

І. Ситник, власкор

# НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ РЕЙОК: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ

**Рейки в експлуатації зазнають високих навантажень під дією рухомого складу. Для забезпечення безпеки руху необхідно за допомогою відповідних методів контролю своєчасно виявляти та оцінювати дефекти, що виникають. Для цього використовується ультразвукова та вихрострумова дефектоскопія. У статті наведено сучасні методи її застосування, що дозволяють реєструвати й оцінювати дефекти як на поверхні, так і всередині рейки.**

Навантаження на рейки з боку рухомого складу в основному обумовлені контактом кочення колеса по рейці. Цей контакт може призводити до появи близьких до поверхні дефектів на внутрішній грані головки рейки у вигляді сітки тріщин, які при подальшому збільшенні можуть значно підвищити небезпеку руйнування рейки. Необхідно виявляти ці дефекти якомога раніше та оцінювати їхню глибину, щоб потім усувати їх, наприклад, шліфуванням, струганням або фрезеруванням. Для оцінки дефектів розроблена технологія випробувань, що дозволяє оцінити тріщини глибиною до 10 мм. Головна мета під час її розробки полягала в оснащенні коліс-випробувальних поїздів апаратурою для контролю рейок при швидкості до 100 км/год. Така апаратура може також бути встановлена на рейко-шліфувальних поїздах, щоб, з одного боку, перед обробкою отримувати інформацію про стан рейок, з іншого — контролювати якість обробки. Паралельно була розроблена система річної дефектоскопії рейки.

Інша методика контролю — дефектоскопія рейки груповим випромінювачем. Вона базується на ультразвуковому принципі та дозволяє виявляти й оцінювати внутрішні дефекти в рейці, орієнтовані найбільш несприятливим способом. У лабораторних умовах були проведені випробування цього методу ультразвукової дефектоскопії, що підтвердили його ефективність і придатність для широкого застосування в польових умовах.

## ► Виявлення близьких до поверхні дефектів за допомогою вихрових струмів

**Властивості близьких до поверхні дефектів.** Дефекти рейок цього виду останнім часом набувають великого значення через появу нових марок рейкової сталі, які характеризуються поліпшеними механічними характеристиками, включаючи і зносостійкість.

Тому для усунення сітки тріщин вже недостатньо знімання металу,



що з'являється при природному зносі рейки під час руху поїздів.

Близькі до поверхні внутрішньої грані головки рейки дефекти становлять собою сітку тріщин, що входять у рейку на певну глибину під гострим кутом до напрямку руху. Вони частіше зустрічаються в зовнішній рейці кривих. Кут їхнього входу в рейку коливається в діапазоні 15–30°. Подальше збільшення тріщин може призвести до їх злиття і викришування матеріалу. При тривалому збільшенні можливе утворення поперечних тріщин, які можуть стати причиною зламу рейки.

**Оснащення колієвипробувальних поїздів вихроstromовою технікою.** При дефектоскопії рейок у русі зі швидкістю до 100 км/год до колієвипробувальних поїздів ставляться максимально високі вимоги.

Вирішальну роль при цьому відіграє точне позиціонування зонда на рейці. У нових поїздах застосовується спеціальний пристрій, що дозволяє вести чотири зонди в спеціальному утримувачі по кожній рейці в ділянці внутрішньої грані головки. Зонди контролюють смугу шириною близько 24 мм. Вони встановлені із зазором 0,5 мм, який підтримується постійним завдяки роликовим напрямним, притиснутим до поверхні рейки.

Крім того, власники забезпечують надійне й безперешкодне ковзання в ділянці стрілочних переводів.

Випробувальна апаратура розміщується всередині поїзда. Вона включає в себе два чотириканальні індукційні прилади, два пов'язані з ними комп'ютери, а також ще один комп'ютер для обробки даних або їхньої попередньої оцінки. Уся система змонтована на столі звичайних розмірів. За допомогою системи глобального позиціонування отримані результати можуть бути прив'язані до місцевих координат.

Робоче місце оператора має кілька моніторів. Один із них, розташований усередині, служить для спостереження за вихроstromовою апаратурою. На ньому відображаються всі її найважливіші параметри.

