

УДК 620.178.15

## НОВИЙ МЕТОД ОЦІНКИ РІВНЯ РОЗСІЯНИХ ПОШКОДЖЕНЬ В МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛАХ ПРИ НАПРАЦЮВАННІ

Ламашевський В.П.

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка НАН України, м. Київ, Україна

**Анотація:** Розглядається методика оцінки рівня розсіяних пошкоджень, що накопичуються в металевих матеріалах при експлуатації конструкцій. Приведені результати експериментальних досліджень з використанням концепції деградації матеріалів при оцінці залишкового ресурсу конструкцій **Ключові слова:** твердість; пошкоджуваність; коефіцієнт гомогенності; коефіцієнт інтенсивності напружень.

В останні десятиліття інтенсивно розвиваються теорії накопичення дефектів в матеріалах, які прийнято називати розсіяними (в англомовній літературі – континуальними) пошкодженнями. Причиною введення цього терміну очевидно стало зниження з часом характеристик фізико-механічних властивостей матеріалів, що спостерігається в багатьох випадках (природне старіння), а також при дії різних температурно-силових факторів, які приводять до його деградації. Основні дослідження в цьому напрямку механіки матеріалів присвячені не тільки удосконаленню методів опису кінетики накопичення пошкоджень, а й підвищенню наукового рівня розв'язання практичних задач. Важливою складовою при вирішенні цих проблем є наявність надійних методів неруйнівного контролю ступеня пошкоджуваності конструкційного матеріалу. Значні перспективи щодо практичного застосування має новий, розроблений в Інституті проблем міцності ім. Г.С. Писаренко НАН України, метод визначення пошкоджуваності, заснований на вимірюванні параметрів розсіювання значень твердості при масових випробуваннях (метод LM-твердості) [1,2] і його вдосконалені варіанти [3-5]. Фізичне обґрунтування методу полягає в тому, що розсіювання фізико-механічних характеристик притаманне всім матеріалам, а ступінь розсіювання суттєво залежить від їх структурного стану. Як наслідок, про зміну структурного стану, тобто про деградацію матеріалу в заданих умовах роботи, можна судити по розсіюванню характеристик його механічних властивостей, зокрема твердості. За параметр розсіювання виявилось зручним використання параметра  $m$  в розподілі Вейбулла [6], який має сенс коефіцієнта гомогенності матеріалу. Його можна визначити за формулою Гумбеля [7]. Стосовно до випробувань на твердість ця формула має вигляд:

$$m = 0 / 4343 \cdot d_n \left[ \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\lg H_i - \overline{\lg H})^2 \right]^{-\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

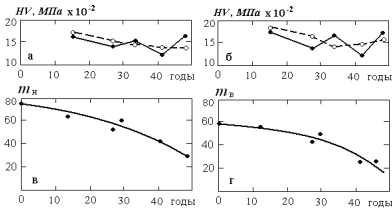
де величину  $d_n$  визначають залежно від числа  $n$  змін,  $H_i$  - значення твердості по  $i$ -му вимірюванню,  $\lg H_i$  середнє значення логарифма твердості за результатами  $n$  вимірювань.

Спеціально проведені дослідження показали, що досить стабільні значення коефіцієнта  $m$  забезпечуються при  $n = 20 - 30$  вимірюваннях. Оцінку ступеня розсіювання характеристик досліджуваної властивості, в тому числі твердості, можна виробляти по іншим статистичним критеріям, наприклад, за коефіцієнтом варіації:

$$v = \frac{1}{H} \cdot \left[ \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (H_i - \overline{H})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

де  $H_i$  і  $n$  мають таке ж значення, що і в формулі (1),  $H$  - середнє значення твердості.

Експериментальні результати, які обговорюються нижче, відносяться до вивчення запропонованим методом накопичення пошкоджень в трубних сталях. Значну зацікавленість, зокрема представляють результати досліджень стану металу труб, виготовлених з низьколегованих ферито-перлітних сталей (17Г1С, 17ГС і 13030 - чехословацького виробництва), після напрацювання різної тривалості (від 15 до 48 років) в системі газопроводів, що



**Рис.1. Твердість (а, б) і коефіцієнт гомогенності (в, г) трубних сталей у вихідному (1) стані і при різних стадіях напруження (2). а, в - метал внутрішнього, б, г - зовнішнього шару.**

