



УКРАЇНА

(19) UA (11) 93248 (13) C2  
(51) МПК (2011.01)  
G01N 3/00  
G01N 3/40

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

### (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПУАССОНА

1

(21) a200814568

(22) 17.12.2008

(24) 25.01.2011

(46) 25.01.2011, Бюл.№ 2, 2011 р.

(72) БЯКОВА ОЛЕКСАНДРА ВІКТОРІВНА, МІЛЬ-  
МАН ЮЛІЙ ВІКТОРОВИЧ, ВЛАСОВ АНДРІЙ ОЛЕ-  
КСІЙОВИЧ, ДУДНИК ОЛЕКСІЙ ОЛЕГОВИЧ, ЮР-  
КОВА ОЛЕКСАНДРА ІВАНІВНА(73) ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА  
ІМ. І.М. ФРАНЦЕВИЧА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ  
НАУК УКРАЇНИ

(56) SU 1176209 A, 30.08.1985

UA 61457 A, 15.11.2003

RU 2296972 C1, 10.04.2007

RU 2141638 C1, 20.11.1999

US 2005103120 A1, 19.05.2005

TW 524976, 21.03.2003

US 2001049967 A1, 13/12/2001

Кузьменко В.А. Звуковые и ультразвуковые коле-  
бания при динамических испытаниях материалов  
К.: Изд-во АН УССР, 1963. - С.39-40

2

(57) Спосіб визначення коефіцієнта Пуассона  $\mu$ , який включає визначення модуля Юнга  $E$ , який **відрізняється** тим, що випробуваний матеріал піддають ідентуванню твердим індентором у вигляді правильної піраміди при безперервному вдавленні з побудовою діаграми "навантаження - переміщення індентора", по якій визначають характеристику пластичності  $\delta_A$ , як відношення площі між гілками навантаження - розвантаження до загальної площі під кривою навантаження, визначають твердість по Мейєру  $HM$ , як відношення навантаження до площі проекції відбитка індентора на контактній поверхні, а величину коефіцієнта Пуассона  $\mu$  розраховують по формулі:

$$\mu = 0,25 \left( \sqrt{9,0 - 8,0E(1 - \delta_A) \frac{\ell n(\sin \gamma)}{HM}} - 1 \right),$$

де

 $\gamma$  - кут між віссю й бічною гранню піраміди.

Винахід, що заявляється, стосується області механічних випробувань матеріалів і може бути використаний для визначення коефіцієнта поперечної деформації (коефіцієнта Пуассона  $\mu$ ) як масивних матеріалів, так й окремих фаз, структурних складових і покриттів.

Відомий спосіб визначення коефіцієнта Пуассона  $\mu$ , що полягає у виготовленні з випробуваного матеріалу деталі зразка для випробувань на розтягання (стиск) і наступного його випробування. У цьому випадку коефіцієнт Пуассона  $\mu$  розраховують, як відношення відносного поперечного звуження (розширення) до відносного подовження (подовження (стиску) за ГОСТ 1497-84 "Методы испытаний на растяжение".

Зазначений спосіб має такі недоліки:

- високу трудомісткість через необхідність виготовлення й наступного випробування зразка, установленної форми;

- неможливість використати спосіб при стовідсотковому контролі деталей;

- неможливість використати спосіб для деталей малих розмірів;

- неможливість визначати коефіцієнт Пуассона  $\mu$  окремих фаз, структурних складових і покриттів;

- низьку точність при випробуванні малопластичних матеріалів.

Найбільш близьким по технічній суті є спосіб визначення коефіцієнта Пуассона  $\mu$  з використанням динамічних методів випробування (см. Кузьменко В.А. Звуковые и ультразвуковые колебания при динамических испытаниях материалов К.: Изд-во АН УССР. - 1963. - с.39-40) по формулі:

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

де  $E$  - модуль Юнга (модуль пружності першого роду, або модуль нормальної пружності, або модуль пружності при розтяганні);

$G$  - модуль зсуву (модуль пружності другого роду).

Недоліками способу є:

- необхідність попереднього визначення як модуля пружності  $E$ , так і модуля зсуву  $G$ ;

(13) C2

(11) 93248

(19) UA

- неможливість визначення коефіцієнта Пуассона  $\mu$  окремих фаз, структурних складових і покриттів.

Суть винаходу полягає в тому, що у знаному способі, за яким визначають модуль Юнга  $E$ , з урахуванням якого розраховують коефіцієнт Пуассона, згідно винаходу випробуваний матеріал піддають ідентуванню твердим індентором у вигляді правильної піраміди при безперервному вдавненні з побудовою діаграми "навантаження - переміщення індентора", по якій визначають характеристику пластичності  $\delta_A$ , як відношення площі між гілками навантаження - розвантаження до загальної площі під кривою навантаження, визначають твердість по Мейеру  $HM$ , як відношення навантаження до площі проекції відбитка індентора на контактній поверхні, а величину коефіцієнта Пуассона  $\mu$  розраховують по формулі:

$$\mu = 0,25 \left( \sqrt{9,0 + 8,0E(1 - \delta_A) \frac{\ell n(\sin \gamma)}{HM}} - 1 \right), \quad (2)$$

де  $\gamma$  - кут між віссю й бічною гранню піраміди.

При розробці цієї формули виходили з рівності характеристики пластичності  $\delta_A$  визначеної по діаграмі "навантаження - переміщення індентора" (Fig.) і характеристики пластичності  $\delta_H$  ( $\delta_A = \delta_H$ ), визначеної при статичних випробуваннях на мікротвердість (Yu.V. Milman, S. Dub, A. Golubenko Plasticity characteristics obtained through instrumental indentation, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol.1049, 2008).

