

УДК 620.179.16

АКУСТИЧНИЙ КОГЕРЕНТНИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ ВТОМИ МАТЕРІАЛІВ**С.М. Маєвський, А.В. Карявка**

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
пр. Перемоги, 37, м. Київ, тел. (044) 454-95-47*

Приведений аналіз методів опосередкованого визначення стану втоми матеріалів, визначені зовнішні фактори впливу на стан матеріалу конструкції. Запропоновано метод контролю втоми матеріалу конструкції за зміною фазової швидкості розповсюдження ультразвукових коливань, який є універсальним методом і не залежить від властивостей матеріалу.

Ключові слова: втома матеріалів, фазова швидкість ультразвуку, вимірювальний перетворювач, структурна схема.

Приведен анализ методов опосредствованного определения состояния усталости материалов, определены внешние факторы влияния на состояние материала конструкции. Предложен метод контроля усталости материала конструкции за изменением фазовой скорости распространения ультразвуковых колебаний, который является универсальным методом и не зависит от свойств материала.

Ключевые слова: усталость материалов, фазовая скорость ультразвуку, измерительный преобразователь, структурная схема.

The analysis of methods of the mediated determination of the state of material fatigue is resulted, the external factors of influence on the state of material of construction are certain. The method of control of material fatigue of construction is offered after the change of phase speed of distribution of ultrasonic vibrations, which is an universal method and does not depend on properties of material.

Keywords: material fatigue, phase speed of the ultrasound, measuring transformer, flow chart.

Під втомою матеріалу конструкції розуміють деградацію внутрішньої структури матеріалу (появу розривів міжкристалічних зв'язків), що утворюються внаслідок знакозмінного навантаження матеріалу на рівні, близькому до критичного. Ріст густини таких мікротріщин обов'язково приводить до їх об'єднання у вигляді тріщин, які за рахунок знакозмінних навантажень швидко ростуть і руйнують конструкцію. Свій вклад у стан втоми конструкційних матеріалів вносять також внутрішня кристалічна корозія, деформації температурного походження та інші чинники.

Методи неруйнівного контролю та дефектоскопи, що реалізують ці методи, направлені виключно на виявлення наслідків втоми матеріалів конструкцій у вигляді макродефектів внутрішньої структури матеріалу, особливо тріщин, що вийшли на поверхню. Процес розвитку втоми матеріалів можна реєструвати за допомогою засобів контролю методом акустичної емісії. Аналіз сигналів акустичної емісії дає представлення про місце і наявність мікроруйнівних процесів, але цього недостатньо для оцінки степені втоми

[1÷3].

В останні роки інтенсивно розвивається магнітний метод контролю втоми за зростанням коерцитивної сили феромагнітних матеріалів [4]. Як показують результати досліджень, коерцитивна сила легованих сталей здатна з появою мікроруйнувань на рівні кристалічних ґраток зростати у декілька раз.

Контроль деформації елементів конструкції також можемо віднести до методів опосередкованого визначення стану втоми матеріалу конструкції. Проте в наш час контроль деформації використовується лише при короткочасних статичних і динамічних механічних випробуваннях конструкцій. Відсутність перетворювачів деформації необхідної точності і, саме головне – довговічності, не дозволяє створювати вбудовані системи контролю деформації, що могли б встановлюватися на найбільш відповідальних ділянках навантажених конструкцій і забезпечувати контроль деформації в автоматичному режимі. Тензометричні перетворювачі на основі опору мікродроти з константану мають порівняно

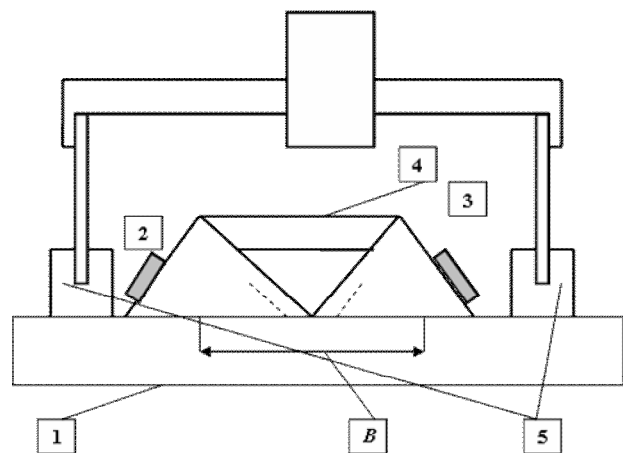
невелику точність (1 %), яка зростає з часом за рахунок старіння матеріалу дроту.

