

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В. Мотало, кандидат технічних наук, доцент,
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. Мотало, кандидат технических наук, доцент,
Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов

TECHNIQUE FOR QUALITY ESTIMATION OF CONSTRUCTION MATERIALS

V. Motalo, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
«Lvivska Politekhnic» National University, Lviv

ВСТУП

Одною із передумов ефективного використання сучасних матеріалів у конструкціях відповідального призначення, які експлуатуються під екстремальними навантаженнями, є розроблення методів технічної діагностики їх міцності, які дозволяють гарантувати якість і прогнозувати технічний ресурс виробів. Основою сучасної технічної діагностики міцності конструкційних матеріалів (КМ) є *неруйнівний контроль* (НК), який дозволяє отримати інформацію про структуру і властивості матеріалу, його напружено-деформований стан, наявність дефектів та їх вплив на міцність матеріалу [1].

Аналіз сучасного стану НК якості КМ

Про надзвичайну актуальність питань НК і прогнозування якості КМ свідчить велика кількість публікацій [2, 3]. Відповідно, питання класифікації видів і методів НК сьогодні достатньо розроблене і відображене як у відповідних нормативних документах [4], так і у літературних джерелах. Зокрема,

У статті розроблено та проаналізовано методику комплексного оцінювання якості конструкційних матеріалів, основу на концепції неруйнівного контролю. Методика ґрунтується на вимірюванні модуля пружності конструкційних матеріалів як визначального показника їх якості з позиції механіки руйнування та з урахуванням впливу дефектів внутрішньої структури матеріалів (точкових дефектів, дислокацій та пор) і внутрішніх механічних напружень на значення модуля пружності і, відповідно, на міцність матеріалів.

у ДСТУ 2865-94 [4], в якому за основу класифікації взято процеси взаємодії фізичного поля або речовини із досліджуваним зразком (ДЗ), означено 13 видів НК: магнітний, електричний, електромагнітний (вихрострумний), радіохвильовий, тепловий, оптичний, радіаційний, акустичний (ультразвуковий), проникаючих речовин, органолептичний, візуальний, газорозрядна візуалізація та фотографування у полях високої напруги, електрогазодинамічний.

Усі види НК реалізуються відповідними методами, які поділяються за ознаками:

- за характером взаємодії фізичних полів або проникаючих речовин із ДЗ;

- за первинним інформативним параметром;
- за способом отримання первинної інформації.

Спільним для всіх методів НК є використання *первинного інформативного параметру* — конкретної характеристики носія інформації (фізичного поля або проникаючої речовини). Її зміни використовують для отримання інформації про стан контрольованої характеристики (властивості) ДЗ, виготовленого із досліджуваного матеріалу.

Однак контроль та діагностика якості КМ за одною характеристикою ДЗ, нехай і суттєво важливою, є недоліком відомих методів НК, оскільки дозволяє визначити значення відповідної характеристики (властивості) конкретного ДЗ, а не досліджуваного матеріалу загалом. Наприклад, такі фізичні характеристики матеріалів, як питома електропровідність, магнітна проникність, термоелектричні властивості, швидкість поширення ультразвукових хвиль та ін. є структурно-чутливими характеристиками матеріалу, тобто їх значення залежать від внутрішнього структурного стану матеріалу ДЗ (дефектів структури, внутрішніх механічних напружень тощо), а внутрішній структурний стан конкретних ДЗ, виготовлених із одного і того ж матеріалу зазвичай є різним.

Означення досліджуваної проблеми

Отже, оцінювання якості КМ за одною характеристикою, тобто за одновимірною шкалою, не дає повної інформації про їх якість, зокрема, про міцність. Ефективнішу оцінку якості КМ можна отримати за умови одночасного вимірювання декількох характеристик ДЗ, причому різних за фізичною природою, тобто оцінювати якість КМ за багатовимірною шкалою. Це дозволить отримати комплексну оцінку якості КМ і об'єктивно спрогнозувати їх міцність. Актуальність і проблемність означеного питання і зумовили тематику даної статті.

ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою даної статті є розроблення методики комплексного оцінювання якості КМ, основаної на концепції НК.