Контроль одержуваних результатів вимірювань ведеться на моніторі окремого робочого місця. Результати

оцінки даних виводяться на другий монітор. На ньому отримана вимірювальна інформація оцінюється за критеріями, що обираються цілеспрямовано, найважливішим з яких є глибина тріщин, яка може визначатися для кожної з них. На базі результатів вимірювань розраховують середнє значення дефекту внутрішньої грані головки рейки.

У деяких випадках визначають також число тріщин і їх довжину. Маючи ці дані, можна зробити висновки про необхідність ремонту рейок шліфуванням, струганням або фрезеруванням. Нині удосконалюється програмне забезпечення, що дозволяє використовувати ці критерії оцінки.

**Ручний вихроstromовий контроль рейок.** Паралельно з розглянутою технікою розроблена ручна вихроstromова система (на дрезині) для контролю коротких ділянок рейок. На ній застосовується такий же зонд, як і у вимірювальній системі поїзда. Додатково використовується зонд, що дозволяє з високою місцевою роздільною здатністю підраховувати число тріщин. За допомогою встановленого на дрезині спеціального тримача можна контролювати 14 доріжок на поверхні катання рейки. Зонд утримується над рейкою з постійним повітряним зазором за допомогою такого ж напрямного пристрою, як і на колієвимірювальному поїзді.

Система дозволяє під час контролю відразу визначати глибину виявлених тріщин. Для цього служить виведена на монітор операційна панель. У верхній її частині відображається глибина дефектів на ділянці, що перевіряється. Крім того, система видає й інші важливі параметри, до яких належать:

- величини імпедансів обох вихроstromових зондів, які служать для перевірки калібрування апаратури;
- координати системи глобального позиціонування;
- параметри ділянок, де проводяться вимірювання;
- миттєві значення швидкості руху.

Результати вимірювань зберігають у запам'ятовувальний пристрій для подальшої обробки, оцінки та статистичного аналізу.



**Результати вимірювань.** Проведене раніше вивчення вихроstromового методу, що супроводжувалося металографічними дослідженнями, показало, що розроблена технологія може досить точно визначати глибину тріщин, якщо відомий кут їх входу в головку рейки.

Крім того, стають видимими інші поверхневі дефекти або неоднорідності рейки, такі, як ризики, що утворилися під час шліфування, сітки мікротріщин, місця зварювання та наплавлення рейок.

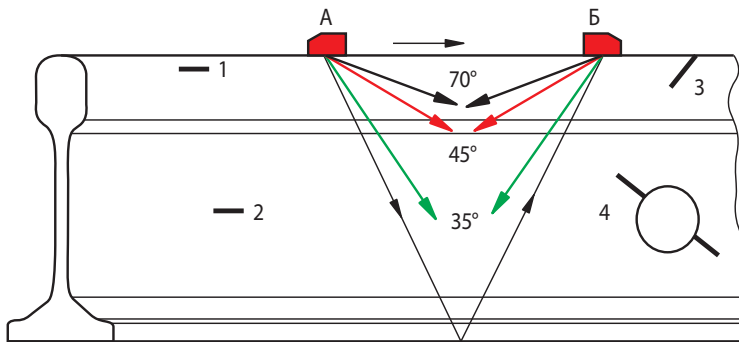
Сигнали від цих дефектів не завжди оцінюються через відсутність необхідних калібрувальних кривих, однак якісну оцінку проводять без особливих труднощів.

Надалі уточнення місцевих координат виявлених дефектів стане можливим завдяки використанню інформації про місця розташування зварних швів, отриманої за допомогою ультразвукової техніки колієвипробувального поїзда. Таким чином, вихроstromова технологія дефектоскопії має великий потенціал і широкі перспективи.

