

ОСОБЛИВОСТІ КОНТРОЛЮ МІЦНІСТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗАСОБАМИ НЕЛІНІЙНОЇ АКУСТИКИ

Лісовець С.М., к.т.н.

Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, Україна

Конструкційні матеріали широко застосовуються в різних галузях промисловості для виробництва конструкцій і споруд, які можуть зазнавати силових впливів. Тому основні вимоги до таких матеріалів – це спроможність опиратися зовнішнім навантаженням. Контроль міцністних властивостей таких матеріалів може бути як руйнівним, так і неруйнівним. Руйнівний контроль передбачає отримання фрагмента конструкційного матеріалу для його подальшого аналізу з метою визначення його міцністних властивостей. В більшості випадків такий контроль є неприйнятним, так як руйнування конструкцій і споруд є неприпустимим. Що стосується неруйнівного контролю, то один з найбільш ефективних видів такого контролю – це акустичний контроль. Він дозволяє виявляти не тільки підповерхові (глибина залягання (0,5...1,0) мм) дефекти, але й дефекти на глибині більше 1,0 мм [1]. “Класичні” методи неруйнівного акустичного контролю, такі як методи відбиття, проходження і емісії, не завжди можуть дати очікувані від них результати. Існують деякі дефекти, які практично неможливо виявити через їх характер, форму або розташування в контрольованій конструкції або споруді. Але їх можна виявити, використовуючи акустичні нелінійні методи. Такі методи тісно пов’язані з поняттям структурної неоднорідності [2].

Структурна неоднорідність твердих тіл пов’язана з тим, що практично всі реальні тверді тіла мають неоднорідну структуру, яка пов’язана з наявністю в них несучільностей, тріщин, пор і так далі. Наприклад, до таких тіл належать гірські породи, багато конструкційних матеріалів (особливо з вираженою полікристалічною структурою і/або утомними чи термічними пошкодженнями), будівельні матеріали типу бетонів, гранульовані середовища [2]. Така нелінійність як якісно, так і кількісно відрізняється від традиційної пружної гранчастої нелінійності, яка пов’язана з проявом слабкого ангармонізму міжатомного потенціалу [3].

Для опису такої нелінійності необхідно в законі Гука додати квадратичні по компонентам тензора деформації складові (а, за необхідності, такі складові в більш високих степенях) [2]:

$$\sigma = E(\varepsilon + \gamma_2 \varepsilon^2 + \gamma_3 \varepsilon^3 + \dots),$$

де E – модуль пружності; σ – механічна напруга; ε – відносна деформація.

Для однорідних аморфних речовин і монокристалів коефіцієнти γ_2 і γ_3 не перевищують зазвичай кількох одиниць [2]. Якщо врахувати, що в звичайних умовах при розповсюдженні пружних хвиль в однорідних аморфних речовинах і монокристалах відносна деформація ε середовища не перевищує 10^{-5} , то виявити вплив на параметри пружних хвиль таких малих складових, як $\gamma_2\varepsilon^2$ і $\gamma_3\varepsilon^3$, практично неможливо.

В теперішній час є загальноприйнятним, що наявність порушень структури твердих тіл дуже суттєво змінює їх нелінійні акустичні властивості, і така неоднорідність для реальних твердих тіл є, скоріше за все, правилом, а не винятком [2]. Як показано в багатьох роботах, структурна неоднорідність твердих тіл є дуже чутливою до наявності в таких тілах різних порушень їх структури – так званих “м’яких” дефектів. Особливо це стосується малих відносних концентрацій “м’яких” дефектів на рівні $10^{-8} \dots 10^{-7}$. При таких концентраціях чутливість лінійних акустичних методів є ще недостатньою для виявлення таких дефектів, а от нелінійні акустичні методи виявити такі “слабкі” місця в контрольованому середовищі вже спроможні. Як також показує аналіз багатьох робіт, дуже актуальним є пошук місць зародження в такому середовищі тріщин [2].

Така чутливість нелінійних акустичних методів пов’язана з тим, що при збільшенні відносних концентрацій “м’яких” дефектів від приблизно $10^{-8} \dots 10^{-7}$ до приблизно $10^{-4} \dots 10^{-3}$ коефіцієнти γ_2 і γ_3 можуть становити вже не кілька одиниць, а кілька тисяч одиниць. Тобто акустична нелінійність твердих тіл дуже стрімко збільшується. Це можна пояснити тим, що “м’які” дефекти твердих тіл (зокрема, тріщини) мають відносну “м’якість” на рівні 10^{-4} . Проходження крізь них пружних хвиль призводить до великої відносної деформації таких дефектів, при якій лінійний закон Гука порушується.