При цьому:

$$\delta_H = 1 - (1 - \mu - 2\mu^2) \frac{HM}{E \ell n(\sin \gamma)}, \quad (3)$$

(Yu.V. Milman, B.A. Galanov, S.I. Chugunova. Plasticity characteristic obtained through hardness measurement, Acta metall. mater., v.41. No.9, 1993, p.2523-2532).

Відмітними ознаками винаходу є те, що вперше для визначення коефіцієнта Пуассона запропоновано використати метод ідентування твердими інденторами у вигляді правильної піраміди, що дозволяє визначати коефіцієнт Пуассона окремих фаз, структурних складових і покриттів.

Спосіб, який заявляється, реалізують таким чином. Попередньо, будь-яким відомим незалежним способом знаходять модуль Юнга  $E$  випробуваного матеріалу. Потім у цьому матеріалі проводять безперервне вдавнювання твердого індентора у вигляді правильної піраміди з побудовою діаграми в координатах "навантаження - переміщення індентора" (Fig.). По діаграмі відповідно до ISO 14577 й Yu.V. Milman Plasticity characteristic obtained by indentation, J. Phys. D: Appl. Phys. 41 (2008) визначають величину харак-

теристики пластичності  $\delta_A$ , як відношення площі між гілками навантаження - розвантаження  $A_p$  до загальної площі під кривою навантаження ( $A = A_p + A_e$ ) по формулі:

$$\delta_A = \frac{A_p}{A} = \frac{A_p}{A_p + A_e}, \quad (4)$$

де  $A_p$  - площа між гілками навантаження - розвантаження, що характеризує роботу, яка затрачена на пластичну деформацію;

$A_e$  - площа під гілками розвантаження, що характеризує роботу, яка затрачена на пружну деформацію.

Після цього визначають площу проекції відбитка індентора на контактній поверхні, а твердість по Мейеру  $HM$  розраховують по формулі:

$$HM = \frac{P}{S}, \quad (5)$$

де  $P$  - зусилля вдавнення в Н;

$S$  - площа проекції відбитка на контактну поверхню.

Для точного й експресного визначення площі під гілками навантаження - розвантаження використовують стандартні комп'ютерні програми.

Потім визначають коефіцієнт Пуассона  $\mu$  по формулі (2).

Приклад

Визначення коефіцієнта Пуассона  $\mu$  проводили на карбідних покриттях Nb й Ti, на гальванічному хромовому покритті, отриманому електролітичним шляхом, а також на полікристалічних зразках титану й алюмінію й на монокристалі кремнію. Карбідні покриття наносили на зразки, які були виготовлені зі сталі У8А, по способу, описаному в А.С. СРСР №711782, Б.И. 1980, №3 (Способ получения карбидных покрытий на поверхности металлов и сплавов / Лоскутов В.Ф., Хижняк В.Г., Бякова А.В.) Хромове покриття наносили електролітичним методом за стандартною технологією на високоміцний чавун.

Модуль пружності  $E$  хрому, титану, алюмінію, кремнію, а також карбідів титану й ніобію визначали на масивних зразках динамічним методом по власній частоті коливаль (И.Н. Францевич, О.А. Чехова Сб. Вопросы порошковой металлургии и прочности материалов. Изд. АН УССР, 6, 36, 1958). Характеристику пластичності  $\delta_A$  визначали по ISO 14577 при безперервному вдавненні стандартного алмазного індентора Берковича з використанням приладу "Nano Indenter II" і побудовою діаграми в координатах "навантаження - переміщення індентора" по формулі (4). Розрахунок твердості по Мейеру  $HM$  проводили по формулі (5).

Таблиця

Випробуваний матеріал	Пропонований спосіб				Довідкові дані $\mu_s$	Погрішність $\frac{\mu - \mu_s}{\mu} \cdot 100, \%$
	E, ГПа	$\delta_A$	НМ, ГПа	$\mu$		
Покриття NbC	420	0,52	28,40	0,213	0,220	3,2
Покриття TiC	452	0,37	35,7	0,164	0,170	3,5
Покриття Cr	202	0,69	11,7	0,298	0,310	3,9
Полікристал Ti	120	0,89	2,85	0,329	0,360	8,6
Полікристал Al	70	0,96	0,66	0,345	0,356	3,1
Монокристал Si	169	0,50	11,9	0,213	0,223	4,5

У цій же таблиці для порівняння наведені значення коефіцієнта Пуассона  $\mu_s$ , які були узяті з довідкової літератури для покриттів NbC, TiC і Cr (И.Н. Францевич, Ф.Ф. Воронов, С.А. Бакута Упругие постоянные и модули упругости металлов и неметаллов. Киев: Наукова думка, 1982. - 286 с.), а також для полікристалів Ti, Al і монокристалу Si, які були розраховані за прототипом.

Як видно з таблиці, погрішність при визначенні коефіцієнта Пуассона  $\mu$  становить не більш як 9 %.

Таким чином, пропонуване рішення дозволяє розширити області використання способу за рахунок можливості проведення випробування малих

по розміру об'єктів, наприклад, покриттів, окремих фаз і структурних складових, знизити трудомісткість за рахунок виключення необхідності визначення модуля зрушення G, підвищити точність при випробуванні мало пластичних матеріалів.

Результати експериментальної перевірки свідчать про придатність способу для практичного використання в дослідницьких цілях для оцінки механічних властивостей виробів, а також у промисловому виробництві, зокрема в машинобудуванні і металургії.

