



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 92944

(13) C2

(51) МПК-2011.01

G01N 29/14

G01N 3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ОЦІНКИ ТИПІВ РУЙНУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

1

(21) а200814437

(22) 15.12.2008

(24) 27.12.2010

(46) 27.12.2010, Бюл.№ 24, 2010 р.

(72) СКАЛЬСЬКИЙ ВАЛЕНТИН РОМАНОВИЧ, НА-
ЗАРЧУК ЗІНОВІЙ ТЕОДОРОВИЧ, КЛИМ БОГДАН
ПЕТРОВИЧ, ПОЧАПСЬКИЙ ЄВГЕН ПЕТРОВИЧ,
ПЛАХТІЙ РОМАН МИХАЙЛОВИЧ, СЕРГІЄНКО
ОЛЕГ МИКОЛАЙОВИЧ(73) ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ.
Г.В.КАРПЕНКА НАН УКРАЇНИ

(56) UA 21598 A; 30.04.1998

RU 2138039 C1; 20.09.1999

WO 2007102013 A1; 13.09.2007

SU 1597694 A1; 07.10.1990

SU 832462; 23.05.1981

(57) Спосіб оцінки типів руйнування конструкційних
матеріалів, який полягає у їх навантаженні чи де-
формуванні і реєстрації при цьому параметрів сиг-
налів пружних хвиль акустичної емісії (АЕ), що
супроводжують процеси зародження чи розвитку
руйнування, який **відрізняється** тим, що типи

2

руйнування визначають шляхом встановлення
критеріального показника

$$\zeta = A \cdot \Delta f_0 \cdot c \cdot \epsilon_1 \cdot \Delta f \cdot \eta \cdot k^* \geq 1,$$

де τ_1 - час наростання переднього фронту АЕ-
імпульсів; A - амплітуда електричного сигналу АЕ;
 Δf_0 - смуга робочих частот АЕ-тракту приладу; Δf
- смуга спектра частот сигналів АЕ; η - коефіцієнт
перетворення первинних перетворювачів пружних
хвиль АЕ; k^* - коефіцієнт підсилення АЕ-тракту, c
- коефіцієнт пропорційності, що враховує фізико-
хімічні характеристики матеріалу та режими про-
ведення АЕ-вимірювань, який враховує найстійкіші
параметри сигналів пружних хвиль акустичної емі-
сії, характеристики первинного перетворювача та
вимірювального тракту і порівняння цього показни-
ка з експериментально встановленою константою,
а про тип руйнування судять за критеріями
 $\zeta \leq 400$ - в'язке руйнування; $\zeta > 400$ - крихке руй-
нування.

Винахід відноситься до випробувань матеріа-
лів, а саме до випробувань на предмет визначен-
ня крихкого чи в'язкого типів руйнування.

Відомий спосіб визначення типів руйнування,
який полягає в дослідженні за допомогою мікрос-
копа доломів зразків матеріалів [1]. Застосовуючи
методи фрактографії та металографії, визначають
тип руйнування за видом доломів, що характери-
зуються певними змінами їх рельєфів та особли-
востями структурних змін.

Недоліком способу є те, що він належить до
руйнівних методів контролю і вимагає вартісного
обладнання та високої кваліфікації персоналу.
Окрім того, зразки для досліджень мають бути
відповідним чином підготовлені, що тягне за собою
додаткові матеріальні витрати.

Найближчим за технічною суттю є спосіб оцін-
ки водневої крихкості сталей, який полягає у моно-
тонному статичному навантаженні зразків до і піс-
ля наводнення у пружній області діаграми
навантаження, реєструванні при цьому сигналів

акустичної емісії (АЕ), а про водневу крихкість су-
дять за співвідношенням навантаження моментів
появи сигналів АЕ у зразках до і після наводнення
[2].

Недоліком прототипу є те, що за отриманими
даними випробувань неможливо визначити тип
руйнування конструкційних матеріалів. Воно, як
відомо, має різні стадії: зародження та розвиток
пластичної зони та докритичну і закритичну стадії
руйнування, де чергуються механізми пластичного
і крихкого руйнування з домінуванням останнього у
випадку деградованості матеріалу.

