

УДК 656.2:620.179.1

Губаревич О.В., к.т.н.

(доц. каф. «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний університет інфраструктури та технологій);

Шведчикова І.О., д.т.н.

(проф. каф. «Енергоменеджмент та прикладна електроніка», Київський національний університет технологій та дизайну)

АНАЛІЗ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ОСЕЙ КОЛІСНИХ ПАР

У роботі проведено аналіз основних методів неруйнівного контролю для оцінювання стану осей колісних пар при виготовленні і в період експлуатації для підвищення надійності залізничного транспорту. Наведено переваги і недоліки кожного методу та обґрунтовано розширення області застосування ферозондового контролю як найбільш перспективного, який забезпечує можливість автоматизації процесу неруйнівного контролю.

Ключові слова: *колісна пара, неруйнівний контроль, вісь, автоматизація, дефектоскопія, намагнічування, магнітне поле.*

Вступ. Тяговий рухомий склад в локомотивному господарстві складає найбільшу частину в загальній вартості виробничих фондів. Ефективність його використання – одна із найважливіших задач не тільки організаторів експлуатації, але й працівників ремонтного виробництва і служб технічного обслуговування в локомотивних депо. Крім того, технічний стан тягового рухомого складу, його надійність є важливим фактором виконання головної задачі залізничного транспорту: забезпечення перевезень пасажирів і вантажів при безумовному виконанні безпеки руху поїздів. Конкурентоспроможність залізничних перевезень прямо залежить від технічних можливостей і стану тягового рухомого складу. В практиці експлуатації тягового рухомого складу набула поширення єдина планово-попереджувальна система технічного обслуговування і поточних ремонтів електровозів. Ця система постійно удосконалюється і дозволяє підтримувати експлуатаційний парк електровозів в працездатному стані.

Впровадження сучасних діагностичних методів контролю стану найважливіших та тих, що відповідають за безпеку перевезень елементів з метою оцінювання надійності є окремим та важливим завданням, яке повинно вирішуватися не тільки в період експлуатації, а також при виготовленні їх.

Одним з найбільш відповідальних вузлів рухомого складу є колісна пара,

© Губаревич О.В., Шведчикова І.О., 2018

порушення в роботі якої неприпустимі. Будь-який дефект колісної пари може привести до непоправних наслідків, які супроводжуються великими економічними втратами, а часто, і людськими жертвами. З урахуванням постійного зростання осьового навантаження вагонів зростають і вимоги до високої точності і автоматизації проведення контролю стану осей колісних пар. В даний час Держадміністрацією залізничного транспорту України, відповідно до Протоколів нарад за погодженням обсягів умов перевезень, максимальним навантаженням осі вагона на рейки при перевезенні вантажів, призначених для окремих європейських країн і прикордонних переходів, визначено осьове навантаження (брутто) і осьове навантаження (нетто), яке для різних країн знаходиться в діапазоні 20,0 – 24,5 т. У зв'язку з цим вісь, як і вся колісна пара, повинна мати високу надійність, а саме: достатню міцність і зносостійкість, що забезпечують безпеку руху відповідно до міжнародних норм [1, 2].

Враховуючи, що колісна пара є основним вузлом рухомого складу та найбільш схильна як до статичних, так й до динамічних навантажень, то діагностика стану колісної пари і, в першу чергу осей, є актуальним науково-технічним завданням від якісного та оперативного вирішення якого залежить і загальна надійність роботи всього залізничного транспорту [3, 4].

Аналіз останніх досліджень і постановка проблеми. Вісь колісної пари – це сталевий брус круглого, змінного по довжині поперечного перерізу залежно від призначення окремих частин і зусиль, що виникають в них [5-7]. На рис. 1 представлена вісь колісної пари типу РУ1-950-Г, яка містить:

- буксові шийки 1 для установки підшипників кочення, завдяки яким колісна пара має можливість вільно обертатися;
- передматочинні частини 2, розташовані між шийкою та підматочинною частиною 3 осі, і призначені для встановлення задніх ущільнюючих деталей букс (лабіринтових кілець), які запобігають потраплянню бруду і пилу в букси з боку коліс;
- підматочинні частини 3 для насаджування коліс;
- міжматочинну частину 4;
- галтелі 5, призначені для зниження концентрації напружень в місцях зміни діаметрів осі.

Осі колісних пар виготовляють куванням (з метою зміцнення) під молотом або пресом із сталевих заготовок. Для підвищення міцності використовуються накатка осі валиками і термообробка (гартування). В результаті термічної обробки, яка ведеться в спеціальній печі при автоматичній реєстрації заданих режимів, значно поліпшуються механічні властивості металу [5, 6].

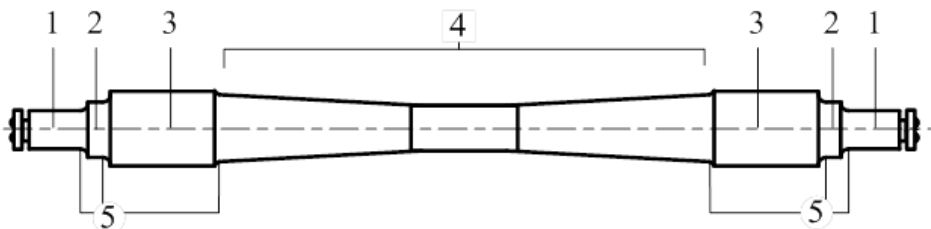


Рис. 1. Конструкція осі колісної пари типу РУ1-950-Г

Аналіз літературних джерел [6, 7, 8, 9, 10] доводить, що в процесі виготовлення валів осей колісних пар може виникати ряд виробничо-технологічних дефектів: раковини, неметалеві включення (частки шлаку, графіту, піску тощо), які утворюються в процесі виробництва сталі; волосовини, розшарування, флокени, закати, розриви, ризки, що мають різноманітну форму, виникають в процесі кування і прокату; поздовжні, похилі і поперечні тріщини виникають через наявність у верхніх шарах металу осі неметалічних включень та інших концентраторів напружень. Саме тріщини є найбільш поширеними дефектами, що виникають в процесі виготовлення осей колісних пар, виступаючи потенційними джерелами втомного руйнування. Ці дефекти, якщо вони не виявлені в процесі виготовлення, проявляються, як правило, в початковий момент експлуатації, що робить їх особливо небезпечними, тому що вони неминуче призводять до розвитку тріщин втоми і подальшого зламу осі. Осі, що мають поперечні і похилі під кутом до горизонту понад 30° тріщини, незалежно від їх довжини, а також тріщини поздовжні і похилі під кутом, рівним або менше 30° , загальною довжиною більше 25 мм до експлуатації не допускаються [7].

Крім дефектів виробничого походження окрему небезпеку становлять не виявлені своєчасно дефекти, що виникають в процесі експлуатації колісних пар. Як свідчить досвід з організації та проведення діагностичних обстежень вагонних колісних пар [11, 12], найбільш поширеними типами таких дефектів є втомні поздовжні і поперечні тріщини, які з'являються в осях під маточинами напесованих на них коліс, під кільцями роликів підшипників, а також протертя, задираки, забоїни і зігнутість осі. Протертя осі колісної пари в середній частині викликається неправильним складанням та регулюванням важеля передачі гальма. В експлуатації таке протертя допускається на глибину не більше 2,5 мм (5 мм по діаметру), а при виході вагонів з періодичного ремонту – не більше 2 мм [13].

Аналіз інформаційних джерел свідчить, що для виявлення дефектів втомного походження, які виникають в процесі виробництва, експлуатації, технічного обслуговування осей колісних пар рухомого складу, знайшли застосування різноманітні методи неруйнівного контролю. Перспективним є застосування таких методів, які забезпечують можливість автоматизації процесу контролю [3, 14, 15]. Крім підвищення якості і надійності автоматизація також дає економічний ефект за рахунок значного скорочення часу, що витрачається на контроль деталей.

