

## НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ВТОМИ МЕТАЛУ ТА ЙОГО ОБ'ЄКТИВНА ПРІОРИТЕТНІСТЬ У ДІАГНОСТИЦІ КОНСТРУКЦІЙ ТА ОБЛАДНАННЯ

### NONDESTRUCTIVE TESTING OF METAL FATIGUE OBJECTIVE AND ITS PRIORITY IN DIAGNOSIS AND CONSTRUCTION EQUIPMENT

*Представив д-р техн. наук, професор І.Е. Мартинов*

**Постановка проблеми.** Сучасна діагностика стану конструкцій та обладнання не обмежується задачами дефектоскопії, все більше використовується визначення механічних характеристик металів. Основне місце займають методи та засоби виміру залишкових і робочих внутрішніх напружень. У зв'язку з цим на перший план висуваються методи технічної діагностики, які поєднують механіку руйнувань, металоведення і неруйнівного контролю. До цих методів відносяться в першу чергу методи контролю напружено-деформованого стану. В неруйнівному контролі механічних властивостей металу, ступеня його втоми і напружено-деформованого стану використовується коерцитивна сила. Коерцитиметрія дозволяє виявляти і оцінювати зміни напружено-деформованого і втомного стану металу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Втомні дефекти металу - підсумок розвитку його мікропошкодження. На даний час відомі два основні напрямки у контролі фізико-механічних характеристик металу: руйнівний та неруйнівний.

**Руйнівні методи.** Для визначення механічних властивостей металів в основному застосовують три стандартизованих випробування: розтяг, стиск і кручення зразків. Ці методи дають

достовірну інформацію про властивості матеріалів.

Метод вимірювання твердості є одним із видів механічних випробувань металу і ефективним засобом діагностики його структурно-механічного стану. Можна виділити такі методи вимірювання твердості:

- метод Брінелля: твердість визначається за діаметром відбитка, що залишається металевою кулькою, яку вдавлюють в поверхню;

- метод Роквелла: твердість визначається за відносною глибиною втискування металевої кульки чи алмазного конуса в поверхню тестованого матеріалу;

- метод Віккерса: твердість визначається за площею відбитка, що залишається чотиригранною алмазною пірамідкою;

- метод Шора: твердість визначається за висотою відскакування сталеві кульки від поверхні досліджуваного металу або за глибиною введення загартованої сталеві голки під дією пружини;

- метод Кузнєцова-Герберта-Рєбіндера: твердість визначається часом загасання коливань маятника, опорою якого є досліджуваний метал;

- шкала Мооса: твердість визначається за тим, який із десяти стандартних мінералів дряпає тестований матеріал, і який матеріал з десяти стандартних

мінералів дряпається тестованим матеріалом;

- метод ESATEST (розробка ERNST SA, Швейцарія): особливістю даного методу є використання в ролі індентора алмазної пірамідки з електропровідним напиленням. Провідну поверхню індентора формує електричне коло між випробовуваним об'єктом і металевою оправою алмазного індентора. Вимірюючи електричний опір між оправою і випробовуваним об'єктом, можна отримати показання про стан алмазу щодо поверхні, отже, його глибину проникнення. Дана технологія покладена в основу приладу НТД 900 (виробництво ERNST, Швейцарія) для автоматичного визначення твердості й глибини зміцненого шару, в якому алмазний індентор є одночасно і датчиком глибини.

Глибину зміцненого шару можна визначити традиційним металографічним методом, при якому структуру виявляють за допомогою травлення, або зрізу, шліфування і полірування зразка.

Незважаючи на удосконалення устаткування руйнівні методи є довгим і копітким процесом, який призводить до руйнування випробовуваного зразка. Більш того, в деяких випадках виготовити зразки необхідних розмірів або в необхідній кількості або не уявляється можливим, або недоцільно з економічних або технічних причин.

Аналіз можливостей відомих методів контролю напруг і деформацій в основному металі і в зварних з'єднаннях устаткування і конструкцій дозволяє назвати такі їх суттєві недоліки:

- неможливість використання більшості методів у галузі пластичної деформації;

- не враховується зміна структури металу;

- неможливість оцінки глибинних шарів металу для більшості методів контролю;

- потрібна підготовка контрольованої поверхні і об'єктів контролю;

- складність визначення положення датчиків контролю по відношенню до напрямку дії максимальних напружень та деформацій.

Виміри з визначення коерцитивної сили не потребують зачищення поверхні, яка підлягає контролю, та використання контактної рідини.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Зростаючі дефекти структури металу підвищують характеристики міцності та його коерцитивну силу, одночасно знижуючи пластичність, що призводить до мікропошкоджень. Під коерцитиметрією розуміється неруйнівний контроль механічних властивостей, напружено-деформованого стану і ступеня втоми за вимірами магнітної характеристики металу – коерцитивної сили.