#### ► **Визначення об'ємних дефектів за допомогою техніки групових випромінювачів**

**Вимоги до дефектоскопії рейок у майбутньому.** Завдяки застосуванню сучасних матеріалів і підвищенню швидкості руху рухомого складу розширилися вимоги до рейок і відповідно збільшився каталог дефектів. Разом із виявленням дефектів значна увага повинна приділятися їх аналізу та класифікації. Традиційна ультразвукова технологія випробувань, яка (поряд із вихроstromовою) використовується на існуючих

Рис. 1. Розташування випробувальних головок під час дефектоскопії рейки в лабораторії: А, Б — випробувальні головки; 1, 2, 3 — рефлектори у вигляді пазів; 4 — рефлектори у вигляді пропилів



колієвипробувальних поїздах, побудована на ультразвукових зондах із постійним кутом подачі випробувального та оцінкою відбитого сигналу за допомогою діафрагменних пристроїв. Використання нерегульованого кута подачі сигналу обмежує можливості виявлення та аналізу дефектів, розташованих під гострими кутами до заданому напрямку.

Для того щоб виконати вимогу про проведення аналізу виявлених дефектів, необхідно погоджувати характеристики зондів із параметрами середовища поширення сигналу. Крім того, під час реєстрації результатів вимірювань має проводитися зйомка ультразвукового поля, що робить можливою оцінку відбитих сигналів у вигляді кольорових кодів, необхідну для звітної документації.

**Техніка групових випромінювачів.** Техніка керованих за часом групових випромінювачів робить можливою плавну зміну електронними засобами параметрів ультразвукового поля зондів. Це дозволяє досліджувати рейки з використанням безлічі кутів подачі сигналів і лише декількох зондів. У лабораторії ультразвукових методів Федерального агентства з досліджень і випробувань матеріалів Німеччини (BAM) ця техніка вдосконалюється й успішно застосовується протягом багатьох років. Завдяки прогресу в електроніці та її мініатюризації можливе прийнятне за вартістю і нескладне з реалізації застосування її на мережі DBAG.

**Можливості застосування техніки групових випромінювачів.** Метод групових випромінювачів ви-

користовують для аналітичних досліджень на протилежність методам, що стали класичними та застосовуються для пошуку дефектів на лініях, що експлуатуються.

Техніка групових випромінювачів для дефектоскопії рейок передбачає встановлення двох кутових головок на кожній рейці, що випромінюють сигнал зустрічно, але під кутом до поверхні. Діапазон кутів повороту головок становить 40° (від 35 до 75°) (рис. 1). Під час випробувань із великими кутами фокус знаходиться на тріщинах у головці рейки і в зоні переходу до шийки, при малих кутах — у нижній частині шийки і підшві рейки. Тріщини в отворах під стикову накладку та тріщини, що йдуть від поверхні катання до підшви, надійно виявляються при куті подачі сигналу, що дорівнює 45°. При відповідному розташуванні головок можливе виявлення дефектів у стикових зварних швах. Завдяки продуманому геометричному розміщенню головок на рейці в поєднанні з вихрострумовим методом можна виявляти й оцінювати дефекти рейки у всьому випробувальному діапазоні.

За допомогою наведеної системи виконані ручні обстеження зон станцій і ділянок, де дефекти були виявлені раніше колієвипробувальним поїздом зі швидкістю 30 км/год. Устаткування нової системи було встановлено на візку з комбінованою ходовою частиною, що дозволяло використовувати її з мінімальними перешкодами руху поїздів.

**Колієвипробувальний елемент для фундаментальних досліджень.** Для перших аналітичних дослі-

джень знадобився відповідний випробувальний елемент. Оскільки до того часу був відсутній стандарт на його виготовлення та розташування в ньому дослідних рефлекторів (відбиваючих ділянок), окремі власники інфраструктури розробляли власні випробувальні елементи з рефлекторами, які виявляються застосовуваною технікою. З цієї причини лабораторією BAM були проаналізовані всі види дефектів рейок, що виявлені на практиці і класифіковані DBAG. Вони були розділені на невеликі групи. Вхідні в них дефекти виявлялися системою з формуванням такого відбиваючого сигналу, який мав місце під час виявлення відповідного цієї групи досвідченого рефлектора.

Таким чином, цей рефлектор був моделлю дефекту, що входить у розглянуту групу.