На жаль, надійність контролю для існуючих в даний час технічних засобів суттєво залежить від стану, кваліфікації та відповідальності персоналу: із загального числа випадків небезпечного руйнування деталей близько 20% становлять випадки, які є наслідками дефектів, пропущених з вини оператора. Проблемою також є недостатня продуктивність ручного контролю.

Автоматизація засобів неруйнівного контролю набуває особливої актуальності в умовах реальної економічної ситуації в залізничній галузі. До того ж, для виходу на європейський ринок з конкурентоздатною вітчизняною продукцією, як осей і колісних пар, так і контрольного діагностичного обладнання, виробництво повинно відповідати міжнародним стандартам (AAR, ISO та EN) і, як мінімум, вимогам ISO 9001. Для сучасних компаній відповідність вимогам ISO 9001 – це той мінімальний рівень, який надає їм можливість входження в ринок, а сертифікат відповідності ISO 9001 виступає зовнішнім незалежним підтвердженням досягнення вимог

міжнародного стандарту. Метою серії стандартів ISO 9000 є, в першу чергу, стабільне функціонування документованої системи менеджменту контролю якості продукції підприємства-постачальника, і це повинно бути забезпечено при використанні автоматизованих систем контролю з видачею протоколів. Тому забезпечення автоматизації контролю якості при постачанні обладнання закордонним партнерам особливо актуальне. В даний час автоматизація контролю якості осей колісних пар забезпечується обмеженою кількістю методів і показників.

Таким чином, визначальним у виборі методу діагностики осей колісних пар є висока точність і автоматизація процесу контролю для підвищення надійності експлуатації залізничного транспорту. Для обґрунтованого вибору методу неруйнівного контролю осей необхідно мати інформацію про особливості застосування методів. Отримання такої інформації має базуватися на проведенні системного порівняльного аналізу існуючих методів неруйнівного контролю осей колісних пар.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є проведення порівняльного аналізу існуючих методів неруйнівного контролю осей колісних пар з точки зору їх впливу на підвищення надійності експлуатації залізничного транспорту.

Матеріали та методи дослідження. До основних методів неруйнівного контролю, прийнятих в машинобудуванні і в ремонтних депо при повному огляді колісних пар, належать: ультразвуковий, магнітопорошковий та вихрострумний методи контролю.

Для дефектоскопії валів залізничних осей як на етапі виготовлення, так і при повному огляді колісної пари в ремонтних депо, в більшості випадків використовують ультразвуковий метод зі скануванням контрольованої зони оператором-дефектоскопістом за допомогою ручних приладів.

Ультразвуковий контроль (УЗК) заснований на властивості ультразвукових хвиль відбиватися від неоднорідностей в середовищі, по якому вони поширюються або поглинаються. Як випромінювач і приймач ультразвукових коливань застосовують пластини (п'єзоелементи) з титанату барію або цирконата титаната свинцю, що здатні перетворювати електричну напругу в механічні коливання, які передаються в контрольовану вісь. Все необхідне для роботи п'єзопластини зібрано в окремому блоці, так званому шукачі. Схема ультразвукового шукача наведена на рис. 2.

Для контролю колісних пар застосовують прямі (плоскі) і похилі (призматичні) шукачі. Для більш надійного акустичного контакту між протектором і поверхнею контрольованої деталі вводиться прошарок масла [16].

Напруга у вигляді коротких імпульсів подається на п'єзопластини, викликаючи її коливання. Пружні хвилі від п'єзопластини проходять з одного боку до демпфера, а з іншого - через протектор і прошарок масла в деталь. Ультразвукові коливання від прямих шукачів проходять вглиб контрольованої деталі, перпендикулярно тієї поверхні, через яку вони вводяться, а від похилих шукачів - під кутом до поверхні. Тому для виявлення дефектів, розташованих під деяким кутом до площини хвиль випромінювання, необхідно використовувати кілька кутів подачі коливань. Застосування УЗК забезпечує виявлення «непрозвучних» осей на етапі виготовлення, а також внутрішніх тріщин та внутрішніх несучільностей. Осі колісних пар, у яких не виявляється донне відбиття та відбиття від галтелей (це показує на велике поглинання ультразвуку, викликане крупнозернистою структурою металу), є «несучільними».

Ультразвукова дефектоскопія заснована на техніці порівняння. Використовуючи відповідні контрольні стандарти, принципи поширення звукової хвилі і загальноприйняті процедури проведення вимірювань, оператор розпізнає відбиття сигналу, що належать до геометрії виробу або вказують на дефект. Відбиття сигналів, отримане в тестовому зразку, зіставляються з такими ж сигналами у калібрувальному зразку для визначення їх відповідності стандарту.

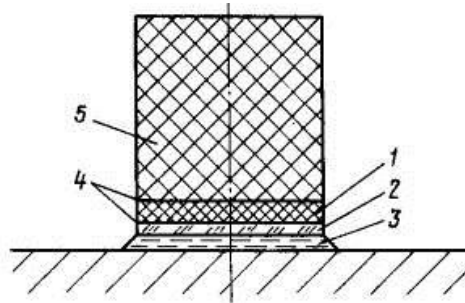


Рис. 2. Схема ультразвукового шукача:

1 – п'єзоелемент; 2 – протектор; 3 – шар контактної рідини; 4 – електрод; 5 – демпфер

Як відомо [16, 17], ультразвукові хвилі мають різні швидкості поширення в різних середовищах. Для сталі осей співвідношення швидкостей такі: поздовжні хвилі $C_e \sim 5900$ м/с, поперечні хвилі $C_t = 0,55C_e = 3245$ м/с і поверхневі $C_r = 0,92C_t = 2985$ м/с. Будь-якому типу хвилі відповідає певна довжина, яка є інтервалом між будь-якими двома відповідними точками в хвильовому циклі при проходженні через речовину. Довжина хвилі λ відноситься до частоти f і швидкості c звуку таким чином:

$$\lambda = c/f. \quad (1)$$

Довжина хвилі є чинником, що обмежує кількість інформації, яку можна отримати з поведінки хвилі. В ультразвуковій дефектоскопії загально прийнято, що нижня межа для виявлення дефекту становить половину довжини хвилі. Дефект меншого розміру буде не розпізнано. Цей параметр впливає на чутливість методів ультразвукового контролю, під якою розуміють мінімальні розміри дефектів, що визначаються цим методом.

Виявлення дефектів в деталях засноване на реєстрації сигналів, відбитих від дефектів. Якщо розмір дефекту « b » в виробі (рис. 3, а) менше довжини хвилі λ , то хвиля, огинаючи його, проходить далі та на екрані дисплея дефектоскопа сигналу від нього не виникає. Якщо розмір дефекту більше довжини хвилі λ , то хвиля відбивається від дефекту (рис. 3, б), і відбитий сигнал буде зареєстрований.

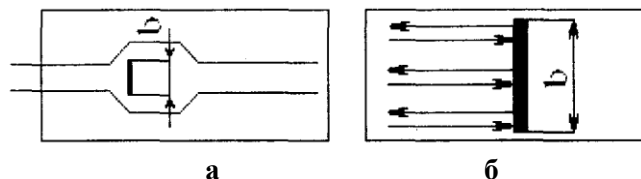


Рис. 3. Відбиття хвилі від дефекту:

а) розмір дефекту менше довжини хвилі λ ; б) розмір дефекту більше довжини хвилі λ

Якщо провести розрахунок довжини хвилі λ , то отримаємо: $\lambda = C_s/f = 5900/2,5 = 2,36$ мм. Таким чином, якщо дефект менш 2,36 мм, то при частоті ультразвукових коливань 2,5 МГц він не буде виявлений. В табл. 1 наведені номінальні значення основних параметрів при проведенні обстежень методом УЗК [16].

- Основні типи дефектів, що виявляються в осі колісної пари, поділяються на [7, 13]:
- тріщини на циліндричних поверхнях шийок і передматочинних частин;
 - тріщини в галтелях шийок і передматочинних частин;
 - тріщини в підматочинній частині;
 - поперечні тріщини в міжматочинній частині (рис.1).