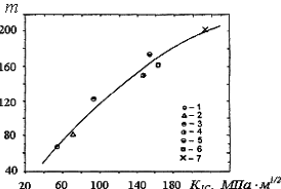
твердість по Віккерсу на стандартному твердомірі з навантаженням 150 Н на індентор з кутом при вершині 136 °. В якості характеристики розсіювання приймався коефіцієнт гомогенності, розрахований за формулою (1) на підставі не менше 25 вимірів. У розрахунок приймалося середнє з трьох отриманих значень коефіцієнта, за винятком незначної кількості випадків, коли одне з трьох значень мало характер явного викиду. Ці значення виключалися з подальшого розгляду. Значення твердості вихідного (в трубах-свідках) металу різних трубопроводів відрізняються, причому більшою мірою із зовнішньої сторони. Має місце відмінність в твердості металу (хоча і в значно меншій мірі) і в межах однієї труби - з боку зовнішньої і внутрішньої поверхонь. У той же час їх середнє (за всіма трубопроводами) значення відрізняються незначно ( $HV = 1575$  МПа зі сторін навантаженої і  $HV = 1555$  МПа - з боку внутрішньої поверхні). Механічні властивості металу труб у вихідному стані мають порівняно невелике розходження, що обумовлено перш за все єдиною природою і близьким хімічним складом сталей по основних елементах. Це дає підстави розглядати експериментальні дані для різних трубопроводів, що експлуатувалися на протязі неоднакового часу, як результати дослідження станів металу труби з низьколегованої ферито-перлітної сталі в складі деякого віртуального газопроводу на різних стадіях експлуатації. Такий підхід, як показано нижче, дозволяє встановити, в крайній мірі, якісні закономірності деградації металу труб зі сталей зазначеного класу в процесі напруження.

В процесі експлуатації твердість металу труб в різних газопроводах, як видно з рис.1 а й б, змінюється неоднозначно. Вона може як збільшуватися, так і знижуватися. Причину такої неоднозначності поки неможливо пояснити фізично. Даний феномен вимагає проведення спеціальних досліджень. Однак цей експериментально встановлений факт сам по собі має велике практичне значення: Він є ще одним доказом того, що твердість не завжди дозволяє адекватно судити про зміну стану металу, тобто про його деградацію. Дані про розсіянні характеристик твердості металу труб у вихідному стані після різного терміну напруження в оцінці коефіцієнтом гомогенності  $m$  наведені на рис.1, в, г. З малюнків видно, що метал труб в початковому стані, судячи із розсіювання характеристик твердості, можна вважати порівняно однорідним. Однак ступінь однорідності металу зовнішніх і внутрішніх шарів неоднакова. Середні по всіх трубах значення коефіцієнта гомогенності  $m$  для металу внутрішньої сторони значно вище  $m^B_{сер.} = 58,4$ ) відповідного середнього значення коефіцієнта для металу зовнішніх шарів ( $m^3_{сер.} = 78,2$ ). Це свідчить про його порівняно високу вихідну дефектність і, отже, більш низьку якість. Саме це є, очевидно, однією з головних причин більш високого темпу зниження коефіцієнта гомогенності  $m^B$  металу внутрішнього шару в процесі напруження зрівнянні з коефіцієнтом  $m^3$ . Значення коефіцієнтів гомогенності, які визначалися за розсіянням характеристик твердості металу на різних етапах експлуатації віртуального газопроводу, добре апроксимуються кривими другого порядку, які на рис.3 в, г показані суцільними лініями.

експлуатувалися в Україна. Всі проби металу для випробувань були взяті з тих діючих газопроводів, у яких збереглися труби з вихідним станом металу.

Основні механічні характеристики сталей: тимчасовий опір руйнуванню  $\sigma_B = 490 \dots 550$  МПа, умовна границя текучості  $\sigma_{0.2} = 340 \dots 355$  МПа, залишкове подовження  $\delta > 22\%$ , ударна в'язкість КСИ = 0.34 ... 0.40 МДж / м<sup>2</sup>. З кожної труби-свідка і труби із напруженням були виготовлені по три зразки розміром 10x10 мм висотою, рівною товщині стінки труби. Поверхні зразків, що відповідали внутрішній і зовнішній поверхням труби, були підготовлені для випробувань на