Основними завданнями досліджень є:

- аналіз характеристик якості і вибір методу оцінювання якості КМ;
- встановлення визначального (головного) показника якості КМ стосовно їх міцності;
- встановлення функціональних (кореляційних) залежностей між визначальним показником якості та структурно-чутливими характеристиками КМ;
- розроблення методики вимірювання визначального показника якості КМ з врахуванням внутрішньої структури ДЗ;
- експериментальне дослідження розробленої методики комплексного оцінювання якості КМ.

Аналіз характеристик якості КМ

Одними із найважливіших якісних характеристик КМ є характеристики пружності, зокрема, модулі пружності (МП) матеріалів [2, 3, 5—7]. Це зумовлене такими причинами:

- МП пов'язані з енергією кристалічної ґратки матеріалу і є мірою міжатомних зв'язків, тому його використовують для фізичних досліджень матеріалів: вивчення структурного стану, фазових перетворень тощо [5];

- МП входить в апарат механіки твердого тіла, його використовують у конструкторських розрахунках деталей і вузлів різних машин та механізмів;

- визначення МП дає можливість прогнозувати реакцію матеріалу на прикладене до нього навантаження, тобто його характеристики міцності [6].

Пружний стан ізотропного тіла при одноосній деформації можна охарактеризувати величинами:

- модулем нормальної пружності (модулем Юнга) $E = \sigma/\varepsilon$;

- модулем зсуву $G = \tau/g$;

- модулем всебічного стиснення $K = p/\nu$ (тут σ, τ, p та ε, g, ν — напруження та деформації відповідно при розтягу, зсуві й всебічному стисненні);

- коефіцієнтом Пуассона μ ,

які пов'язані між собою наступними співвідношеннями [5]:

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}, K = \frac{E}{3(1-2\mu)}. \quad (1)$$

Із формул (1) видно, що пружні властивості ізотропного тіла визначаються двома незалежними характеристиками. Зазвичай, це модулі пружності E і G , вимірювання яких являє собою одну із найважливіших задач експериментального матеріалознавства.

Оскільки, характеристики пружності КМ залежать від внутрішнього структурного стану конкретного ДЗ, то для комплексного оцінювання якості КМ в цілому значення МП необхідно визначати з врахування цього внутрішнього структурного стану ДЗ. А для цього необхідно додатково вимірювати одну із структурно-чутливих характеристик і враховувати її при визначенні МП матеріалу, тобто оцінювати якість КМ за двовимірною шкалою.

Розроблення методики комплексного оцінювання якості КМ шляхом вимірювання модуля нормальної пружності E при одноосному деформуванні ДЗ з врахуванням його внутрішнього структурного стану і є предметом подальшого аналізу даної статті. У даному аналізі МП E є визначальним показником якості КМ [7]. Усі міркування стосовно вимірювання модуля нормальної пружності E є справедливими і щодо вимірювання модуля зсуву G .

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ МП
КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Динамічний метод

Вимірювання МП матеріалів, зазвичай, здійснюють динамічним методом [8], який реалізується двома способами:

- шляхом вимірювання частоти власних коливань ДЗ (резонансний метод);
- шляхом вимірювання швидкості поширення пружних хвиль у ДЗ (імпульсний ультразвуковий метод).

У випадку застосування резонансного методу у ДЗ збуджують поздовжні коливання і в момент резонансу вимірюють частоту власних коливань зразка, а значення МП E визначають за формулою:

$$E = k_l \rho l^2 f_l^2, \quad (2)$$

де k_l — коефіцієнт, значення якого залежать від форми та геометричних розмірів ДЗ; ρ — густина матеріалу зразка, кг/м³; l — довжина зразка, м; f_l — частота власних поздовжніх коливань зразка, с⁻¹.

Необхідною умовою виконання рівності (2) є велике співвідношення між довжиною l та діаметром d ДЗ ($l/d > 10$), що ускладнює практичну реалізацію резонансного методу, оскільки такі параметри не завжди можливо забезпечити. Відносна похибка вимірювання МП резонансним методом не перевищує 1 % [8, 9].