Таблиця 1

Номінальні значення основних параметрів методу УЗК чорнових осей

Основний параметр контролю	Значення параметра при глибині залягання, мм		
	від 30 до 380	від 380 до 700	більше 700
Частота ультразвукових коливань, МГц	2,5		
Діаметр п'єзоелемента, мм	12		
Кут введення, град.	0		
Гранична чутливість S_n , мм ²	7,1	28,3	63,6

Різноманітність завдань, що вирішуються ультразвуковими дефектоскопами при неруйнівному контролі металовиробів, призвело до розробки і використання цілого ряду різних методів. Найбільш поширеним на практиці є імпульсний луна-метод і метод звукової тіні (останній називають також тінювим методом). Застосовують також резонансний метод, методи акустичного імпедансу, вільних коливань і акустичної емісії.

На залізничному транспорті широко використовують луна-імпульсний метод [12, 18]. У цьому випадку застосовують один шукач, який випромінює і приймає ультразвукові хвилі. Від шукача 4 (рис. 4) періодично виходять короткі ультразвукові імпульси, які поширюються по контрольованій деталі 5.

В проміжку між імпульсами перетворювач приймає відбиті від дефектів 6 і різних стінок деталі 5 ультразвукові хвилі. При нормальному падінні хвиль, коли стінки деталі паралельні (рис. 4, а), на екрані дефектоскопа виникають сигнали 2 від дефекту 6 і сигнали 3 від протилежної стінки. При похилому падінні ультразвукових хвиль (рис. 4, б) на екрані дефектоскопа в загальному випадку з'являється тільки сигнал 2 від дефекту 6. Наявність дефекту визначають за появою сигналу на екрані дефектоскопа, а глибину залягання його – за часом проходження ультразвуку.

В проміжку між імпульсами перетворювач приймає відбиті від дефектів 6 і різних стінок деталі 5 ультразвукові хвилі. При нормальному падінні хвиль, коли стінки деталі паралельні (рис. 4, а), на екрані дефектоскопа виникають сигнали 2 від дефекту 6 і сигнали 3 від протилежної стінки. При похилому падінні ультразвукових хвиль (рис. 4, б) на екрані дефектоскопа в загальному випадку з'являється тільки сигнал 2 від дефекту 6. Наявність дефекту визначають за появою

сигналу на екрані дефектоскопа, а глибину залягання його – за часом проходження ультразвуку.

Для ультразвукової дефектоскопії осей колісних пар використовують такі основні технологічні прийоми [18]:

а) наскрізний контроль поздовжніми ультразвуковими хвилями шляхом їх введення з торця осі за допомогою прямого ультразвукового шукача, при цьому може бути перевірена ближня до точки введення шийка осі і віддалені від неї підматочинна частина і половина міжматочинної частини осі (рис. 1);

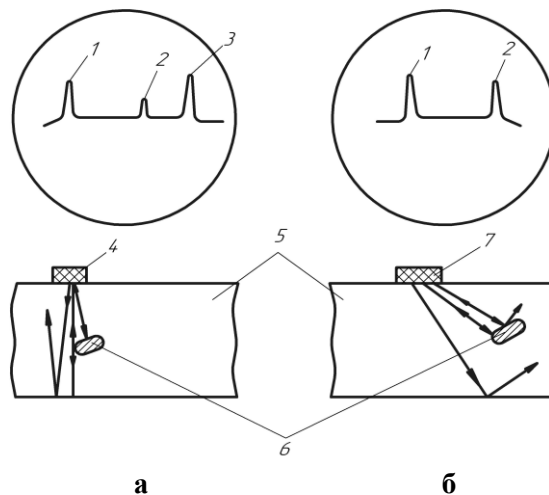


Рис. 4. Луна-імпульсний метод:

1 – початковий сигнал; 2 – сигнал від дефекту; 3 – донний сигнал;
4 – прямий шукач; 5 – деталь; 6 – дефект; 7 – похилий шукач

б) контроль поздовжніми хвилями шляхом їх похилого введення з торця за допомогою похилого шукача з малим кутом падіння (6-8°), при цьому перевіряється ближня до точки введення підматочинна частина з більш високою чутливістю, ніж при першому прийомі;

в) контроль поперечними хвилями шляхом їх похилого введення з циліндричної поверхні осі за допомогою похилого шукача з кутом падіння близько 37-40°. Цей метод використовується, як правило, лише при підтвердженні дефекту, виявленого одним з перших двох методів, оскільки він хоча і більш чутливий, але вимагає великих витрат часу. Таким чином, кожна вісь перевіряється не менше ніж двома типами шукачів: прямим шукачем 0° і призматичним 6° (8°) або 37° (40°).

При виготовленні осей або осьових заготовок колісних пар слід проводити перевірку структури їх сталі методом прозвучування таким чином, щоб донне відображення в осі або в її заготовці по висоті було не нижче відображення в еталонному бруску. Якщо воно нижче, то вісь бракують і направляють на додаткову термообробку.

До переваг методу УЗК належать: висока чутливість, що дозволяє виявляти мінімальні дефекти; велика проникаюча здатність, що дозволяє виявити внутрішні дефекти, не вдаючись до розбирання вузла або конструкції; відносна простота контролю; можливість автоматизації та розшифрування результатів контролю.

До недоліків методу належать: необхідність високої чистоти поверхні контрольованої деталі; наявність мертвих зон; необхідність розробляти спеціальні методи контролю окремих деталей; значні похибки показань приладу, що реєструє рівень прийнятого сигналу, через нестабільність акустичного контакту шукачів з контрольованою деталлю, а також труднощі його застосування для контролю виробів з грубими, неочищеними поверхнями і неоднорідною структурою; низька продуктивність контролю; вплив на результати контролю оператора (людський фактор) і найважливіше – неможливість автоматизованого контролю з формуванням протоколу на кожну вісь без участі оператора.

Ультразвуковий контроль рекомендований існуючими стандартами і рекомендаціями як основний метод неруйнівного контролю, як при виробництві осей колісних пар, так і при всіх видах огляду колісної пари.

Магнітопорошковий контроль (МПК) використовується, в основному, при контролі чистових осей на виявлення поверхневих дефектів, розташованих в рекомендованих зонах контролю осі колісної пари [18]. Магнітопорошкова дефектоскопія – це метод неруйнівного контролю, призначений для визначення дрібних дефектів у поверхневій та підповерхневій структурі металу, що проходять всередину виробу. Даний метод ефективний у визначенні тріщин, надривів, волосовин, непровару, пор і інших дефектів. МПК ефективний для виявлення поверхневих дефектів на циліндричних поверхнях і поверхнях галтельних переходів від одних частин чистових осей до інших. Магнітопорошковий метод широко поширений завдяки своїй чутливості, наочності та універсальності [19, 20].

МПК заснований на реєстрації магнітних полів розсіювання над дефектами з використанням як індикатора феромагнітного порошку або магнітної суспензії. Наявність дефектів в феромагнітному об'єкті викликає відхилення силових ліній магнітного поля, створення місцевих магнітних полів розсіювання і локальних магнітних полюсів і, відповідно, зміни в русі порошку.

Магнітопорошкова дефектоскопія складається з таких етапів:

- попередня підготовка поверхні, очищення від іржі і забруднень;
- намагнічування досліджуваної поверхні;
- нанесення на поверхню дрібнодисперсного феромагнітного порошку або феросуспензії;
- візуальне вивчення поверхні і фіксація освічених індикаторних малюнків, їх розшифрування і бракування;
- розмагнічування поверхні з контролем розмагніченості і видалення з деталі залишків магнітного індикатора.

Дрібнодисперсний магнітний порошок втягується в область дії утворених локальних магнітних полюсів і розтікається по поверхні виробу, утворюючи валики по формі тріщин й інших дефектів. У магнітопорошковій дефектоскопії використовується сухий і мокрий способи нанесення порошку. Як правило, для грубооброблених або необроблених поверхонь використовується сухий метод. Контроль виробів з високим класом шорсткості проводиться за допомогою суспензії з дрібнодисперсного порошку на основі масла або гасу.

