



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 90728

(13) C2

(51) МПК (2009)
G01N 29/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ МАТЕРІАЛІВ

1

2

(21) a200801599

(22) 07.02.2008

(24) 25.05.2010

(46) 25.05.2010, Бюл. № 10, 2010 р.

(72) ВДОВИЧЕНКО ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА
ІМ. І.М.ФРАНЦЕВИЧА НАН УКРАЇНИ

(56) SU 1770889 A1; 23.10.1992

UA 82678 C2; 15.12.2006

SU 1552091 A1; 23.03.1990

SU 1234753 A1; 30.05.1986

SU 1415168 A1; 07.08.1988

SU 819709; 07.04.1981

JP 2001165834 A; 22.06.2001

US 6330827 B1; 18.12.2001

Францевич І.Н., Воронов Ф.Ф., Бакута С.А. Упругие постоянные и модули упругости металлов и неметаллов. - К.: Наукова думка, 1982. - С. 37

(57) 1. Спосіб визначення модуля пружності матеріалів, який полягає в тому, що в стрижневому зразку із досліджуваного матеріалу збуджують резонансні механічні коливання, вимірюють частоту однієї з форм власних коливань і визначають модуль пружності, який **відрізняється** тим, що вимірюють резонансну частоту при не менше ніж двох амплітудах коливань зразка, після чого отриману лінійну залежність резонансної частоти від амплітуди екстраполюють на нульову амплітуду коливань, а величину модуля пружності матеріалу обчислюють за визначеними значеннями резонансної частоти при нульовій амплітуді коливань.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що відношення сигнал-шум для найменшої амплітуди коливань, при якій проводиться вимірювання резонансної частоти, перевищує 3, а величина амплітуди коливань при наступних вимірюваннях перевищує найменшу амплітуду не менше ніж вдвічі.

Винахід стосується визначення фізичних властивостей матеріалів, в тому числі пористих та композитних, що вироблені за порошковими технологіями, а саме до способів визначення властивостей пружності матеріалу за параметрами механічних коливань. Він може бути використаний в галузі матеріалознавства для визначення модуля пружності структурно-неоднорідних матеріалів для подальших розрахунків елементів конструкцій на міцність, жорсткість, коливання та ін.

В матеріалознавстві та фізиці твердого тіла застосовують способи, що дозволяють визначати характеристики пружності за частотою різних мод їх резонансних коливань.

Найбільш близьким за технічною суттю до рішення, цю заявляється є відомий спосіб визначення модуля Юнга за резонансною частотою відповідної моди коливань [Францевич І.Н., Воронов Ф.Ф., Бакута С.Л. Упругие постоянные и модули упругости металлов и неметаллов. Киев: Наук. думка, 1982.- с.37.]. Спосіб полягає у вимірі геометричних розмірів стрижневих зразків, довжина яких на порядок перевищує поперечні розміри, визначення густини матеріалу і вимірі резонансної

частоти коливань. Для цього в зразку збуджують коливання відповідного гину (поздовжні або поперечні) малої амплітуди, змінюючи частоту збудження зразка у наперед визначеному діапазоні. Коли частота збудження збігається з однією з власних частот коливань зразка, амплітуда коливань зразка стрімко зростає, а відповідна частота резонується за допомогою вимірювача частоти й. За цими даними обчислюють модуль пружності, використовуючи формули теорії пружності. Наприклад, для поздовжніх резонансних коливань стержневого зразка модуль Юнга визначають за формулою:

$$E = 4 \cdot \rho \cdot l^2 \cdot f^2, \quad (1)$$

де f - частота першої форми резонансних поздовжніх коливань, l - довжина зразка, а ρ - густина матеріалу зразка.

Для поперечних коливань консольне закріпленого стрижневого зразка модуль Юнга визначають за формулою

$$E = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot f_b^2 \cdot \rho \cdot l_c^2 \cdot F}{k^4 \cdot l}, \quad (2)$$

де f_b - частота власних поперечних коливань, k - хвильове число, що береться з таблиць, ρ - гус-

(13) C2

(11) 90728

(19) UA

тина матеріалу, l_c - довжина консольної частини зразка, F та I - відповідно площа та момент інерції поперечного перерізу зразка.

Проте, при визначенні відомим способом модуля Юнга структурно-неоднорідних матеріалів та матеріалів, що містять дефекти (включно з композитними і порошковими матеріалами, бетонами, гірськими породами та ін.) можливі грубі помилки, які виникають внаслідок високої дисипації енергії в матеріалах. В цих випадках при малих амплітудах збудження зразка резонансну частоту зареєструвати неможливо, тому що зростання амплітуди коливань або не настає внаслідок згасання коливань, або це зростання неможливо виокремити з акустичного шуму, що виникає через взаємодію акустичної хвилі з дефектами структури матеріалу (порами, вільними поверхнями тощо). Для того, щоб напевно визначити частоти власних коливань, необхідно збільшувати амплітуду збудження зразка. Однак, в цьому випадку зменшується точність визначення відповідної резонансної частоти. Причина зменшення точності полягає в тому, що структурно-неоднорідні матеріали, включаючи порошкові матеріали, мають суттєво нелінійний відгук на механічну дію, котрий, зокрема, проявляється в амплітудній залежності резонансної частоти коливань зразків або виробів. При збільшенні амплітуди коливань зразка і, відповідно, амплітуди максимальних циклічних деформацій, що виникають в матеріалі при коливаннях, резонансна частота коливань зразка зменшується, що призводить до одержання занижених значень модулів пружності. Відомо, що при коливанні зразків структурно-однорідних матеріалів резонансна частота коливань також дещо зменшується, проте резонансна частота зразків структурно-неоднорідних матеріалів, що містять дефекти, зокрема порошкових та композитних, а також гірських порід, при однакових амплітудах деформацій змінюється на істотно більшу величину. Додатковим джерелом похибок при вимірюванні частоти резонансу зразків структурно-неоднорідних матеріалів є той факт, що резонансна крива внаслідок великого розсіювання енергії не є «гострою», тобто не можна точно визначити частоту, що відповідає максимальній амплітуді коливань зразка, особливо при малих амплітудах коливань.