У експериментальному матеріалознавстві використовується значно ширше імпульсний ультразвуковий метод. Цей метод оснований на залежності швидкості поширення поздовжніх v_l пружних або ультразвукових хвиль (УЗХ) у досліджуваному матеріалі від модуля нормальної пружності E [8]:

$$v_l = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}}. \quad (3)$$

У ДЗ, поперечний розмір або діаметр d якого значно менший від довжини пружної хвилі λ , що поширюється в ньому. Вираз (3) спрощується до $v_l = \sqrt{E/\rho}$, звідки отримують робочу формулу для визначення МП імпульсним ультразвуковим методом:

$$E = \rho v_l^2. \quad (4)$$

Вимірювальні прилади, в яких реалізується імпульсний ультразвуковий метод вимірювання МП, зазвичай будують за структурною схемою (рис. 1а) і містять ультразвуковий канал (УЗК) для вимірювання швидкості v поширення УЗХ в ДЗ і блок обчислення модуля (БОМ).

Похибки вимірювання МП імпульсним ультразвуковим методом. Імпульсний ультразвуковий метод на сучасному етапі розвитку вимірювальної техніки забезпечує найвищу точність вимірювання МП. Відносна похибка δ_E вимірювання МП джерелами є меншим за десяти долі відсотка [8, 9]. Але необхідно зазначити, що автори відомих робіт

враховують лише інструментальну похибку $\delta_{E,I}$, тобто приймають, що $\delta_E = \delta_{E,I}$ яка дорівнює:

$$\delta_{E,I} = \delta_\rho + \delta_v, \quad (5)$$

де δ_ρ — відносна похибка вимірювання густини ρ матеріалу ДЗ; δ_v — відносна похибка вимірювання швидкості v поширення УЗХ у ДЗ.

Проте, умова $\delta_E = \delta_{E,I}$ не правомірна, оскільки у ній не врахований вплив внутрішньої структури ДЗ на швидкість УЗХ і, відповідно, на значення МП. А такий вплив існує і може призвести до появи значної похибки вимірювання МП.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що такі фактори, як дефекти внутрішньої структури (ДВС) матеріалу (точкові дефекти, дислокації, пори) і внутрішні механічні напруження, мають безпосередній вплив на значення МП. Наприклад, внаслідок руху дислокацій, спричиненого прикладеним до зразка механічним напруженням, виміряне значення МП може бути меншим на 1% від свого дійсного значення [8]. Зміна внутрішніх напружень при переході матеріалу від загартованого стану до відпущеного обумовлює збільшення МП на 1,5—2%. Наявність вакансій у ДЗ призводить до зменшення МП, а наявність міжвузлових атомів — до збільшення МП на 5—10% на 1% атомів. При дослідженні тугоплавких металокерамічних матеріалів [8], які практично завжди мають залишкову пористість, різниця між виміряними і дійсними значеннями МП може складати декілька процентів.

Розглянемо питання впливу ДВС матеріалу зразка на точність вимірювання МП ультразвуковим методом детальніше. Оскільки фактично виміряна швидкість v УЗХ в реальному ДЗ завжди відрізняється від швидкості v_0 УЗХ в бездефектному зразку на величину Δv , тобто $v = v_0 + \Delta v$, то дійсне значення E_0 МП

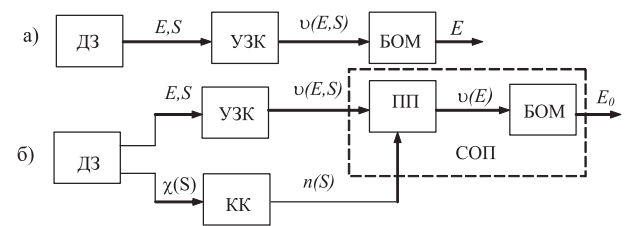


Рис. 1. Узагальнені структурні схеми засобів вимірювання МП ультразвуковим методом: без корекції (а) і з корекцією (б) методичної похибки

- ДЗ — досліджуваний зразок; УЗК — ультразвуковий канал;
- БОМ — блок обчислення модуля;
- СОП — спеціалізований обчислювальний пристрій;
- ПП — перемножувальний пристрій; КК — канал корекції;
- E — модуль пружності ДЗ; E_0 — дійсне значення модуля пружності досліджуваного матеріалу;
- v — швидкість поширення УЗХ в ДЗ;
- $\chi(S)$ — структурно-чутлива характеристика матеріалу;
- $n(S)$ — корегуючий сигнал

бездефектного матеріалу, яке дорівнює:

$$E_0 = \rho_0 v_0^2, \quad (6)$$

де ρ_0 — теоретична густина бездефектного матеріалу відрізняється від вимірюваного значення E на величину $\Delta E = E - E_0$, тобто виникає методична похибка вимірювання МП $\delta_{E,M}$, яка дорівнює $\delta_{E,M} = (\Delta E / E_0) \cdot 100\%$.