Для поліпшення візуальності при магнітопорошковому методі неруйнівного контролю в порошок додається двоокис титану або окис цинку для додання йому сірого кольору. Також застосовується контроль за допомогою ультрафіолетового

випромінювання, для чого використовується спеціальний люмінесцентний магнітний порошок.

При наявності на поверхні деталі тріщини процес намагнічування супроводжується (внаслідок зміни магнітної проникності) концентрацією магнітних силових ліній до насичення на загострених крайках тріщини і формуванням в цих місцях магнітних полюсів. Якщо на таку деталь нанести феромагнітний порошок, то під дією сил магнітного поля частинки порошку будуть накопичуватися і утримуватися в тому місці, де тріщина виходить на поверхню. Частинки порошку в цьому випадку будуть ніби описувати контур тріщини, таким чином показувати її форму, довжину та місце розташування.

При використанні магнітопорошкових дефектоскопів дефекти виявляються візуально по скупченню порошку дрібнорозмелених частинок феромагнітного матеріалу в місцях розташування дефектів. На феромагнітну частку з магнітним моментом \bar{M} , вміщену в нерівномірне поле вектора напруженості \bar{H} , діє пондеромоторна сила \bar{F}

$$\bar{F} = M_x \frac{\partial H_x}{\partial x} \bar{i}_x + M_y \frac{\partial H_y}{\partial y} \bar{i}_y + M_z \frac{\partial H_z}{\partial z} \bar{i}_z. \quad (2)$$

Магнітопорошковий контроль виключає автоматизацію, тому що виявлення дефекту здійснює людина-оператор, ретельно оглядаючи поверхню контрольованого об'єкта, обробленого магнітним порошком, і дає висновок про придатність виробу або про його дефектності. Спроби вирішення цієї проблеми за рахунок використання модернізованих ручних дефектоскопів і механізованих пристроїв частково вирішують задачу продуктивності, але не вирішують проблему «людського чинника». Помітним кроком вперед є використання в установках магнітопорошкової дефектоскопії системи кольорових відеокамер з високою роздільною здатністю для спостереження за станом поверхні осі колісної пари і виявлення індикацій.

Поверхня об'єктів контролю при МПК повинна бути попередньо очищена від бруду, окалини і знежирена. Можливості магнітопорошкового методу також тісно пов'язані з класом обробки поверхні. Надійне виявлення дефектів вимагає чистоти обробки поверхні до 6-8 класу шорсткості. При поверхні, обробленої за 5-м класом шорсткості, чутливість методу знижується, тому що на шорсткій поверхні з'являється деякий розмитий фон порошку, що осів, який ускладнює виявлення дефектів.

На ремонтних підприємствах рухомого складу застосовуються магнітопорошкові дефектоскопи на базі соленоїдів типу МД-12ПШ, МД-12ПЕ, МД-13ПР, сідлоподібного типу МД-12ПС і установки типу УМДП-01 і МДУ-1КПВ, якими забезпечується намагнічування досліджуваного вала осі колісної пари. Більшого поширення для намагнічування різних деталей рухомого складу засобом прикладеного поля отримали дефектоскопи сідлоподібного типу МД-12ПС, що застосовуються для виявлення поверхневих поперечних тріщин у внутрішніх шейках і міжматочинних частинах осей локомотивних колісних пар. Схема сідлоподібного дефектоскопа подана на рис. 5.

Для вирішення завдань контролю осей колісних пар залізничних вагонів при їх випуску з виробництва і після ремонту використовується установка мокрою

магнітопорошкового контролю залізничних осей українських виробників, яка забезпечує виявлення поверхневих дефектів поздовжньої і поперечної орієнтації відповідно до ГОСТ 31334, EN 13261, РД 32.144-2000 мокрим флуоресцентним магнітопорошковим методом, комбінованим способом намагнічування (циркулярний, полюсне) з використанням змінного струму [21].

Магнітопорошковий метод застосовується практично у всіх галузях промисловості. Висока чутливість методу дозволяє надійно виявляти досить малі дефекти з шириною розкриття понад 1 мкм, глибиною понад 10 мкм і довжиною від 0,5 мм і вище при обробці поверхні не нижче R_z 25 і диференціальній магнітній проникності $\mu \geq 50$.

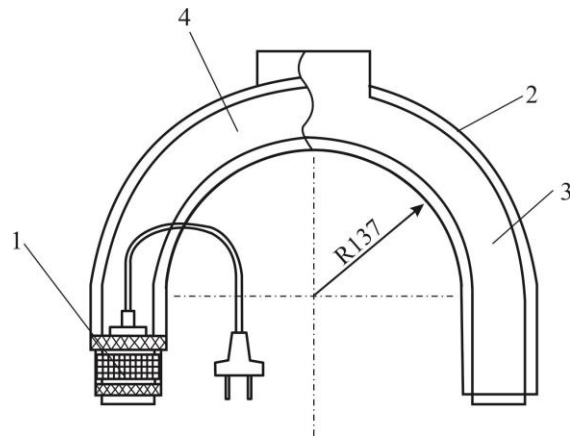


Рис. 5. Схема сідлоподібного дефектоскопа:

1 – котушка намагнічування; 2 – корпус; 3 – боковини; 4 – підковоподібний магнітопровід

До основних переваг магнітопорошкової дефектоскопії при дослідженні осей колісних пар належать:

- порівняно невеликі трудомісткість і тимчасові витрати на проведення діагностики;
- можливість ефективного пошуку втомних поверхневих і підповерхневих тріщин, що виникають в ході експлуатації осей колісних пар;
- візуальну наочність результатів;
- низьку вартість процесу і обладнання;
- високу надійність обладнання.

До недоліків МПК належать:

- високі вимоги до стану поверхонь перед проведенням діагностики;
- неможливість безпосереднього контролю в стиках деталей або в складальних одиницях без їх розбирання;
- недостатня глибина діагностики для визначення внутрішніх втомних дефектів осей;
- низька продуктивність контролю;
- обов'язкова участь досвідченого оператора для знаходження дефектів;
- труднощі, що виникають при розмагнічуванні громіздких деталей;
- неможливість контролю деталей з кольорових металів і деяких видів сталей;
- неможливість автоматизації процесу.

Крім МПК для контролю і діагностики стану валів колісних пар допускається застосування вихрострумowego контролю (ВСК), що виконується автоматизованими засобами [11, 12, 20, 22]. Вихрострумowy метод використовується в якості альтернативного магнітопорошкового методу, але тільки в тому випадку, якщо методика ВСК забезпечує збіг з результатами МПК на виявлення поверхневих дефектів, проте в якості арбітражного методу використовують МПК.

Принцип дії вихрострумowych дефектоскопів полягає в порушенні вихрових струмів в локальній зоні контролю і реєстрації змін їх електромагнітного поля, обумовлених дефектом і електрофізичними властивостями об'єкта контролю. Як джерело електромагнітного поля найчастіше використовується індуктивна котушка (одна або кілька), що утворює вихрострумowy перетворювач.

Вимірювальний перетворювач складається з обмотки збудження, підключеної до генератора змінного струму, і вимірювальної обмотки, підключеної до блоку вимірювача. Синусоїдальний (або імпульсний) струм, що діє в котушці, підключеної до генератора, створює електромагнітне поле, яке збуджує вихрові струми в електропровідному об'єкті. Електромагнітне поле вихрових струмів впливає на котушку перетворювача вимірювальної обмотки, наводячи в ній електрорушійну силу або змінюючи їх повний електричний опір. Реєструючи напругу на затискачах котушки або її опір, отримують інформацію про властивості об'єкта і про становище перетворювача щодо нього.