До найбільш універсальних методів контролю втоми конструкційних матеріалів незалежно від їх розділу на метали і неметали є метод, що використовує, як параметр контролю, величину зміни швидкості розповсюдження високочастотних ультразвукових коливань. Явище зменшення цієї швидкості пояснюється ростом затримки коливань при їх проходженні зони втоми матеріалу у вигляді лабіринту мікротріщин [5].

Основним недоліком даного методу слід назвати високі вимоги до похибки вимірювання ультразвукової швидкості, яка згідно [5, 6] повинна бути не більшою 0,01%. При цьому потрібно не забувати, що швидкість ультразвукових коливань це результат ділення пройденного коливанням шляху на величину його часової затримки і для одержання такої точності для величини ультразвукової швидкості потрібно ще з більшою точністю визначати і довжину шляху, і часову затримку. Досягнення необхідної точності вимірювання часу затримки ультразвукових коливань та довжини шляху розповсюдження можливо шляхом опосередкованого вимірювання часу затримки коливань через визначення кумулятивного фазового зсуву цих коливань [7, 8].

При вирішенні поставленої задачі контролю втоми матеріалів конструкцій достатньо оцінювати відносне зменшення швидкості ультразвуку, а не вимірювати абсолютне значення цієї швидкості. Це дозволить набагато спростити метод та його реалізацію. Достатньо забезпечити незмінність величини шляху розповсюдження коливань Релея, не вимірюючи його абсолютне значення. Вимірювання ж відносної зміни часу запізнення коливання можна замінити визначенням відносної зміни значення кумулятивного фазового зсуву коливань на незмінному шляху розповсюдження.

На рис. 1 схематично представлено вимірювальний перетворювач системи контролю втоми конструкційних матеріалів, основною вимогою до яких є лише чистота ділянки поверхні розміром (50 – 60) мм для можливості пропускання поверхневої хвилі. Корпусні деталі перетворювача зроблені такими, щоб не допускати розповсюдження поверхневої хвилі за межі перетворювача і не створювати ревербераційних завод у разі перевідбиття хвилі за межами перетворювача (резинова муфта, що притискується до поверхні об'єкту контролю гасить коливання).



1 – об'єкт контролю; 2 – збудник поверхневої хвилі Релея; 3 – приймач поверхневої хвилі; 4 – деталь з фарфору, що формує базу вимірювання; 5 – муфта з резини для гасіння поверхневої хвилі; В – база вимірювання

Рисунок 1 – Вимірювальний перетворювач втоми матеріалів елементів конструкцій

Збудження поверхневої хвилі здійснюється шляхом трансформації повздовжньої хвилі на границі розділу поверхні звукопроводу з оргскла у вигляді призми та поверхні об'єкту контролю розташованих під кутом одна до одної рівним другому критичному куту падіння. У нашому випадку цей кут становить 77° . База вимірювання утримується деталлю з фарфору (фарфор має низький коефіцієнт лінійного розширення).

Для проведення контролю втоми матеріалів, що відрізняються акустичними імпедансами, необхідно використовувати набір вимірювальних перетворювачів, здатних збуджувати поверхневі хвилі у матеріалі об'єкту контролю.

Зупинимось на виборі довжини бази вимірювання швидкості поверхневих хвиль та частоти коливань. Відомо [3], що ефект зниження ультразвукової швидкості внаслідок втоми матеріалу проявляється краще на високих частотах ультразвуку, наприклад, на частоті 10 МГц. Для контролю втоми елементів конструкцій з легованих сталей із швидкістю поверхневих хвиль на рівні $C_p = 2,9 \cdot 10^3$ м/с (довжина хвилі λ_p становить 0,29 мм) довжину бази вимірювання, виходячи з необхідних кутових параметрів призми з оргскла, вибираємо рівну 46 мм.