Таким чином, фактично похибка δ_E вимірювання МП ультразвуковим методом має дві складові — інструментальну $\delta_{E,I}$ і методичну $\delta_{E,M}$, тобто:

$$\delta_E = \delta_{E,I} + \delta_{E,M}, \quad (7)$$

причому, як було зазначено вище, $\delta_{E,M}$ може дорівнювати декільком процентам, тобто є значно більшою від $\delta_{E,I}$ і має основний вплив на значення похибки δ_E вимірювання МП.

Отже, зменшення методичної похибки є важливою метрологічною задачею, оскільки дозволяє суттєво підвищити точність вимірювання МП ультразвуковим методом. Розглянемо це питання детальніше.

Дійсне значення МП E_0 досліджуваного матеріалу на основі (4) та (6) представимо у вигляді:

$$E_0 = \rho_0 v^2 n^2, \quad (8)$$

де $n = v_0 / v$ — коефіцієнт (масштаб) зміни швидкості УЗХ у конкретному реальному ДЗ порівняно з ідеальними бездефектними.

З врахуванням (6) та (8) методична похибка вимірювання МП дорівнює:

$$\delta_{E,M} = \left(1 - \frac{n^2}{J}\right) \cdot 100\%, \quad (9)$$

де $J = \rho / \rho_0$ — відносна густина зразка.

Таким чином, знаючи n за формулою (8) легко визначити дійсне значення МП E_0 матеріалу та самим, вилучити методичну похибку $\delta_{E,M}$, яка, як видно з (9) та рис. 2, в значній мірі залежить від значення n та відносної густини зразка J . Використовуючи значення n можна визначити поправлений резуль-

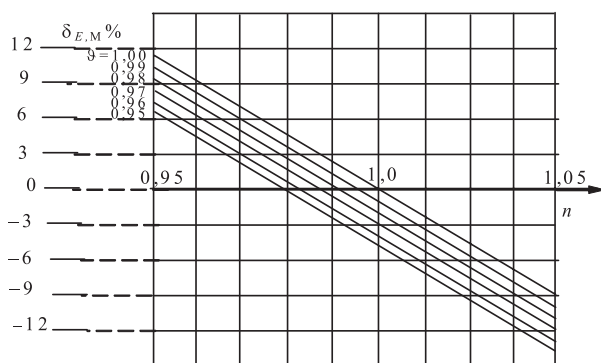


Рис. 2. Залежності методичної похибки $\delta_{E,M}$ вимірювання МП від коефіцієнта n зміни швидкості поширення УЗХ та відносної густини досліджуваного зразка J

тат вимірювання МП і суттєво підвищити точність вимірювання МП та, відповідно, оцінки якості КМ.

МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ МП КМ

Фізичні основи корекції методичної похибки вимірювання МП. Для визначення коефіцієнта n необхідно здійснити вимірювання певної фізичної характеристики ДЗ, яка, з одного боку, відображала би фактори його внутрішньої структури (структурно-чутлива характеристика), а, з іншого — була би пов'язана з вимірюваними величинами, із швидкістю поширення УЗХ в зразку та значенням МП.

Для аналізу взаємозв'язків між фізичними характеристиками та внутрішньою структурою матеріалу застосовані основні положення теорії консолідації [10], що передбачає єдність властивостей тіла, яке має дефекти внутрішньої структури (ДВС).

Відповідно до теорії консолідації, властивості тіла із ДВС слід розглядати як умовні характеристики деякої конструкції з компактного бездефектного матеріалу. Властивості будь-якого компактного просторового елемента тіла з ДВС є ідентичними властивостям бездефектного матеріалу. Дефекти у тілі спричиняють спотворення швидкості поширення будь-якого процесу. Ступінь спотворення визначається масштабним фактором $L = l / l_0$ (тут l — фактична довжина шляху певного процесу в зразку з ДВС; l_0 — номінальна або найменша довжина шляху цього ж процесу в бездефектному зразку). Масштабний фактор 4 може визначатися й як відношення швидкості v поширення процесу в зразку з ДВС та номінальної швидкості v_0 поширення цього ж процесу в бездефектному зразку:

$$L = l / l_0 = v_0 / v. \quad (10)$$

Іншою характеристикою тіла з ДВС є безрозмірний контактний переріз α , який дорівнює відношенню площі фактичного контактного перерізу зразка з ДВС до площі номінального перерізу бездефектного зразка. Значення α змінюється від 0 до 1.