Напруга залежить від таких причин (факторів): товщини досліджуваного виробу, електричної провідності об'єкта, магнітної проникності, стану поверхні, наявності та розмірів дефектів, зазору і орієнтації осі перетворювача, хімічного складу і структури, температури тощо. Магнітне поле перетворювача збуджує в плоскому об'єкті контролю концентричні вихрові струми, щільність яких максимальна на поверхні електропровідного об'єкта в контурі, діаметр якого близький до діаметра обмотки збудження. Магнітне поле вихрових струмів протилежно первинному магнітному полю обмотки, тому результуюче поле залежить від електромагнітних властивостей контрольованого об'єкта і від відстані між перетворювачем і об'єктом (від зазору).

Важлива особливість вихрострумowego контролю – це безконтактність, тобто між об'єктом контролю і перетворювачем створюється невелика (до 2 мм), але достатня відстань для вільного руху перетворювача. Вихрострумowy метод дозволяє проводити контроль на великих швидкостях, які недоступні іншим методам.

Отримання інформації у вигляді електричних сигналів, безконтактність і висока швидкість вихрострумowego контролю визначає досить високу продуктивність і можливість автоматизації контролю, причому заповнення порожнини дефекту брудом, нагаром, неелектропровідними оксидами не призводить до зниження їх виявлення. Вихрострумові перетворювачі стійкі до механічних і атмосферних взаємодій, можуть працювати в агресивних середовищах, при високих температурах і тисках, оскільки в більшості випадків котушки перетворювачів поміщають в запобіжний корпус і герметично закривають. ВСК може бути також ефективний при проведенні діагностики об'єктів, що мають складну об'єкта контролю.

До основних недоліків вихрострумowego контролю належать:

- можливість проведення контролю тільки для електропровідних об'єктів: метали, сплави, графіт, напівпровідники;
- малу глибину зони контролю, яка не перевищує декількох міліметрів, що пов'язано з особливостями поширення електромагнітних хвиль матеріалом об'єкта;
- можливість спотворення одного параметра іншими.

Крім того, вихрострумовой контроль не виявляє дефекти в елементах конструкцій і деталях з поверхнями, на які нанесені електропровідні захисні покриття, якщо дефект не виходить на поверхню покриття та з поверхнями, покритими корозією. Виявлення дефекту при інших рівних умовах залежить від його типу. Найкращим чином виявляються дефекти типу втомних тріщин, орієнтовані перпендикулярно контрольованій поверхні. Ширина розкриття втомних тріщин в певних межах не впливає на їх виявлення (20-30 мкм), однак виявлення дуже щільних тріщин різко зменшується. Таке явище, наприклад, характерне для гартівних тріщин. Подряпини і надрізи в порівнянні з втомними тріщинами, як правило, виявляються значно гірше.

Таким чином, за допомогою вихрострумowego контролю виявляють дефекти типу несучільностей, що виходять на поверхню або залягають на невеликій глибині, а також різноманітні поверхневі тріщини, розшарування, раковини, неметалеві включення тощо.

На сьогоднішній день вихрострумовой неруйнівний контроль дозволяє досить якісно виконувати технічну діагностику електропровідних прутків, дроту, труб, листів, пластин, покриттів (не виключаючи і багатощарові), залізничних рейок, корпусів атомних реакторів, кульок і роликів підшипників, кріпильних деталей та інших промислових виробів з метою виявлення несучільностей матеріалів (дефектоскопія і дефектометрія), контролю розмірів об'єктів контролю і параметрів вібрацій (товщинометрія і віброметр), визначення фізико-механічних властивостей і структурного стану (структуроскопія), виявлення електропровідних об'єктів (металошукачі) тощо.

Слід зазначити, що ультразвуковий та вихрострумовой методи знайшли використання в установках для автоматизованого контролю осей колісних пар. Так, для проведення автоматизованого ультразвукового імерсійного контролю всіх типів осей призначена система автоматизованого ультразвукового контролю «САУЗК Уніскан-Луч ОСЬ-4». Ця система забезпечує проведення повного ультразвукового контролю з наступним аналізом результатів і прийняттям рішення про бракування осі, а також видачею повного протоколу контролю в електронному вигляді [23]. Автоматизована установка для комплексного неруйнівного контролю колісних пар вагонів РНК КП-8.3 призначена для контролю колісних пар вантажних вагонів і вагонів-холодильників ультразвуковим і вихрострумовой методами з метою виявлення в них дефектів типу неоднорідність металу, тріщин різної орієнтації, поверхневих дефектів у відповідності до існуючих вимог [24]. Проте наявність мертвих зон та мала чутливість ультразвукового контролю до поверхневих дефектів, неможливість контролю феромагнітних виробів вихрострумовой методом обмежують їх використання в автоматизованих установках.

Існує безліч різновидів ферозондових приладів, призначених для вимірювання неоднорідних полів розсіювання намагнічених об'єктів з дефектами. Згідно з існуючим

стандартом для проведення неруйнівного контролю відповідальних несучих частин таких, як бічні рами, надресорні балки та литі елементи візків вантажних вагонів, використовується саме ферозондовий метод контролю [11, 13]. При певній їх технічній адаптації та удосконаленні методів обробки інформаційних сигналів ферозондові прилади можуть бути застосовані для цілей діагностики технічного стану осей колісних пар в тому числі з забезпеченням автоматизації процесу контролю.

Ферозондовий метод неруйнівного контролю належить до магнітних методів і частково є якісним розвитком методу магнітопорошкового контролю. При проведенні контролю ферозондовим методом поля розсіювання виявляються не за допомогою феромагнітних частинок, що скупчуються над дефектами, як при проведенні магнітопорошкового методу, а за допомогою чутливих ферозондових перетворювачів. Використання ферозондових перетворювачів істотно впливає на технологію проведення контролю, яка повністю відрізняється від магніто-порошкового контролю.

Ферозондовий контроль (ФЗК) заснований на виявленні ферозондовим перетворювачем магнітного поля розсіювання дефекту на намагнічених виробах і перетворенні його в електричний сигнал. Пошук дефектів заснований на вимірюванні ферозондовим приладом градієнта напруженості магнітного поля розсіювання, створеного дефектом в намагніченому виробі і порівнянні результату вимірювання з порогом спрацьовування дефектоскопа. Дефекти виявляються за рахунок виявлення просторових спотворень магнітного поля над дефектом. Неоднорідність магнітного поля в конкретній його точці характеризується градієнтом напруженості $gradH=dH/dx$.

Висока чутливість дефектоскопів-градієнтометрів дозволяє виявляти дефекти з шириною розкриття в кілька мікрометрів і глибиною від 0,1 мм [25, 26]. Можливо виявлення дефектів дефектоскопом під немагнітним покриттям товщиною до 6 мм при шорсткості контрольованих поверхонь до R_z 320 мкм.

Процес контролю деталей ферозондовим методом здійснюється в такій послідовності:

- проводять намагнічування виробу (або його ділянки) пристроєм в напрямку, перпендикулярному найбільш вірогідному розташуванню дефектів. Для намагнічування застосовують стаціонарні або переносні намагнічуючі пристрої, що створюють на поверхні контрольованого виробу в зоні контролю тангенціальну складову напруженості магнітного поля, що дорівнює аналогічній складовій на поверхні стандартного зразка. Допускається використовувати при цьому як спосіб доданого поля, так і спосіб залишкової намагніченості;

- сканують ферозондовим перетворювачем зону контролю об'єкта паралельними проходами з кроком 10-20 мм. Ферозондовий перетворювач встановлюють в зоні контролю так, щоб його поздовжня вісь була спрямована уздовж силових ліній поля, що намагнічує, на прямих ділянках і по дотичній до поверхні – в місцях заокруглень;

- якщо над будь-якою точкою або ділянкою контрольованої деталі спрацювали звуковий і світловий індикатори дефекту і показання стрілочного приладу перевищили 25% шкали, встановлюють причину появи сигналу; для цього повторно проводять датчиком за місцем появи сигналу, знаходять точку максимуму і відзначають її;

- виконують перетворювачем кілька паралельних проходів зліва і праворуч від відмітки, знову фіксуючи точки максимумів. Якщо позначки шикуються в лінію, вона описує конфігурацію невидимого дефекту і визначає його протяжність;

– виключають з розгляду показання індикаторів, які викликані неоднорідністю поля, зумовленої конструкцією виробу. Такі сигнали слід запам'ятати, так як вони повторюються у однотипних виробів.