Часова затримка поверхневої хвилі на довжині бази вимірювання становить:

$$\tau = \frac{1}{\omega} \theta_{\text{рад.}} = \frac{1}{360^\circ f} \theta^\circ, \quad (1)$$

де θ – кумулятивний фазовий зсув ультразвукового сигналу на довжині бази вимірювання, f – частота коливань (ω – колова частота).

Значення кумулятивного фазового зсуву можна визначити, використавши результат ділення довжини бази вимірювання на довжину хвилі коливань:

$$\theta^\circ = \frac{B}{\lambda} 360^\circ = 162 \cdot 360^\circ + 24,5^\circ = 58344,5^\circ. \quad (2)$$

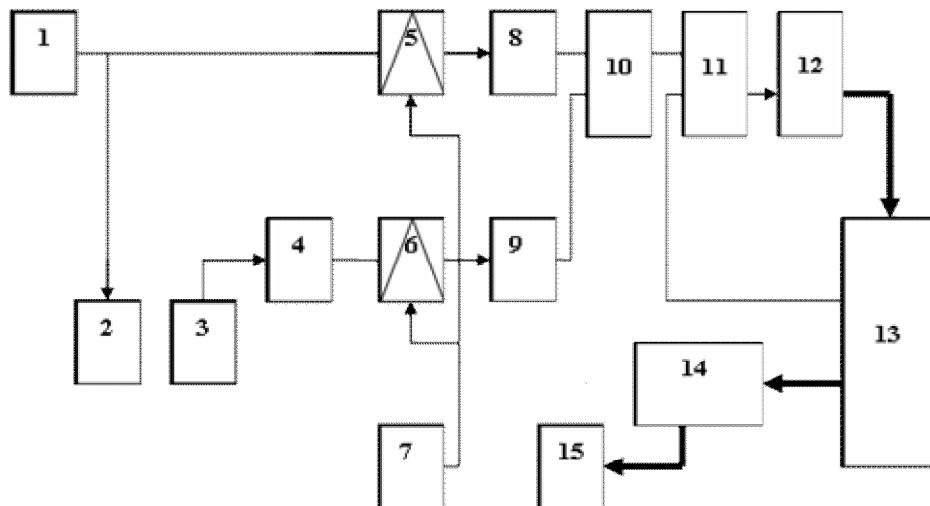
Виходячи з (1) та (2), похибка вимірювання затримки τ , а це означає і швидкості розповсюдження коливань на довжині незмінної бази вимірювання на фіксованій частоті становить 0,01% навіть при похибці вимірювання фазових зсувів 6° , що не є проблемою для фазометричної апаратури. Похибка тригерного фазометра на фіксованій частоті сигналів може становити $\pm 0,1^\circ$.

Цей висновок дає нам можливість ще більш спростити процес оцінювання втоми матеріалу – достатньо визначати приріст фазового зсуву

коливань ϕ° . Кожному приросту фазового зсуву на 6° відповідає зменшення швидкості розповсюдження ультразвукових коливань частоти 10 МГц приблизно на 0,01%.

Для встановлення допустимих граничних рівнів спаду швидкості розповсюдження поверхневої хвилі для діагностування стану втоми елементу конструкції з того чи іншого сортаменту сталі або іншого матеріалу необхідні попередні лабораторні дослідження. Крім того необхідна ідентифікація явища втоми матеріалу на фоні можливих механічних напружень в матеріалі.

На рис. 2 приведена структурна схема системи контролю втоми матеріалів за величиною зменшення швидкості розповсюдження високочастотної поверхневої ультразвукової хвилі на довжині фіксованої бази вимірювання. Генератор частоти напруги 10 МГц 1 збуджує коливання хвилі Релея в приповерхневій зоні об'єкту контролю за допомогою ультразвукового перетворювача 2. Ультразвуковий перетворювач 3 приймає коливання, що пройшли відстань, що дорівнює конструктивно заданій базі вимірювання. Фіксовану частоту коливань підбираємо за умови отримання фазового зсуву в межах першої чверті фазового циклу для зручності наступних вимірювань приростів фазового зсуву.