Структурна нелінійність твердих тіл характеризується різними нелінійними акустичними ефектами, з яких найбільш “вимірюємими” є ефекти амплітудно-залежних змін коефіцієнтів поглинання і швидкостей розповсюдження пружних хвиль. Таким чином, вимірюючи коефіцієнти “контролюємих” конструкційних матеріалів і зіставляючи їх з аналогічними коефіцієнтами “еталонних” матеріалів, можна оцінити міцнісні властивості таких “контролюємих” матеріалів.

Для здійснення такого контролю була дороблена і вдосконалена експериментальна установка, структурна схема якої наведена на рис. 1, а до складу входять генератор електричних коливань 1, дільники напруги 2 і 8, перемикачі 3 і 9, підсилювач потужності 4, п’єзокерамічні перетворювачі 5 і 7, конструкційний матеріал 6, вибіркового підсилювач 10, фазовий детектор 11, амплітудний детектор 12, вимірювальні прилади 13 і 14, дільник частоти 15 і засіб обчислювальної техніки 16 [4].

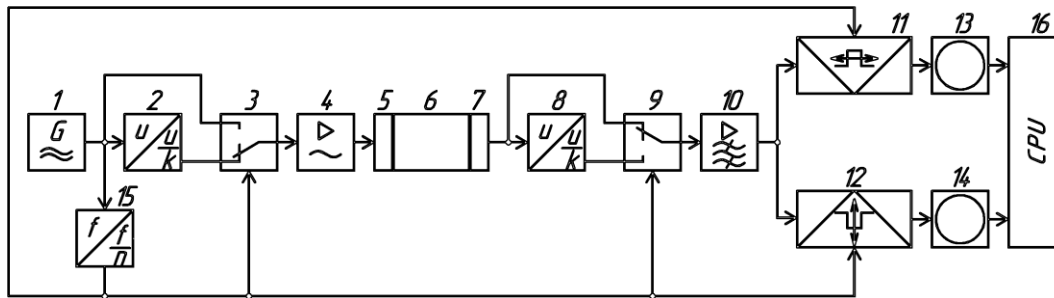


Рис. 1. Структурна схема експериментальної установки

В такій установці зондування конструкційного матеріалу 6 здійснюється пакетами пружних хвиль з різною амплітудою, які формуються перемикачами 3 і 9. Акустична нелінійність конструкційного матеріалу 6 виявляється саме при проходженні крізь нього більшого з пакетів. Невеликі зміни поглинання і швидкості розповсюдження пружних хвиль вимірюються відповідно фазовим детектором 11 і амплітудним детектором 12 та фіксуються засобом обчислювальної техніки 16 через вимірювальні прилади 13 і 14.

Проведені дослідження кількох полікристалічних латуней різних марок як без дефектів, так і з штучно створеними дефектами показали принципову можливість ранньої діагностики таких конструкційних матеріалів.

Перелік посилань

1. О.В. Радько Вибір методів контролю якості конструкційних елементів машин та механізмів / Радько О.В., Медведєва Н.А., Кремешний О.І. // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – № 2(42). – С. 127–130.
2. Зайцев В.Ю. «Неклассическая» структурнообусловленная акустическая нелинейность: эксперименты и модели / В.Ю. Зайцев, Н.В. Прончатов-Рубцов, С.Н. Гурбатов. – Нижний Новгород, – 2007. – 223 с.
3. Киттель Ч. Введение в физику твёрдого тела / Ч. Киттель. – М.: Наука, 1978. – 791 с.
4. Лісовець С.М. Контроль міцності силових конструкцій з полікристалічних матеріалів із застосуванням неруйнівних нелінійних акустичних методів / Лісовець С.М., А.С. Зенкін // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2018. – № 3 (110). – С. 63–70.

Анотація

Пропонуються засоби контролю конструкційних матеріалів пакетами пружних коливань, що за рахунок акустичної структурної нелінійності таких матеріалів дає можливість проводити їх ранню діагностику.

Ключові слова: дефект, матеріал, нелінійність, структура, хвиля.

Abstract

Means for monitoring structural materials by packages of elastic vibrations are proposed, which, due to the acoustic structural nonlinearity of such materials, allows their early diagnosis.

Key words: defect, material, nonlinearity, structure, wave.