– для вимірювання величини градієнта напруженості магнітного поля розсіювання дефекту встановлюють перетворювач в точку, де спостерігається максимальне показання стрілочного приладу.

В даний час на залізниці ферозондовим методом, крім литих елементів конструкції візків вагонів, також контролюються корпуси автосцепок і тягових хомутів.

Ферозондовий метод має такі переваги перед іншими методами, що застосовуються для неруйнівного контролю в вагонному господарстві [27]:

- висока чутливість до магнітного поля (до 10^{-4} - 10^{-5} А/м);
- низькі вимоги до стану поверхні: допустимі забруднення деталей і лакофарбові покриття;
- можливість ефективного контролю литих і штампованих деталей з високою шорсткістю;
- можливість виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів у сталевих виробках на глибині до 10 мм;
- можливість застосування на виробках будь-яких розмірів і геометричних форм, якщо відношення їх довжини до найбільшого розміру в поперечному напрямку і їх магнітні властивості дають можливість намагнічування до ступеня, достатнього для створення магнітного поля розсіювання дефекту, що виявляється за допомогою перетворювача.

– можливість повної автоматизації проведення контролю.

До недоліків ферозондового контролю належать:

- залежність результатів контролю від величини намагніченості контрольованого об'єкта;
- неможливість контролю деталей з малими геометричними розмірами, співмірними з розмірами ферозондового перетворювача;
- жорсткі технічні вимоги до напрямку і кроку сканування деталі ферозондовим перетворювачем;
- можливість помилкових спрацьовувань при наявності локальних градієнтів магнітного поля, викликаних: магнітними плямами, наближенням до краю, наявністю виступів (буртів, ребер), наклепом, різкою зміною перетину [28];
- незручність розмагнічування громіздких осей.

Ферозондові дефектоскопи-градієнтометри в даний час активно застосовуються для контролю литих деталей, прокату, зварних з'єднань в багатьох областях промисловості, де показують якісні результати [29].

Висновки. Проведений аналіз сучасного стану неруйнівного контролю на залізничному транспорті доводить, що у практиці дефектоскопії осей колісних пар в період їх виготовлення та ремонту найбільше поширення отримав ультразвуковий та магнітопорошковий методи. Кожен метод має ряд недоліків, найбільш значні з яких такі: підвищенні вимоги до якості стану поверхні, невелика глибина пошуку дефектів, неможливість автоматизації процесу та участь у контролі людини-оператора, що знижує достовірність отриманих даних. Застосовувані в даний час методи неруйнівного контролю осей колісних пар характеризуються суб'єктивністю в оцінці дефектів і складністю або неможливістю автоматизації

процесу контролю. Повністю автоматизувати процес неруйнівного контролю дозволяє тільки ферозондовий метод, який в теперішній час використовується для контролю елементів візка вантажних вагонів. Проте для контролю осей рухомого складу цей метод досі не отримав широкого застосування через труднощі обов'язкового розмагнічування вала колісної пари та часткового впливу полів розсіяння східчастої поверхні осі, яка створює завади полів.

Основні недоліки ферозондового методу частково вирішені, а сам метод, в порівнянні з іншими, має значні перспективи найбільш широкого використання на ремонтних залізничних підприємствах. Сучасні дослідження по зниженню завад полів розсіяння вже на даному етапі дозволяють отримувати достатньо якісні результати з оцінки дефектів валів, а щодо розмагнічування громіздких деталей, то цієї ж процедури підлягають також і осі після магнітопорошкового контролю. В теперішній час ведуться дослідження щодо контролю ферозондовими методами окрім осі колісної пари також стану підшипникових вузлів.

Використання єдиного методу контролю усіх основних частин візків локомотивів буде значно вигіднішим та зручнішим для ремонтних підприємств господарства. Крім того, також необхідно враховувати при подальшому розвитку методів неруйнівного контролю той факт, що проконтрольовані вручну залізничні осі не можуть поставлятися на європейський ринок, оскільки відповідні нормативні документи передбачають обов'язковий автоматизований контроль з формуванням протоколу на кожну вісь без участі оператора.

Таким чином, згідно з проведеним порівняльним аналізом сучасного стану методів контролю осей колісних пар доцільно звернути увагу на подальший розвиток та використання для вирішення завдань неруйнівного контролю осей колісних пар перспективного ферозондового методу.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Договор о «Правилах пользования грузовыми вагонами в международном сообщении» (ПГВ)* // Организация сотрудничества железных дорог (ОСЖД) (с изменениями и дополнениями по состоянию на 19 июня 2018 г.).
2. *ГОСТ 33200-2014/Оси колесных пар железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия (с Поправкой)/Межгосударственный стандарт, Axles for wheelsets of railway rolling stock. General specifications МКС 45.060, принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 22 декабря 2014 г. N 73-П). Дата введения 2015-11-01*
3. *Shvedchykova I., Mohmed Jasim Jasim, Shevchenko O., Soloshych I. Numerical Analysis of the Informational Parameters of the Magnetic Fields in the Area of the Defects of Wheel Pairs Axes // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – № 4.3. – Special Issue 3. – P. 115-119.*
4. *Шведчикова И. А., Шевченко А. И., Солошич И. А. Применение магнитных методов неразрушающего контроля на железнодорожном транспорте // Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Технології та інфраструктура транспорту», 14-15 травня 2018 р., м. Харків, УкрДУЗТ. – С. 134-136.*
5. *Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. –Т.2: в 2 кн. –М.: Машиностроение, 2003. – 688 с.*
6. *Останин С.Н. Неисправности вагонных колесных пар и их элементов / С.Н. Останин // Вагонный парк. – 2015. – № 9-10 (102-103). – С. 32-36.*
7. *Борзилов І. Д. Підвищення якості неруйнівного контролю осей колісних пар вагонів за допомогою коерцитиметрії / І. Д. Борзилов, К. В. Шевченко, В. Ю. Калитюк // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2014. – Вип. 147. – С. 27-31.*

