стані через зародження та розвиток утомлених тріщин: а) злом шийки в зоні лабіринтного кільця; б) злом в середній частині осі

Мікро- та макродефекти структури, накопичуючись в металі в процесі циклічного навантаження при розтягуванні, стисненні, вигині або крученні, мовби збирають і зберігають інформацію, пов'язану з максимальними величинами навантажень, які діяли на вісь, внаслідок чого структура металу виконує функцію своєрідного запам'ятовуючого датчика пікового значення сили [4].

Як основний контрольований магнітний параметр обирається величина коерцитивної сили H_c , так як вона однозначно пов'язана із залишковою пластичною деформацією ϵ_{pl} при статичному і циклічному навантаженні металоконструкцій в процесі експлуатації. За своєю природою H_c і ϵ_{pl} є взаємопов'язаними параметрами, що зростають при циклічному навантаженні, а за фізичним змістом коерцитивна сила H_c - це напруженість магнітного поля, що необхідна для повного розмагнічування попередньо намагніченого до насичення феромагнетика і може бути подана так:

$$H_c = B/E + (B/K)1/n, \quad (1)$$

де B - залишкова індукція;

K - циклічний коефіцієнт напруги;

n - циклічний коефіцієнт зміцнення;

E - модуль пружності.

Залишкова деформація ϵ_{pl} - амплітуда необоротної деформації - визначається аналогічними параметрами

$$\epsilon_{pl} = \sigma/E + (\sigma/K)1/n, \quad (2)$$

де σ - амплітуда навантаження;

E - модуль пружності.

За наявності кореляційних залежностей між H_c і ϵ_{pl} за величиною коерцитивної сили можна вести контроль накопичення пошкоджень в металі, пружно-пластичної деформації металу, а також прогнозувати втомну довговічність металу. При знятті намагнічуючого поля H через незворотність процесів індукція не обертається на нуль, а залишається деяка величина залишкової індукції. Поява великої кількості дефектів у кристалічних ґратах, напруги, які накопичуються за час експлуатації, викликають зменшення проникності і збільшення коерцитивної сили.

Різниця між цими двома значеннями коерцитивної сили (початковим та кінцевим) рівнозначна експлуатаційному ресурсу металу. Прирошення від початкового до будь-якого проміжного поточного значення коерцитивної сили являє собою відпрацьований ресурс, а різниця між кінцевим та поточним - залишковий ресурс за реальним станом накопиченої втоми.

Прикладом доцільності практичної реалізації методу вимірювання магнітної

характеристики (коерцитивної сили) осі колісної пари за допомогою магнітного структуроскопа КРМ-Ц-К2М є результати досліджень, надані в роботі [3].

Проведена коерцитиметрія поверхневого та глибокого шару металу осі колісної пари,

яка мала явні ознаки на поверхневому шарі множинних втомних мікротріщин.

Значення коерцитивної сили, що перевірено на поверхневому шарі осі колісної пари за допомогою магнітного структуроскопа КРМ-Ц-К2М, показані на рис. 2.

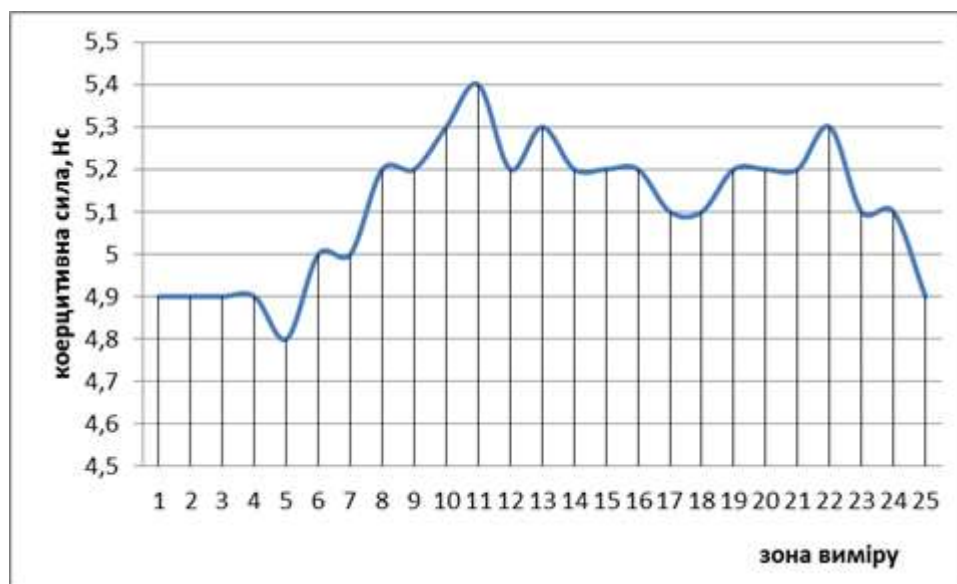


Рис. 2. Коерцитиметрія поверхневого шару металу осі колісної пари

Коерцитивна сила має мінімальні значення на кінцях осі і максимальні значення - в середній частині осі. Найбільша різниця між мінімальним значенням коерцитивної сили і максимальним з вимірюваних припадає саме на середню частину осі, тобто зону найбільшої втомної деградації, і становить $\Delta H_{clmax} = 0,5 \text{ A / см}$, або 10 % від мінімального значення. Це початковий стан накопиченої пошкодженості металу.