Згідно [10], невеликі напруження в тілі з ДВС (менші від границі пружності) практично повністю концентруються в критичному контактному перерізі α . Таким чином, α являє собою безрозмірну активну частину перерізу тіла з ДВС, в якій концентруються спрямовані напруження або процеси. Це дозволяє встановити наступні основоположні співвідношення, які визначають єдність властивостей тіла з ДВС:

$$E / E_0 = \alpha \text{ та } (v / v_0)^2 = \alpha. \quad (11)$$

Між двома основними параметрами L (10), (11) і α існує залежність:

$$\sqrt{\frac{\alpha}{9}} = \frac{1}{L}, \quad (12)$$

яка дає можливість розв'язати задачу визначення взаємозв'язків між різними фізичними характеристиками в цьому зразку.

Взаємозв'язки між властивостями зразка з ДВС різної фізичної природи (механічними, електричними, магнітними тощо) мають чисто кореляційний характер, оснований на впливі факторів внутрішньої структури одного і того ж зразка на масштаби спотворення швидкостей поширення в ньому всіх процесів незалежно від їх фізичної природи. Отже, можна говорити про взаємозв'язки тільки умовних (нормалізованих) характеристик зразка, які слід розглядати як функції величин, що характеризують внутрішню структуру цього зразка, тобто:

$$\chi(S)/\chi_0 = f(\alpha; \vartheta), \quad (13)$$

де $\chi(S)$ і χ_0 — значення фізичної характеристики (питомої електропровідності, відносної діелектричної чи магнітної проникності, модуля пружності, швидкості УЗХ, механічних напружень тощо) відповідно для зразка з ДВС та бездефектного матеріалу (буквою S тут позначено вплив ДВС зразка на значення відповідної характеристики).

Умову єдності фізичних характеристик тіла з ДВС можна використати для визначення значень цих характеристик. Знаючи масштаб зміни однієї із характеристик (наприклад, питомої електропровідності, відносної діелектричної чи магнітної проникності), можна визначити масштаби зміни інших характеристик цього зразка (наприклад, швидкості УЗХ, МП, механічних напружень, границі міцності тощо), а потім визначити і числові значення цих характеристик.

Як впливає із проведеного аналізу [11—13], структурово-чутливою характеристикою матеріалу, яку можна використати для визначення коефіцієнта n зміни швидкості поширення УЗХ, для провідників є питома електропровідність γ [11], для діелектриків — відносна діелектрична проникність ϵ [12], а для феромагнетиків — відносна магнітна проникність μ [13].

Розглянемо детальніше взаємозв'язок між коефіцієнтом зміни швидкості поширення УЗХ і питомою електропровідністю в одному і тому ж зразку. Для цього скористаємося граничними рівняннями для нормалізованих властивостей тіл з ДВС, для яких справедливе співвідношення $\alpha = \vartheta^3$ [10]. Тоді, на основі (10) і (12) отримаємо, що $v/v_0 = \sqrt{\alpha/\vartheta}$, і, розглядаючи питому електропровідність зразка γ , як електропровідність кубика одиничного об'єму з площею перерізу α , тобто $\gamma/\gamma_0 = \sqrt{\alpha/\vartheta}$, де γ_0 — провідність бездефектного матеріалу. Визначимо, що коефіцієнт n зміни швидкості поширення УЗХ в зразку, з ДВС, дорівнює [11]:

$$n = \frac{v_0}{v} = \sqrt{\frac{\gamma_0}{\gamma}}, \quad (14)$$

а дійсне значення МП провідного матеріалу, з якого виготовлений ДЗ, з врахуванням (8):