Технічна задача, що розв'язується даним ви-
находом, полягає у створенні ефективного спосо-
бу неруйнівного контролю, який базується на ре-
єструванні сигналів АЕ і застосуванні критерію,
який пов'язує параметри відбору та обробки сиг-
налів АЕ з їхніми характеристиками.

Внаслідок тривалого експлуатування облад-
нання та відповідальних конструкцій відбувається
деградування конструкційних матеріалів. Воно

(13) C2

(11) 92944

(19) UA

призводить, в першу чергу, до окрихчення, яке сприяє зародженню та розвитку найнебезпечніших, з точки зору міцності конструкцій, дефектів типу тріщин. У випадку реалізації механізмів крихкого руйнування останні спричиняють спонтанне поширення тріщин, що, здебільшого, тягне за собою катастрофічне руйнування, а тип руйнування - визначає його кінетику, а відтак і залишковий ресурс елемента конструкції чи виробу.

Згідно з концепцією "безпечного пошкодження" наявність тріщин не завжди може бути підставою для вилучення виробу чи елемента конструкції з експлуатації. Щоб забезпечити їх штатне функціонування необхідно вміти виявляти критичні параметри тріщини, які характеризують стадії розвитку руйнування.

Застосування методик і засобів АЕ-діагностування матеріалів і елементів конструкцій давно підтвердило свою ефективність, однак і до нині не існує методик для оцінювання крихкого руйнування конструкційних матеріалів з урахуванням стійких параметрів сигналів АЕ. Розв'язання цієї актуальної науково-технічної задачі дозволяє ідентифікувати стадії крихкого руйнування матеріалів і, тим самим, не тільки діагностувати стан елементів конструкцій, а й на підставі АЕ-моніторингу ефективно визначати їх термін експлуатування.

З розвитком цифрової обробки сигналів АЕ вже у 70-х роках ХХ сторіччя почали використовувати спектральний їх аналіз для визначення механізмів руйнування твердих тіл. Поряд з хвиловим відображенням події АЕ, амплітудно-частотна характеристика сигналів дає змогу оцінити через тонку структуру сигналу особливості джерела, яке його генерує.

Відомо, що суттєвий вплив на зміну параметрів пружних хвиль АЕ у різних матеріалах має їх згасання. Цей фактор необхідно враховувати під час проведення неруйнівного контролю матеріалів, виробів і елементів конструкцій. Особливо важливо брати до уваги те, що найбільше згасають високочастотні складові спектра сигналів АЕ [3] і цим самим зумовлюють його звуження з відстанню проходження і, таким чином, це є також інформативною ознакою.

Амплітуди сигналів АЕ пропорційні площі новоутворених дефектів або довжині стрибка наскрізної тріщини, а ширина їх спектрів обернено пропорційна коефіцієнтові інтенсивності напружень та площі стрибка макротріщини під час її докритичного розвитку [4]. Разом з тим, зміна часу наростання переднього фронту АЕ-імпульсів τ_1 залежить від типу руйнування - крихке чи пластичне і цей параметр має найбільшу стійкість під час проходження пружних хвиль АЕ в конструкційних матеріалах [5].

Різні параметри сигналів АЕ проявляють неоднакову стійкість до дії на них фізичних чинників,

на них впливає також і рівень дискримінації та відстань проходження пружних хвиль АЕ [6]. Тому, за інформативні параметри сигналів АЕ під час АЕ-контролю елементів конструкцій необхідно вибирати ті, котрі мають максимальну стійкість, або вживати заходи, що забезпечують досягнення необхідної стійкості.