При оцінці ресурсу обладнання, як відомо, неодмінною умовою є визначення фактичного напружено-деформованого стану з виявленням зон концентрації напружень – основних джерел розвитку пошкоджень. Саме зони концентрації напружень визначають працездатність будь-якої конструкції, а не розрахункові, середні значення робочих напружень.

У багатьох випадках контроль стану металу виконують на зупиненому в ремонт обладнанні, після зняття робочих навантажень в умовах залишкового напружено-деформованого стану, коли напруження деформації має протилежний знак та інші значення у порівнянні з робочими. В даних об'єктивних умовах відомі методи контролю напруг і деформацій не мають можливості ефективно визначити фактичний напружено деформований стан об'єкта.

Коерцитиметрія не перекреслює і не скасовує сформований сьогодні традиційний набір методів в діагностиці, вона доповнює діагностику недоступною раніше інформацією, чим робить діагностику більш логічною, завершеною і ефективною.

Практика показує, що немає загрози безпеці, якщо зниження залишкової

товщини металу не супроводжується зростанням коерцитивної сили. А зниження товщини в поєднанні зі зростанням величини коерцитивної сили свідчить про наближення руйнування металу.

Якщо вимірювання коерцитивної сили виконати першими, як оглядові, то оперативно отримуємо загальне уявлення про реальний поточний стан всього об'єкта (рис. 1).



Рис. 1. Вимірювання коерцитивної сили

Тут відразу добре видно зони концентрації напружень і ступінь деградації металу в них. Це дає змогу обґрунтовано залучати або не залучати інші методи контролю металу в залежності від реального втомного стану, включаючи і дефектоскопію у всіх її різновидах, але вже в точно окреслених місцях і обсягах.

На такій основі можна приймати рішення про черговість, доцільність та обсяги ремонту, не наосліп, а за станом металу, точно в межах його неприпустимої втомної пошкодженості, а не простим заварюванням виявлених тріщин. Формується найбільш ефективна

експлуатаційна стратегія об'єкта, що забезпечує максимальну віддачу устаткування при мінімальних витратах.

Коерцитиметричні втомні вимірювання, що виконуються магнітними структуроскопами КРМ-Ц-К2М (рис. 2), не вимагають зачистки поверхні, видалення іржі і шорсткостей, працюють прямо через фарбу чи інше захисне покриття товщиною до 5-6 мм, не бояться кривизни поверхні, працюють при будь-яких температурах повітря і металу. Час одного виміру - не більше 30 с. При цьому не потрібно спеціальне навчання і особлива кваліфікація виконавця.



Рис. 2. Магнітний структуроскоп КРМ-Ц-К2М

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Таким чином для визначення механічних характеристик обладнання, залишкових і робочих внутрішніх напружень металів доцільно використовувати неруйнівний контроль з

визначенням коерцитивної сили, який на даний час перетворюється в самостійну галузь промисловості та вирішує завдання обстеження і створення методик контролю, проведення наукових досліджень, стандартизації і навчання.

### *Список літератури*

1. 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
2. Дубов, А.А. Диагностика прочности оборудования и конструкций с использованием магнитной памяти металла [Текст]/ А.А. Дубов // Контроль. Диагностика. – 2001. – № 6. – С. 19-30.
3. Криворудченко, В.Ф. Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта [Текст]: учеб. пособие / В.Ф. Криворудченко. – М.: Маршрут. – 2005. – 436 с.

**Ключові слова:** коерцитиметрія, руйнівний та неруйнівний контроль, напруження металу.

### *Анотації*

Розглянуто актуальне питання щодо неруйнівного контролю втоми металу та його об'єктивна пріоритетність в діагностиці конструкцій та обладнання, що полягає у використанні неруйнівного контролю з визначенням коерцитивної сили, який на даний час перетворюється в самостійну галузь промисловості та вирішує завдання обстеження і створення методик контролю, проведення наукових досліджень, стандартизації і навчання.

Рассмотрен актуальный вопрос по неразрушающему контролю усталости металла и его объективная приоритетность в диагностике конструкций и оборудования, который заключается в использовании неразрушающего контроля с определением коэрцитивной силы, и на данное время превращается в самостоятельную отрасль промышленности и решает задание обследования и создания методик контроля, проведения научных исследований, стандартизации и учебы.

Actuality question on non-destructive control of fatigue of metal and his objective priority is considered in diagnostics of constructions and equipment which consists in the use of non-destructive control with determination of coercitivity, which on this time grows into independent industry of industry and decides the task of inspection and creation of control methods, leadthroughs of scientific researches, standardization and studies.