$$E_0 = \rho_0 v^2 \frac{\gamma_0}{\gamma}. \quad (15)$$

Подібним чином доведено, що у випадку діелектричних матеріалів коефіцієнт зміни швидкості поширення УЗХ в досліджуваному зразку, з ДВС, $n = \sqrt{\epsilon_0/\epsilon}$, де ϵ_0 — діелектрична проникність бездефектного матеріалу, а дійсне значення МП матеріалу, з якого виготовлений зразок, дорівнює [12]:

$$E_0 = \rho_0 v^2 \frac{\gamma_0}{\gamma}. \quad (16)$$

Також доведено, що у випадку феромагнітних матеріалів коефіцієнт зміни швидкості поширення УЗХ в досліджуваному зразку з ДВС, $n = \sqrt{\mu_0/\mu}$, де μ_0 — відносна магнітна проникність відповідно зразку без дефектів та з ДВС, а дійсне значення МП матеріалу, з якого виготовлений зразок, дорівнює [13]:

$$E_0 = \rho_0 v^2 \frac{\mu_0}{\mu}. \quad (17)$$

Таким чином, суть запропонованої методики визначення дійсного значення МП досліджуваного матеріалу E_0 та основаного на ній способу підвищення точності вимірювання МП, полягає в одночасному вимірюванні у ДЗ швидкості v поширення УЗХ та однієї із структурно-чутливих характеристик матеріалу $\chi(S)$ (питому електропровідність γ для провідних матеріалів, відносну діелектричну проникність ϵ для діелектриків або відносну магнітну проникність μ для феромагнетиків), а дійсне значення МП визначати відповідно за формулами (15), (16) або (17). Така сукупність дій дозволяє враховувати вплив факторів внутрішньої структури ДЗ (точкових дефектів, дислокацій, пор та внутрішніх механічних напружень) на швидкість v поширення УЗХ в ньому і та суттєво зменшити методичну похибку $\delta_{E,M}$ вимірювання МП.

Аналіз похибок вимірювання МП за розробленою методикою. Відносна похибка δ_E вимірювання МП ізотропних матеріалів запропонованим способом практично визначається інструментальною складовою $\delta_{E,I}$ і, відповідно до (15), дорівнює (тут і далі будемо розглядати тільки похибку вимірювання МП провідних матеріалів, оскільки всі міркування є справедливими і для випадків вимірювання МП діелектричних та феромагнітних матеріалів):

$$\delta_E = \delta_{E,I} = \delta_{\rho_0} + \delta_v + \delta_{\gamma_0} + \delta_\gamma, \quad (18)$$

де $\delta_{\rho_0}, \delta_v, \delta_{\gamma_0}, \delta_\gamma$ — відносні похибки вимірювання величин $\rho_0, v, \gamma_0, \gamma$.

Розглянемо детальніше граничні значення складових похибок вимірювання МП (18). Граничне значення похибки $\delta_{\rho_0,TP}$ при визначенні густини ρ_0 найточнішим в даний час пікнометричним методом дорівнює $\pm 10^{-4}\%$, а граничне значення похибки $\delta_{\gamma_0,TP}$ ▶

визначення питомої електропровідності матеріалу γ_0 сучасними прецизійними засобами вимірювань не перевищує $\pm 0,01\%$. Тоді похибка δ_E вимірювання МП практично визначається похибками δ_ν і δ_γ вимірювання швидкості ν і питомої електропровідності γ , граничні значення яких $\delta_{\nu,гр}$ і $\delta_{\gamma,гр}$, як показує аналіз [11], не перевищують, відповідно, $\pm 0,1\%$ і $\pm 0,3\%$. Таким чином, граничне значення відносної похибки $\delta_{E,гр}$ вимірювання МП запропонованим методом не перевищує $\pm 0,5\%$, тобто в даному випадку є підвищення точності вимірювання МП матеріалів порівняно з існуючими засобами в 5—10 разів.

При дослідженні зразків з $\vartheta = 1$ у зв'язку з тим, що довжина акустичного шляху в ДЗ збігається з довжиною l ДЗ, яка враховується також при визначенні електропровідності γ , значення МП матеріалу можна визначити за формулою:

$$E_0 = \frac{mR\gamma_0}{t^2}, \quad (19)$$

де m , R — маса (кг) та електричний опір (Ом) ДЗ; t — час проходження УЗХ через ДЗ, с.