Таким чином, аналізуючи час наростання сигналу АЕ, що несе інформацію про АЕ-подію, його амплітудно-частотні характеристики, а також основні параметри АЕ-тракту засобів відбору та обробки АЕ-інформації, можна визначати типи руйнування. Виходячи з цього запропоновано такі критерії для оцінки крихкого та в'язкого руйнування:

$$\zeta \leq m^* - \text{в'язке руйнування} \quad (1)$$

$$\zeta > m^* - \text{крихке руйнування} \quad (2)$$

де критеріальний показник ζ визначають як

$$\zeta = A \cdot \Delta f_0 \cdot c \cdot (\tau_1 \cdot \Delta f \cdot \eta \cdot k^*)^{-1} \quad (3)$$

Тут m^* - константа, що визначається із експериментальних даних; A - амплітуда електричного сигналу АЕ; Δf_0 - смуга робочих частот АЕ-тракту приладу; Δf - смуга спектру частот сигналів АЕ; η - коефіцієнт перетворення первинних перетворювачів пружних хвиль АЕ; k^* - коефіцієнт підсилення АЕ-тракту, c - коефіцієнт пропорційності, що враховує фізико-хімічні характеристики матеріалу та режими проведення АЕ-вимірювань.

Спосіб оцінки типів руйнування конструкційних матеріалів виконують так. На об'єкті контролю (ОК) встановлюють в необхідному місці первинний перетворювач сигналів АЕ. Після цього тарують чутливість вимірювального АЕ-тракту, збуджуючи штучно в ОК пружні хвилі АЕ і підбирають режими їх відбору (підсилення, фільтрації тощо). Маючи характеристики первинного перетворювача АЕ та режими реєстрації сигналів АЕ, випробують ОК шляхом збудження у ньому сигналів від тріщиноподібних дефектів, які розвиваються за додаткового навантаження чи деформування ОК. Зареєструвавши їх, визначають амплітудно-частотні характеристики сигналів АЕ, за якими разом із параметрами АЕ-тракту та характеристиками первинного перетворювача АЕ визначають критеріальний показник ζ . Поєднавши його із значенням попередньо встановленої експериментально константи m^* , визначають тип руйнування.

У таблиці приведено усереднені значення параметрів відбору та обробки сигналів АЕ та параметричного показника за результатами випробувань в'язких і крихких матеріалів, що дало можливість встановити значення $m^* = 400$ м/с.

Таблиця

Результати випробувань в'язких і крихких конструкційних матеріалів

Матеріал	A/k^* , мкВ	Δf , кГц	τ_1 , мкс	ζ , м/с	Тип руйнування
Конструкційна сталь Ст. 45 ($\varnothing=4$ мм, $l=36$ мм, розтяг, відпал)	2170	220	2,5	397	в'язке
Полівініл (призма 80x20x10 мм, згин)	132	330	5	4	в'язке
Корунд ($\varnothing=13,5$ мм, $l=80$ мм, згин)	150	30	0,2	1250	крихке
Кераміка (призма 80x30x8 мм, згин)	165	5	0,3	5500	крихке

Таким чином, маючи результати експериментальних досліджень, критерії (1) та (2) запишемо у вигляді:

$\zeta \leq 400$ - в'язке руйнування,

$\zeta > 400$ - крихке руйнування.

Отже, отримані результати підтверджують простоту та ефективність виконання способу і можливість його застосування для неруйнівного контролю матеріалів та елементів конструкцій в умовах їх експлуатування.

Список використаних джерел

1. Гордеева Т.А., Жегина И.П. Анализ изломов при оценке надежности материалов. - М.Машиностроение, 1978. - 200 с.
2. Патент України на винахід 21598А. Спосіб оцінки водневої крихкості сталей / В.Р. Скальський,

О.Є. Андрейків, А.Б. Вайнман. - Опубл. 30.04.98. Бюл. №2.

3. Скальський В.Р., Коваль П.М. Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій. Методологічні аспекти відбору та обробки інформації. - Львів: Сполом, 2005. - 396 с.

4. Скальський В.Р., Андрейків О.Є Оцінка об'ємної пошкодженості матеріалів методом акустичної емісії. - Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2006. - 330 с.

5. Коллакот Р. Диагностика поврежденных / Пер. с англ. под ред. П.Г. Бабаевского. - М: Мир, 1989. - 512 с.

6. Неразрушающий контроль. Справочник в 8-ми томах. // Т.7., кн. 1. В.И. Иванов, И.Э. Власов. Метод акустической эмиссии. / Под общ. ред. В.В. Ключева. - М.: Машиностроение, 2006. - 828 с.