Різний темп зниження коефіцієнтів  $m^B$  і  $m^3$  в процесі роботи газопроводу помітний після 25 років експлуатації, коли деградація металу внутрішніх шарів відбувається особливо інтенсивно. З огляду на те, що значна частина діючих в наразі в Україні газопроводів знаходиться в експлуатації понад 40 років, показаний вище зростаючий в міру нагрівання темп накопичення пошкоджень в металі труб є симптоматичним. Він свідчить про необхідність вжиття ефективних заходів з технічного контролю стану трубопроводів з використанням сучасних засобів дефектоскопії. Звісно ж, що до таких засобів слід віднести і метод LM-твердості, можливості якого ще повністю не вичерпані. Так, наприклад, дослідженнями, проведеними нами, встановлено, що за показниками



**Рис.2. Кореляція між коефіцієнтами гомогенності і характеристиками тріщиностійкості (КН) реакторних сталей: 1–10ХМФТ (окрихчена); 2 – сталь 20; 3 – 15ХНМФА (перша термічна обробка); 4 – 15ХНМФА (друга термічна обробка); 5 – 15ХНМФА (третя термічна обробка); 6 – 08ХНМФА; 7 – 15Х2МФА.**

вимірюванні параметрів розсіювання значень твердості при масових випробуваннях (метод LM-твердості). Він простий і може бути реалізований безпосередньо на працюючому обладнанні при короткотривалому і тривалому статичному навантаженні, а також в умовах циклічних навантажень.

### **A new method of estimating the level of multiple damages in metal materials in development Lamashevsky V.**

*Abstract. The method of estimating the level of scattered damage accumulated in metal materials during the operation of structures is considered. The results of experimental research using the concept of degradation of materials in the estimation of the residual resource are given.*

*Keywords: hardness, damage, homogeneity coefficient, stress intensity factor*

#### **Список літератури**

1. Лебедев А.А., Музыка, Н.Р., Волчек Н.Л. и др. Контроль текущего состояния металла труб действующих газопроводов. Метод исследования и результаты // Проблемы прочности. -2002.-№2.-С.29-36.
2. Лебедев А.А., Швец В.П. Оценка поврежденности конструкционных сталей по параметрам рассеяния характеристик твердости материалов в нагруженном и разгруженном состояниях. – Там же.-2008.-№3.-С. 29-37.
3. Исследование процессов деформирования и накопления повреждений в стали 10ГН2МФА при малоцикловом нагружении / А.А. Лебедев, И.В. Маковецкий, Н.Р. Музыка, В.П. Швец. // Там же.-2008.-№2.-С. 5-10.
4. Оценка поврежденности металла действующих газопроводов методом АЭ– сканирования/ А.А. Лебедев, С.А. Недосека, Н.Г. Чаусов, А.Я. Недосека. // Техн. диагностика неразруш. Контроль. -2001.-С.8-12.
5. ДСТУ 7793-15. Матеріали металеві. Визначення рівня розсіяних пошкоджень методом LM-твердості. Метод випробувань.
6. Weibull W.F. Statically distributionfunctionofwideapplicability. Гумбель Э. Статика экстремальных значений. –М.: Мир, 1965. -450 с.
7. Лебедев А.О., Музыка М.Р. Технічна діагностика стану матеріалу методом LM- твердості // “Проблеми ресурсу конструкцій, споруд та машин” – Київ: -Інститут електроварювання ім. С.О. Патоно НАН України. - 2006.С.97-101.
8. Патент України. №13952, МПК 6 G 01 3/00, 3/20. Спосіб визначення в якості руйнування матеріалу / А.О. Лебедев, М.Р. Музыка, В.П. Швец / Промисловий вісник. Офіційний бюлетень. №4.17.04.2006.
9. Лебедев А.А., Музыка, Н.Р., Волчек Н.Л. и др. Контроль текущего состояния металла труб действующих газопроводов. Метод исследования и результаты // Проблемы прочности. -2002.-№2.-С.29-36.
10. Лебедев А.А., Швец В.П. Оценка поврежденности конструкционных сталей по параметрам рассеяния характеристик твердости материалов в нагруженном и разгруженном состояниях. – Там же.-2008.-№3.-С. 29-37.
11. Исследование процессов деформирования и накопления повреждений в стали 10ГН2МФА при малоцикловом нагружении / А.А. Лебедев, И.В. Маковецкий, Н.Р. Музыка, В.П. Швец. // Там же.-2008.-№2.-С. 5-10.