8. Шведчикова І.О., Жидков А.Б. Магнітні методи неруйнівного контролю технічних об'єктів. – Северодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2018. – 196 с.
9. Lenz J, Edelstein SL, «Magnetic sensors and their applications», IEEE Sensors Journal, Vol. 6, Issue 3 (2006), pp. 631-649.
10. Троицкий В. А. Магнитопорошковый контроль сварных соединений и деталей машин. – Киев: Феникс, 2002. – 300 с.
11. ЦВ-ЦЛ-0062/Інструкція з огляду, обстеження, ремонту та формування вагонних колісних пар. /Держадміністрація залізничного транспорту України, Укрзалізниця, Головне управління вагонного господарства, Київське проектно-конструкторсько-технологічне бюро по вагонах. – 2006. – 102 с.
12. ЦВ-0073/Інструкція з організації ремонту колісних пар у вагоноколісних майстернях (ВКМ) та вагонних депо (ВЧД) залізниць. /М-во транспорту України. Держадміністрація залізничного транспорту України. Голов. управ. вагонного господарства. –2006.
13. ВНД 32.0.07.001-2001 /Інструкція з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм. К., –2011/Державна адміністрація залізничного транспорту України, Укрзалізниця, відомчий нормативний документ Наказом Укрзалізниці від 29.05.2001 № 305-Ц зі змінами та доповненнями затвердженими наказами Укрзалізниці від 16.11.2004 № 863-ЦЭ, від 18.12.2007 № 598-Ц та від 20.04.2010 № 046-ЦЗ. –171с.
14. Шевченко А. И., Яковенко В. В., Тхафер Басим. Дефектоскоп для контроля осей колёсных пар подвижного состава / А. И. Шевченко, Яковенко В. В., Тхафер Басим // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2002. – № 1(47). – с. 25-27.
15. David C, Marina D.-M, Lucas P, Claudio A, “Small fluxgate mag-netometers: Development and future trends in Spain”, Sensors, No. 10 (2010), pp. 1859–1870.
16. Чистяков В. В., Молотков С. Л. Сравнительный анализ технических возможностей ультразвуковых дефектоскопов общего назначения // В мире неразрушающего контроля. – 2002. – № 2. – С. 40–44.
17. Петин С. В., Сидоренко В. Г. Обзор методов дефектоскопии при обследовании трубопроводов // Молодой ученый. – 2016. – №2. – С. 194-199.
18. Т18.04/Інструкція з ультразвукового контролю осей колісних пар при виконанні проміжної ревізії. /М-во транспорту та зв'язку України, Держадміністрація залізничного транспорту України, Укрзалізниця, Головне управління вагонного господарства. – 2006.
19. Еришов С.Г., Заславский С.Л. Методология визуализирующих методов неразрушающего контроля: три составные части успеха автоматизированных систем. – В мире неразрушающего контроля. –2006. – № 3 (33). – С. 10–12.
20. ЦВ-0118/ Інструкція з неруйнівного контролю деталей та вузлів вагонів магнітопорошковим, вихорострумовим та ферозондовим методами та з випробування на розтягання що затверджена наказом Державної адміністрації залізничного транспорту 28.12. 2009 р. № 720-Ц. – 278с.
21. Установка мокрого магнітопорошкового контролю залізничних осей УМПК-Ось-38. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://autondt.com/produksiya/73-ustanovka-mokrogomagnitoporoshkovogo-kontrolya-zheleznodorozhnykh-osej-umpk-os-38>.
22. Горкунов Б.М, Львов С.Г. Вихретоковый двухпараметровый контроль немагнитных цилиндрических изделий // Вестник национального технического университета «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». - 2004. – Вып. 7. - С. 35-41.
23. Система автоматизованого ультразвукового контролю залізничних осей «САУЗК Уніскан-Луч Ось-4». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://autondt.com/produksiya/55-os-4>.
24. Установка комплексного контролю колісних пар вагонів РНК КП - 8.3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ndt.com.ua/ru/products/at/ndt-of-wheel-pairs-snk-kp-8.3>.
25. Lu CC, Huang J, Chiu PK, Chiu SL, Jeng JT. High-Sensitivity Low-Noise Miniature Fluxgate Magnetometers Using a Flip Chip Conceptual Design // Sensors. - No. 14 (2014). – P. 13815-13829.
26. Primdahl F. The fluxgate mechanism, part I: The gating curves of parallel and orthogonal fluxgates // IEEE Trans. On Magn.. - No. 6 (1970). - P. 376-383.
27. Dolabdjian C, Saez S, Toledo AR, Robbes D. Signal-to-noise im-provement of bio-magnetic signals using a flux-gate probe and real time signal processing // Rev. Sci. Instrum. - No. 69 (1998). - P. 3678-3680.
28. Безкоровайний В.С. Підвищення перешкодостійкості ферозондових дефектоскопів до магнітних полів перешкод: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.13 / «Прилади і методи контролю та визначення складу речовин» / В. С. Безкоровайний. – Харків, 2015. – 24 с.
29. Інструкція по магнітному контролю відповідальних деталей тягового рухомого складу залізниць України (затверджено наказом «Укрзалізниці» від 04.03.03 р. №60-Ц). – К., 2003. – 87 с.

REFERENCES

1. *Dogovor o «Pravilakh pol'zovaniya gruzovymi vagonami v mezhdunarodnom soobshchenii» (PGV))*/ Organizatsiya sotrudnichestva zheleznykh dorog (OSZHD) [Agreement on "Rules for the use of freight wagons in international traffic"]. (2018).
2. *GOST 33200-2014(2014)*. Osi kolesnykh par zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya (s Popravkoy). Mezghosudarstvennyy standart [Axles for wheelsets of railway rolling stock. General specifications MKS 45.060].
3. Shvedchikova, I., Mohmed Jasim Jasim, Shevchenko, O., Soloshych, I. (2018). Numerical Analysis of the Informational Parameters of the Magnetic Fields in the Area of the Defects of Wheel Pairs Axes. *International Journal of Engineering & Technology*. 4.3. 115-119.
4. Shvedchikova, I.A., Shevchenko, A.I., Soloshych I.A. (2018). Prymenenye mahnytnykh metodov nerazrushayushchego kontrolya na zheleznodorozhnom transporte [Application of magnetic methods of non-destructive testing in railway transport]. *Mizhnarodnoi naukovykh konferentsiyi «Tekhnolohiyi ta infrastruktura transportu»*, Kharkiv: UkrDUZT, 134-136.
5. Klyuyev, V.V. (2003). *Nerazrushayushchiy kontrol': T.2 [Nondestructive testing: T.2]*. M., Mashinostroyeniye.
6. Ostanin, S.N. (2015). Neispravnosti vagonnykh kolesnykh par i ikh elementov [Faults wagon wheel pairs and their elements]. *Vagonnyy park*. 9-10 (102-103). 32-36.
7. Borzylov, I.D., Shevchenko, K.V., Kalytyuk, V.Yu. (2014). Pidvyshchennya yakosti neruynivnoho kontrolyu osey kolisnykh par vahoniv za dopomohoyu koertsyometriyi [Improving the quality of NDT axle bogies wagons using koertsyometriyi]. *Zbirnyk naukovykh prats' UkrDAZT*. 147. 27-31.
8. Shvedchikova, I.O., Zhydkov, A.B. (2018). *Mahnytni metody neruynivnoho kontrolyu tekhnichnykh obyektiv* [Magnetic methods of non-destructive testing of technical objects]. Syevyerodonetsk, vyd-vo SNU im. V. Dalya.
9. Lenz, J, Edelstein, SL (2006). Magnetic sensors and their applications. *IEEE Sensors Journal*. 6 (3), 631-649.
10. Troitskiy, V.A. (2002). *Magnitoporoshkovyy kontrol' svarynykh soyedineniy i detaley mashin* [Magnetic particle testing of welds and machine parts]. Kyev, Feniks.
11. *TSV-TSL-0062 (2006)*. Instruktsiya z ohlyadu, obstezhennya, remontu ta formuvannya vahonnykh kolisnykh par. [Instructions for inspection, inspection, repair and formation of wagon wheel pairs]. /Derzhadministratsiya zaliznychnoho transportu Ukrainy, Ukrzaliznytsya, Holovne upravlinnya vahonnoho hospodarstva, Kyivske proektno-konstruktorsko-tekhnolohichne byuro po vahonakh.
12. *TSV-0073 (2006)*. Instruktsiya z orhanizatsiyi remontu kolisnykh par u vahonokolisnykh maysternyakh (VKM) ta vahonnykh depo (VCHD) zaliznyts [Instruction on the organization of repair of wheeled pairs in carriage-car workshops and carriage depots of railways]. M-vo transportu Ukrainy. Derzhadministratsiya zaliznychnoho transportu Ukrainy. Holov. uprav. vahonnoho hospodarstva.
13. *VND 32.0.07.001-2001*. Instruktsiya z formuvannya, remontu ta utrymannya kolisnykh par tyahovoho rukhomoho skladu zaliznyts Ukrainy koliyi 1520 mm [Instruction on the formation, repair and maintenance of wheeled pairs of traction rolling stock of railways of Ukraine 1520 mm]. Kyiv –2011 Derzhavna administratsiya zaliznychnoho transportu Ukrainy, Ukrzaliznytsya, vidomchyy normatyvnyy dokument Nakazom Ukrzaliznytsi vid 29.05.2001 № 305-TS zi zminamy ta dopovnennamy zatverdzenymy nakazamy Ukrzaliznytsi vid 16.11.2004 № 863-TSE, vid 18.12.2007 № 598-TS ta vid 20.04.2010 № 046-TSZ. –171s.
14. Shevchenko, A.I., Yakovenko, V.V., Tkhafer, Basim (2002). Defektoskop dlya kontrolya osey kolosnykh par podvizhnogo sostava [Defectoscope for monitoring the axles of wheel pairs of rolling stock]. *Visnik SNU im. V. Dalya*. 1(47). 25-27.
15. David, C, Marina, D.-M, Lucas, P, Claudio, A, (2010). Small fluxgate mag-netometers: Development and future trends in Spain. *Sensors*. 10 (2010), 1859–1870.
16. Chistyakov, V.V., Molotkov, S.L. (2002). Sravnitel'nyy analiz tekhnicheskikh vozmozhnostey ul'trazvukovykh defektoskopov obshchego naznacheniya [Comparative analysis of technical possibilities of general-purpose ultrasonic flaw detectors]. *V mire nerazrushayushchego kontrolya*. 2 40–44.
17. Petinov, S.V., Sidorenko, V.G. (2016), Obzor metodov defektoskopii pri obsledovanii truboprovodov [Review of methods for defectoscopy during pipeline inspection]. *Molodoy uchenyy*. 2. 194-199.
18. *T18.04 / Instruktsiya z ultrazvukovoho kontrolyu osey kolisnykh par pry vykonanni promizhnoyi reviziyi* [Instruction on ultrasonic control of axles of wheel pairs during intermediate revision]. (2006). M-vo transportu ta zv'yazku Ukrainy, Derzhadministratsiya zaliznychnoho transportu Ukrainy, Ukrzaliznytsya, Holovne upravlinnya vahonnoho hospodarstva.