Відносна похибка δ_E вимірювання МП в цьому випадку також практично визначається інструментальною складовою $\delta_{E,l}$ і дорівнює:

$$\delta_E = \delta_{E,l} = \delta_m + \delta_R + \delta_{\gamma_0} + 2\delta_t, \quad (20)$$

де $\delta_m, \delta_R, \delta_t$ — відповідно відносні похибки вимірювання величин m , R і t .

Із виразу (20) випливає: на точність вимірювання МП не впливають похибки визначення геометричних розмірів ДЗ. У даному випадку крім корекції методичної похибки зменшується інструментальна похибка і усувається додаткова температурна похибка, обумовлена зміною геометричних розмірів зразка під впливом температури середовища.

Структура вимірювальних приладів вимірювання МП з підвищеною точністю. Вимірювальні прилади, в яких реалізується запропонований спосіб вимірювання МП матеріалів, крім основного УЗК (рис. 1,б) містять додатковий канал корекції (КК) для вимірювання структурно-чутливої характеристики матеріалу $\chi(S)$ і вироблення коректуючого сигналу $n(S)$ та перемножувальний пристрій (ПП) для здійснення коректуючої дії. В цих пристроях здійснюється автоматична мультиплікативна корекція методичної похибки. Перемножувальний пристрій ПП і блок обчислення модуля БОМ можуть бути об'єднані в спеціалізований обчислювальний пристрій (СОП), наприклад, мікро-ЕОМ чи персональний комп'ютер.

За структурною схемою (рис. 1,б) розроблено прилад для вимірювання МП ізотропних матеріалів [11], в якому одночасно із вимірюванням часу t проходження УЗХ по зразку, необхідного для визначення швидкості ν , здійснюється вимірювання

електричного опору R зразка, необхідного для визначення питомої електропровідності γ матеріалу зразка, а дійсне значення МП досліджуваного матеріалу на основі (15) визначається за формулою:

$$E_0 = \frac{\rho_0 \gamma_0 l S R}{t^2}. \quad (21)$$

У приладі передбачена спеціальна акустична лінія зв'язку (ЛЗ), яка забезпечує односторонній акустичний доступ до ДЗ, завдяки чому забезпечується можливість вимірювання МП при нагріванні або механічному навантаженні зразка, причому вплив ЛЗ на точність вимірювання часу t виключається завдяки специфічній побудові вимірювальної схеми приладу. Діапазон вимірювання МП приладу 100—1000 Гпа, а границя допустимої основної відносної похибки $\delta_{E,гр} = \pm 0,5\%$. Проведені експериментальні дослідження тугоплавких металокерамічних матеріалів [11] повністю підтвердили справедливості всіх теоретичних положень розробленої методики вимірювання МП з підвищеною точністю. Результати досліджень були використані в Інституті надтвердих матеріалів АН України при розрахунках спеціальних конструкцій, виготовлених із цих матеріалів, і прогнозуванні їх міцності.

ВИСНОВКИ

1. Якість КМ залежить від стану внутрішньої структури досліджуваних матеріалів. Визначальним показником якості КМ стосовно їх міцності доцільно прийняти модуль нормальної пружності E , який є структурно-чутливою характеристикою досліджуваних матеріалів.

2. Дефекти внутрішньої структури матеріалів (точкові дефекти, дислокації, пори) і внутрішні механічні напруження впливають на швидкість поширення УЗХ і, відповідно, на значення МП матеріалів, тобто призводять до виникнення методичної похибки, яка має основний вплив на результуючу похибку вимірювання МП.

3. Для корекції методичної похибки необхідно одночасно із вимірюванням швидкості поширення УЗХ в досліджуваному зразку необхідно вимірювати одну із структурно-чутливих характеристик матеріалу (питому електропровідність для провідних матеріалів, відносну діелектричну проникність для діелектриків або відносну магнітну проникність для феромагнетиків), а дійсне значення МП досліджуваного матеріалу визначити відповідно за наведеними формулами з врахуванням визначених значень цих характеристик.