В основу винаходу "Спосіб визначення модуля пружності матеріалів" покладена задача створити такий спосіб визначення характеристик пружності матеріалів, зокрема пористих порошкових та композитних матеріалів, який би дозволив підвищити точність визначення пружності структурно-неоднорідних матеріалів, що містять дефекти.

Для вирішення задачі підвищення точності вимірів використовується той факт, що зменшення резонансної частоти структурно-неоднорідних матеріалів є лінійною функцією амплітуди коливань, а відповідно і амплітуди максимальних циклічних деформацій зразка незалежно від властивостей бездефектного матеріалу [Ostrovsky L.A., Johnson

P.A. // Rivista del Nuovo Cimento. - 2001. - V.24. - N7. - P.9].

Поставлене завдання вирішується тим, що з метою підвищення точності, вимірюють резонансну частоту однієї з форм власних коливань стрижневого зразка при не менше ніж двох амплітудах коливань зразка, при яких можливо впевнено визначити резонанс, після чого отриману лінійну залежність резонансної частоти від амплітуди екстраполюють на нульову амплітуду коливань, а величину модуля пружності матеріалу обчислюють за визначеними значеннями резонансної частоти при нульовій амплітуді коливань. Крім того, відношення сигнал-шум для найменшої амплітуди коливань, при якій проводиться вимірювання резонансної частоти, перевищує 3, а величина амплітуди коливань при наступних вимірюваннях перевищує найменшу амплітуду не менше ніж вдвічі.

Запропонований спосіб контролю дефектності матеріалу реалізується наступним чином:

- в зразку з досліджуваного матеріалу збуджують коливання при такому рівні збудження, при якому можна впевнено зареєструвати резонанс на певній моді коливань, вимірюють частоту резонансу певної моди коливань при цьому рівні сигналу збудження,

- одночасно вимірюють амплітуду коливань зразка на цій резонансній частоті при даному рівні сигналу збудження,

- збільшують амплітуду сигналу збудження зразка декілька раз і вимірюють резонансні частоти і амплітуди тієї ж моди коливань зразка при цих амплітудах збудження,

- за результатами вимірів визначають вигляд функціональної залежності резонансної частоти від амплітуди коливань зразка,

- екстраполюючи одержану функцію, обчислюють значення резонансної частоти при нульовій амплітуді коливань зразка,

- за обчисленим значенням резонансної частоти за відповідними формулами теорії пружності визначають величину модуля пружності матеріалу.

Перший приклад реалізації запропонованого способу. Виміри проводили на стрижневих зразках конструкційного порошкового заліза 11Ж3М2 різної пористості, спечених при різних температурах, розмірами 40×10×5мм. Поперечні резонансні коливання по першій моді збуджували в консольне закріпленому зразку за допомогою вібраційною електродинамічного стенду ВЭДС-200. Амплітуду коливань зразка регулювали зміною сигналу збудження, що подавався на вібратор. Частоту резонансних коливань при різних сигналах збудження вимірювали за допомогою вимірювача частоти, а амплітуду - за допомогою мікроскопу.

Модуль Юнга досліджуваного матеріалу обчислювали за формулою (2). Значення модуля Юнга відомим способом розраховували за резонансною частотою, виміряною при найменшій амплітуді збудження коливань зразка. Результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Зразок ПЖЗМ2	Модуль Юнга Е, ГПа		Похибка, %
	Спосіб, що пропонується	Відомий спосіб	
1	85,2	82,7	2,9
2	73,8	72,8	1,4
3	66,0	64,5	2,3

Другий приклад реалізації запропонованого способу. Виміри проводили при поздовжніх коливаннях стрижневих зразків пористого оксиду цинку. Зразок закріплювали між п'єзоелектричними перетворювачами, один з яких збуджував коливання в зразках, а за допомогою іншого фіксували момент настання резонансу і вимірювали амплітуду коливань зразка. Результати визначення модуля Юнга за формулою (1) наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Зразок оксиду цинку	Модуль Юнга Е, ГПа		Похибка, %
	Спосіб, що пропонується	Відомий спосіб	
1	79,15	78,49	0,8

З наведених даних видно, що значення модуля Юнга пористого порошкового заліза та пористого оксиду цинку, визначені способом, що пропонується, більші за значення, визначені вимірюванням лише однієї частоти коливань як при поздовжніх так і при поперечних коливаннях стрижневого зразка, причому при поздовжніх коливаннях ця різниця менше, оскільки вимірювання проводять при менших амплітудах деформації.

Спосіб може бути застосовано в порошковій металургії, машинобудуванні для визначення характеристик пружності матеріалу, що використовуються при розрахунках деталей машин та елементів конструкцій на міцність, жорсткість, стійкість, коливання, або, - в лабораторних умовах, - зразків.