19. Yershov, S.G., Zaslavskiy, S.L. (2006). Metodologiya vizualiziruyushchikh metodov nerazrushayushchego kontrolya: tri sostavnyye chasti uspekha avtomatizirovannykh sistem. [Methodology of Visualizing Nondestructive Testing Techniques: Three Components of the Success of Automated Systems]. *V mire nerazrushayushchego kontrolya*. 3 (33). 10–12.
20. TSV-0118. Instruktsiya z neruynivnoho kontrolyu detaley ta vuzliv vahoniv mahnitoporoshkovym, vykhrostrumovym ta ferozondovym metodamy ta z vyprobuvannya na roztyahannya shcho zatverdzhena nakazom Derzhavnoyi administratsiyi zaliznychnoho transportu 28.12. 2009, № 720-TS [Instruction on non-destructive control of parts and units of cars by magnetic flux, eddy current and flux-gate methods and tensile test].
21. Ustanovka mokroho mahnitoporoshkovoho kontrolyu zaliznychnykh osey UMPK-Os-38. [The device for monitoring railway axles using the method of wet magnetic powder UMPK-Os-38]. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://autondt.com/produktsiya/73-ustanovka-mokrogo-magnitoporoshkovogo-kontrolya-zheleznodorozhnykh-osej-umpk-os-38>.
22. Gorkunov, B.M., L'vov, S.G. (2004). Vikhretokovyy dvukhparametrovyy kontrol' nemagnitnykh tsilindricheskikh izdeliy [Eddy current two-parameter testing of non-magnetic cylindrical products]. *Vestnik natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta «KHPI»*. 7. 35-41.
23. Systema avtomatyzovanoho ultrazvukovoho kontrolyu zaliznychnykh osey «SAUSK Uniskan-Luch OS'-4». [System of automatic ultrasonic control of railway axles "SAUSK Uniskan-Luch OS'-4"]. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://autondt.com/produktsiya/55-os-4>.
24. Ustanovka kompleksnoho kontrolyu kolisnykh par vahoniv RNK KP - 8.3. [The device of integrated management of wheel pairs SNK KP - 8.3]. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.ndt.com.ua/ru/products/at/ndt-of-wheel-pairs-snk-kp-8-3>.
25. Lu, CC, Huang, J, Chiu PK, Chiu, SL, Jeng, JT (2014). High-Sensitivity Low-Noise Miniature Fluxgate Magnetometers Using a Flip Chip Conceptual Design. *Sensors*. 14. 13815-13829.
26. Primdahl, F (1970). The fluxgate mechanism, part I: The gating curves of parallel and orthogonal fluxgates. *IEEE Trans. On Magn.* 6, 376-383.
27. Dolabdjian, C, Saez, S, Toledo, AR, Robbes, D, (1998). Signal-to-noise improvement of bio-magnetic signals using a flux-gate probe and real time signal processing. *Rev. Sci. Instrum.* 69, 3678-3680.
28. Bezkorovaynu, V.S. (2015). Pidvyshchennya pereshkodostiykosti ferozondovykh defektoskopiv do mahnitnykh poliv pereshkod: avtoref. dys. na здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: spets. 05.11.13 [Increase of impedance of fluxgate flaw detectors to magnetic fields of interference]. / «Prylady i metody kontrolyu ta vyznachennya skladu rechovyn». Kharkiv.
29. Instruktsiya po mahnitnomu kontrolyu vidpovidalnykh detaley tyahovoho rukhomoho skladu zaliznytsi Ukrainy (zatverdzheno nakazom "Ukrzaliznytsi" vid 04.03.03 r. №60-TS) [Instruction on magnetic control of the responsible parts of the traction rolling stock of Ukrainian railways]. (2003).

Губаревич О.В., к.т.н.

(доц. каф. «Тяго́вий подви́жний состав железных дорог», Государственный университет инфраструктуры и технологий);

Шведчикова И.О., д.т.н.

(проф. каф. «Энергоменеджмент и прикладная электроника», Киевский национальный университет технологий и дизайна)

АНАЛИЗ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ОСЕЙ КОЛЁСНЫХ ПАР

В работе проведен анализ основных методов неразрушающего контроля, применяемых для оценки состояния осей колесных пар при изготовлении и в период эксплуатации для повышения надежности железнодорожного транспорта. Приведены преимущества и недостатки каждого метода и обосновано расширение области применения феррозондового контроля, как наиболее перспективного, обеспечивающего возможность автоматизации процесса неразрушающего контроля.

Ключевые слова: колесная пара, неразрушающий контроль, ось, автоматизация, дефектоскопия, намагничивание, магнитное поле

Gubarevych Oleg

(PhD, associate professor of the department of traction rolling stock of railways, State University of Infrastructure and Technologies);

Shvedchykova Iryna

(Doctor of Technical Sciences, professor of the department of energy management and applied electronics, Kyiv National University of Technologies and Design)

ANALYSIS OF METHODS OF WHEEL PAIRS AXLES NON-DESTRUCTIVE TESTING

The analysis of the present state of non-destructive testing on railway transport is carried out in the work. It showed that ultrasonic and magnetopowder methods are the most used in the practice of defectoscopy of axles of wheel pairs during the period of their manufacture and repair. Each method has a number of disadvantages, the most significant of which are: increasing the requirements for the quality of the surface, a small depth of defect search, the impossibility of automating the process and participation of the human operator during the testing. It reduces the reliability of the data. Currently applied methods of non-destructive testing of axles of wheeled pairs are characterized by subjectivity in the evaluation of defects and the complexity or impossibility of automating the control process. The flux-gate method allows automatizing the process of non-destructive testing. It is currently used the testing of the state of the elements of the cargo cart items locomotive. The use of a single method for controlling all major parts of locomotive trucks will be considerably more profitable and more convenient for repair providers in the economy. In addition, the further development of non-destructive testing methods must also be taken into account in the fact that manually controlled railway axles cannot be supplied to the European market, since the relevant regulatory documents provide for mandatory automated control with the formation of a protocol for each axle without the participation of the operator. Thus, according to the comparative analysis of the current state of the methods of testing of the wheel pair's axles, it is advisable to pay attention to further development and use for the solution of the problems of non-destructive testing of the axles of the wheel pairs of a perspective flux-gate method.

Keywords: *wheel pair, non-destructive testing, axles, automation, defectoscopy, magnetization, magnetic field.*