4. Розроблена методика вимірювання МП матеріалів з підвищеною точністю дозволяє отримати комплексну оцінку якості КМ і прогнозувати міцність деталей та конструкцій, виготовлених із КМ, та їх технічний ресурс. ■

ЛІТЕРАТУРА

1. Патон Б. Е. Неразрушающий контроль и надежность технических объектов / Патон Б.Е. // Вісник АН УРСР, 1987. — № 1. — С. 71—76.
2. Неразрушающий контроль и диагностика: [Справочник] / [В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, В. Н. Филиппов и др.]; Под ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1995. — 488 с.
3. Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідковий посібник: У 6 т. / За заг. ред. В. В. Панасюка. — К: Наук. думка, 1988. — Т. 5: Неруйнівний контроль і технічна діагностика / За ред. З. Т. Назарчука. — Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, 2001. — 1134 с.
4. ДСТУ 2865-94. Контроль неруйнівний. Терміни та визначення. — [Чинний від 1996-01-01]. — К.: Держстандарт України, 1995. — 51 с.
5. Лившиц Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов / Лившиц Б. Г., Крапошин В. С., Линецкий Я. Л. — М.: Металлургия, 1980. — 320 с.
6. Андриевский Р. А. Прочность тугоплавких соединений / Андриевский Р. А., Ланин А. Г., Рымашевский Г. А. — М.: Металлургия, 1974. — 232 с.
7. ДСТУ 2925-94. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення. — [Чинний від 1996-01-01]. — К.: Держстандарт України, 1995. — 27 с. — (Державний стандарт України).
8. Труэлл Р. Т. Ультразвуковые методы в физике твердого тела: Пер. с англ. / Труэлл Р. Т., Эльбаум Ч. Э., Чик В. В. — М.: Мир, 1972. — 308 с.
9. Войтенко А. Ф. Исследование характеристик упругости конструкционных сплавов в широком интервале температур / Войтенко А. Ф. // Механические испытания конструкционных сплавов. — К.: Наукова думка, 1982. — С. 126—145.
10. Бальшин Ю. М. Научные основы порошковой металлургии и металлургии волокна / Бальшин Ю. М. — М.: Металлургия, 1972. — 297 с.
11. Мотало В. П. Аналіз шляхів підвищення точності вимірювання модуля пружності ізотропних матеріалів / Мотало В. П. // Вимірювальна техніка та метрологія. — 2003. — Вип. 61. — С. 121—127.
12. Патент № 22180 А, Україна, МПК G01 N 29/00. Спосіб визначення модуля пружності діелектричних матеріалів / Б. І. Стадник, В. П. Мотало (Україна) // Промислова власність. — 1998. — № 3.
13. Патент № 54869 А, Україна, МПК G01 N 29/00. Спосіб визначення модуля пружності феромагнітних матеріалів / Б. І. Стадник, В. П. Мотало, Т. М. Залуцька (Україна) // Промислова власність. — 2003. — № 3.

ІНСТИТУТ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ДП «УкрНДНЦ»

Основні завдання Інституту підготовки фахівців ДП «УкрНДНЦ»:

- Підготовка спеціалістів і магістрів (друга вища освіта).
- Підготовка кандидатів в аудитори з сертифікації:
 - продукції та послуг;
 - систем управління якістю за ДСТУ ISO 9001:2000;
 - систем управління навколишнім середовищем за ДСТУ ISO 14001;
 - систем управління безпечністю харчових продуктів за ДСТУ 4161—2003.
- Підготовка кандидатів в аудитори з метрології та лабораторій.
- Підготовка органів з сертифікації до акредитації.
- Підготовка фахівців за напрямками:
 - підготовка асесорів (аудиторів з акредитації лабораторій за ДСТУ ISO/IEC 17025);
 - повірка та калібрування засобів вимірювальної техніки;
 - метрологічне забезпечення вимірювань та виробництва;
 - розробка та внутрішній аудит систем управління.

Структура Інституту підготовки фахівців:

- Кафедра акредитації лабораторій, механічних та геометричних вимірювань.
- Кафедра оцінки відповідності, стандартизації та управління якістю.
- Кафедра метрологічного забезпечення виробництва, електричних та радіотехнічних вимірювань.
- Кафедра екологічного контролю, теплотехнічних та фізико-хімічних вимірювань.
- Кафедра управління якістю та випробування харчових продуктів.
- Кафедра споживчої політики.

Контакти:

Тел.: (044) 452-34-27, (044) 450-67-19
Тел./факс: (044) 459-58-95
Адреса: 03115, Київ, вул. Святошинська, 2, 6-й поверх
E-mail: decanat@ukrmdnc.org.ua