1 – генератор 10 МГц; 2 – збудник поверхневих коливань; 3 – приймач коливань; 4 – підсилювач; 5, 6 – змішувачі (подвійні балансні модулятори); 7 – гетеродин; 8, 9 – фільтри нижніх частот; 10 – RS-тригер; 11 – схема «і»; 12 – лічильник; 13 – мікроконтролер; 14 – дешифратор; 15 – табло

Рисунок 2 – Система вимірювання відхилень швидкості розповсюдження ультразвукових коливань (структурна схема)

Сигнал генератора 1 та вихідний сигнал підсилювача 4 подаються на входи двохканального гетеродинного перетворювача частоти з метою перенесення їх фазового зсуву φ^0 на частоту, наприклад, 50 кГц для його вимірювання тригерною фазометричною схемою [8]. Перетворювач частоти представлений двома змішувачами на основі подвійних балансних модуляторів 5, 6 та другим генератором (гетеродином) 7 з частотою, яка відрізняється від частоти сигналів на 50 кГц, наприклад, 10,05 МГц.

Низькочастотні сигнали частотою 50 кГц виділені фільтрами нижніх частот 8, 9 подаються на входи тригерного фазометра на основі RS-тригера 10, що формує прямокутні імпульси напруги довжиною $\tau = \varphi^0 / (360^\circ f)$. Ці імпульси кодуються шляхом заповнення з допомогою схеми співпаданя 11 високочастотним сигналом генератора мікроконтролера 13. Код часової довжини імпульсів підраховується лічильником 12 та переписується у відповідний порт пам'яті мікроконтролера.

Обробка отриманої інформації щодо величини спаду швидкості ультразвуку виконується програмно мікроконтролером. Для цього на основі статистичних досліджень матеріалів за допомогою даної системи вводиться для кожного з них своє значення бракувального рівня величини швидкості, а його перевищення фіксується як недопустима втома матеріалу за допомогою табло 15, підключеним до мікроконтролера через дешифратор шини керування 14.

ВИСНОВКИ

У роботі представлено і аргументовано порівняно простий метод та його реалізацію для діагностування втоми конструкційного матеріалу незалежно від його фізичних властивостей в польових умовах. Особливістю методу є відсутність абсолютних вимірювань параметру швидкості розповсюдження

ультразвуку. Достатньо оцінювати приріст фазового зсуву коливання, яке пройшло поверхнею об'єкту контролю довжину бази вимірювання.

1. Крауткремер Й. Ультразвуковой контроль материалов. Справочник / Й. Крауткремер, Г. Крауткремер. - М. - 1991. - 642 с.
2. Неразрушающий контроль. Книга 2 / И.Н. Ермолов, Н.П. Алёшин, А.И. Пономов. - М. - 1991. - 264 с.
3. Albert S. Birks *Nondestructive Testing Handbook. Second Edition* / Albert S. Birks, Robert E. Green // Jr. Technical Editors - . Vol. 7. *Ultrasonic Testing ASNT* - 1991. - P. 893.
4. Буда Г.В. Козрцитометрия в неразрушающем контроле / Г.В. Буда, А.П. Нечипорук // Дефектоскопия. - 2000. - №11. - С. 1 – 29.
5. Allen D.R. A Fourier Transform Technique that measuring Phase Delay Between Ultrasonic Impulses with Sufficient Accuracy to Determine Residual Stresses in Metals / D.R. Allen, W.H.V. Cooper // *NDT International*. - vol. 16 - N. 4. - 1983.
6. Stamm H. An Overview of the Ultrasonic Detection of Creep Damage / H. Stamm // *The European Journal of Non-Destructive Testing*. Vol. 1, N. 4. 1992.
7. Маєвський С.М. Вимірювання фазової швидкості ультразвуку як спосіб визначення напружень та втоми конструкційних матеріалів / С.М. Маєвський // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. - №3 2009. - С. 51 – 55.
8. Бова М.Т. Вимірювання різниці фаз у радіоелектроніці / М.Т. Бова, В.О. Гойжевський, С.М. Маєвський, В.В. Молебний. - К: «Вища школа», 1972. – 78 с.

Поступила в редакцію 24.03.2011 р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук,
проф. Карпаш О.М.