Для режиму багатоциклової втоми характерно накопичення втомного мікропошкодження металу саме в поверхневому шарі металу товщиною у частки міліметра. Мікротріщини є концентраторами напружень. Чим більше мікропошкодження металу втомних тріщин, тим вище значення коерцитивної сили. В середній частині осі значення показань магнітного структуроскопа КРМ-Ц-К2М найбільші.

Ці мікропошкодження при певному рівні накопиченої пошкодженості зароджують

макротріщину, яка веде до лавиноподібного руйнування осі поперечним крихким зломом.

Якщо відбуваються глибокі втомні зміни в товщі металу осі, то вимір їх датчиком глибокого контролю на стані поверхневого шару ніяк не позначиться. Це є переконливим підтвердженням того, що втомне пошкодження металу з поверхні перейшло вже в глибокі шари металу осі, тобто в стадію передруйнування.

Максимальне значення вимірів глибоких шарів металу осі колісної пари (рис. 3) припадає на середину довжини осі, що відповідає області найбільшої концентрації напружень і, як наслідок, найбільшої втоми.

Середня частина осі є зоною найбільшого приросту коерцитивної сили, $\Delta H_{clmax} = 0,5 \text{ A / см}$, що також становить приблизно 10 % від величини для даного металу в стані поставки. Вимірювання коерцитивної сили показують, що середня частина осі знаходиться в стані переходу від поверхневого пошкодження до пошкодження по всій товщині.

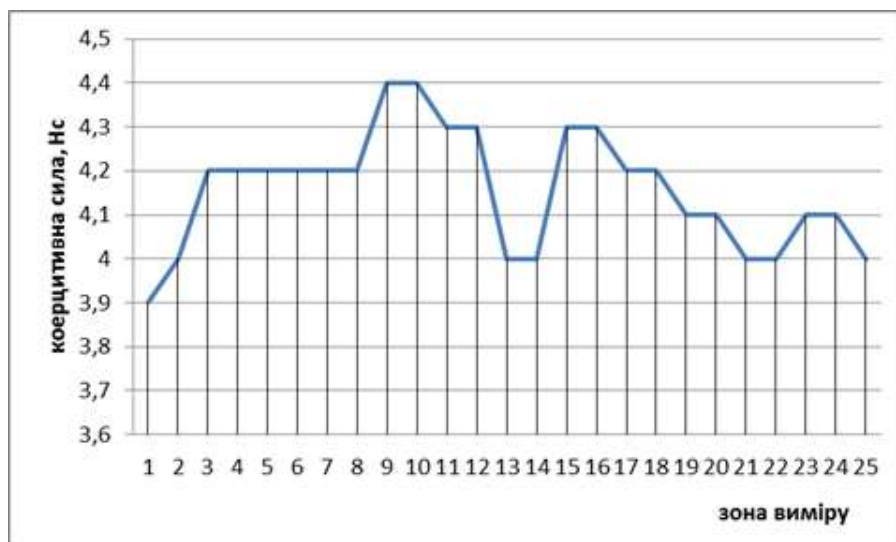


Рис.3. Коерцитиметрія глибинних шарів металу осі колісної пари

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, для визначення технічного стану осей колісних пар вагонів, поряд з існуючими методами неруйнівного контролю, доцільно використовувати неруйнівний контроль коерцитивної сили з визначенням залишкових і робочих внутрішніх напружень металу. На

етапі впровадження методу магнітної структуроскопії для вимірювання магнітної характеристики – коерцитивної сили осей колісних пар вагонів, бажано виконати втомні багаточислові випробування нової осі до стану руйнування, з вимірюваннями коерцитивної сили, з метою визначення ступеня деградації металу.

Список використаних джерел

1. Бида, Г.В. Коэрцитиметрия в неразрушающем контроле [Текст] / Г.В.Бида // Дефектоскопия. – 2000. - № 10. – С. 3-28.
2. Богачева, Н.Д. Расширение возможностей применения коэрцитивной силы [Текст] / Н.Д. Богачева // В мире неразрушающего контроля. – 2005. - № 2 – С. 8-10.
3. Безлюдько, Г.Я. Оценка степени усталости металла как наиболее эффективного средства повышения безопасности движения [Текст] / Г.Я. Безлюдько // Вагонный парк. – 2010. – № 4. – С.44-46.
4. Шевченко, К.В. Магнітний контроль рівня накопичених втомних пошкоджень металоконструкцій вантажних вагонів [Текст] / К.В.Шевченко, С.А. Кравченко // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 141. – С. 75-79.

Рецензент д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов

Борзилов Іван Дмитрович, канд. техн. наук, професор кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: +38 (057) 730-10-35, 066-771-01-81.

Шевченко Костянтин Віталійович, старш. викл. кафедри вагонів Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: +38 (057) 730-10-35, 099-009-96-79.

Калитюк Володимир Юрійович, слухач НН ІППК Української державної академії залізничного транспорту.

Borzilov Ivan D., Ph. D. (Tech), associate professor of the department of railway cars of the Ukrainian state academy of railway transportation, Kharkov, Ukraine. Tel (057) 730-10-35, 066-771-01-81.

Shevchenko Kostantin V., senior lecturer at the department of railway cars of the Ukrainian state academy of railway transportation, Kharkov, Ukraine. Tel (057) 730-10-35, 099-009-96-79.

Kalutyuk Vladimir U., student-master of the Ukrainian state academy of railway transportation, Kharkov, Ukraine. Tel (057) 730-10-35.