З утвореного набору рефлекторів можна було змодельовати будь-який дефект рейки. Рефлектори були розташовані в комплекті із шести еталонних відрізків рейки типу UIC60 висотою 172 мм і довжиною по 1000 мм. Цей комплект повинен був послужити базою для введення стандарту на виготовлення випробувальних елементів та уніфікації відповідних процедур (рис. 2). У майбутньому застосування цих елементів дозволить гарантувати кращу порівнянність різних методів випробувань. Як дослідчені рефлектори передбачалися поглиблення (глухі отвори) з плоским дном і пропили. Поглиблення мають діаметр 3 мм і кути нахилу 0°, 30°, 45° і 60° або діаметр 4 мм і кут нахилу 90°. Пропили мають форму серпоподібних надрізів або пазів з різними кутами нахилу і глибиною 2 або 4 мм, зроблених в отворах під болти стикової накладки, голівці і підшві рейки.

**Результати перших вимірів на колієвипробувальному елементі.** Поглиблення діаметром 3 мм із плоским дном і кутом нахилу 45° у дослідній рейці виявлялися головками групових випромінювачів з коливальними контурами різних типорозмірів і частотою 1,5–4 МГц. Результати вимірювань порівнювали з результатами вимірювань звичайними кутовими головками (кут на-



хилу —  $35^\circ$  і  $45^\circ$ , коливальний контур —  $20 \times 22$  мм, частота — 2 МГц, тип — СБ, компанія — Krautkramer / AGFA NDT). Порівняння показало, що при великій довжині шляху сигналу для чіткого виявлення рефлектора потрібен великий коливальний контур (близько  $20 \times 22$  мм) і низька частота — близько 2 МГц, оскільки в іншому випадку неможлива надійна відбудова корисного сигналу від шуму. Цей інтервал відбудови для глухих отворів глибиною 81 мм і традиційної головки з кутом нахилу  $35^\circ$  становить приблизно 19 дБ, а з кутом нахилу  $45^\circ$  — 23 дБ. Однак ця головка в рейковій дефектоскопії не застосовується.

З головками групових випромінювачів при частоті 3 або 1,5 МГц досягається інтервал 19 або 20 дБ. На глибині 157 мм за інших рівних умов для традиційних головок із кутами  $5^\circ$  і  $45^\circ$  виходить інтервал 7 або 8 дБ, для головок з груповими випромінювачами з частотою 3 МГц інтервал становить 4 дБ, а з частотою 1,5 МГц — 15 дБ. Менший інтервал для головок із груповими випроміню-

вачами і частотою 3 МГц пояснюється головним чином великим ослабленням сигналу. Результати вимірювань головкою з груповими випромінювачами на частоті 1,5 МГц показують, що за допомогою оптимізованої для дефектоскопії рейок головки навіть для отворів великої глибини можуть бути отримані хороші інтервали та корисний сигнал — шум.

## Висновки

Унаслідок впливу на колію сучасних поїзних навантажень, особливо на високошвидкісних лініях, на поверхні рейок або всередині виникають нові види дефектів, які є важко діагностованими для стандартних дефектоскопів. Тому була розроблена випробувальна техніка, що має на меті своєчасне виявлення й усунення подібних дефектів, а в результаті — забезпечення безпечного руху. У майбутньому ця техніка буде вдосконалюватися, оскільки її потенціал ще далеко не вичерпаний. Вихрострумова дефектоскопія при цьому відіграє вирішальну роль, оскільки

вона дозволяє з високою чутливістю досліджувати поверхню рейки і є значним доповненням до ультразвукової дефектоскопії, переваги якої полягають у виявленні дефектів усередині рейки.

Застосування головок із груповими випромінювачами відкриває нові можливості в дефектоскопії рейок, особливо щодо зменшення числа вимірювальних головок у дефектоскопі, підвищення ступеня локалізації дефектів і забезпечення можливості їхнього аналізу. Крім того, розроблена система може бути адаптована до умов залізничних мереж інших країн і компаній, у тому числі і з іншою геометрією рейок. Цілком вирішена проблема зміни обсягу та переліку завдань дефектоскопії за допомогою програмного забезпечення, тобто без механічних змін вимірювальних головок і їх власників. Система, змонтована на транспортному засобі з комбінованою ходовою частиною, дозволяє обстежити зі швидкістю до 30 км/год ділянки, які зараз контролюють вручну або колієвипробувальними поїздами. 