



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **104570** (13) **U**
(51) МПК (2016.01)
G01L 1/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2015 06997	(72) Винахідник(и): Каплун Павло Віталійович (UA), Гончар Володимирович Антонович (UA), Паршенко Анатолій Васильович (UA)
(22) Дата подання заявки: 14.07.2015	(73) Власник(и): ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.02.2016	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.02.2016, Бюл.№ 3	

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ДИФУЗІЙНОГО ПОКРИТТЯ

(57) Реферат:

Спосіб визначення модуля пружності дифузійного покриття включає визначення параметрів відхилення зразків з покриттям і без покриття від початкового положення та його вираховання. Консольно защемлений зразок з покриттям на верхній площині та ідентичний зразок без покриття навантажують однаковим вантажем величиною P , вимірюють відхилення кожного зразка від початкового положення. Записавши формули прогину консольної балки від сили P для кожного із зразків з їх відношення та відношення прогинів, знаходимо приріст модуля пружності в дифузійному покритті, який змінюється по глибині за експоненціальним законом. Величину модуля пружності в будь-якій точці поперечного перерізу покриття визначають за формулою, що являє собою суму модуля пружності вихідного матеріалу і його приросту в дифузійному покритті.

UA 104570 U

Корисна модель належить до вимірювальної техніки для визначення модуля пружності матеріалу дифузійних покриттів на виробі.

Відомий спосіб визначення модуля пружності матеріалу покриттів на виробі [1], який полягає в тому, що в поверхню з покриттям з певною товщиною вдавлюють сферичний індентор з відомими пружними характеристиками і радіусом, записують діаграму зміни навантаження від глибини вдавлювання і для ділянки діаграми, що відповідає пружній деформації матеріалу покриття, розраховують модуль пружності матеріалу покриття $E_{\text{пок}}$ з аналітичного співвідношення, що зв'язує узагальнений приведенний модуль пружності зразка з покриттям E^{**} з товщиною покриття, геометрії контакту, пружними властивостями матеріалу основи і покриття, а також емпіричним параметром α .

Недоліком цього способу є низька точність визначення величини модуля пружності матеріалу тонкого покриття, пов'язані з труднощами точного визначення області діаграми навантаження - вдавлювання, що відповідає пружній деформації тільки матеріалу покриття, а також низькою точністю визначення функції α , що враховує відмінність характеру розподілу тиску від Герцівського зі зміною відносної товщини покриття.

Відомий спосіб визначення модуля пружності матеріалу покриття на виробі, що включає вимірювання товщини покриття, міцності і модуля пружності матеріалу основи виробу, встановлення виробу в мікротвердомір, за допомогою якого вдавлюють алмазний пірамідальний індентор Віккерса у виріб, на глибину, що перевищує товщину покриття, записує діаграму зміни величини навантаження з зміною глибини вдавлювання індентора [2, 3].

Недоліком цього способу є складність визначення величини модуля пружності матеріалу тонкого покриття, пов'язана з емпіричним характером визначення вагової функції.

Найбільш близьким аналогом є спосіб визначення модуля пружності лакофарбової плівки адгезійного покриття [4] на металевій або іншій тонкій пружній, не більше 0,8 мм, пластинці постійної і відомої товщини і ширини полягає в тому, що спочатку пластинку, що горизонтально лежить на двох нерухомій і шарнірно рухомій опорах, навантажують по середині її прольоту і вимірюють її максимальний прогин, потім пластинку покривають з обох сторін шаром лакофарбового матеріалу однакової товщини, висушують покриття, вимірюють його товщину і знову навантажують пластинку по середині прольоту тим же вантажем і вимірюють прогин, після чого по різниці першого і другого прогинів розрахунковим шляхом за формулою визначають модуль пружності досліджуваної плівки.

Недоліком даного способу є те, що він належить тільки до способів визначення модуля пружності лакофарбових плівок, і його достовірно можна застосовувати тільки при нанесенні плівки на металеві пластинки товщиною до 0,8 мм.

В основу корисної моделі поставлена задача визначення модуля пружності дифузійного покриття. Поставлена задача вирішується тим, що в відомому способі визначення модуля пружності лакофарбових плівок, який включає визначення різниці параметра відхилення (прогину) від вихідного положення ідентичних плоских пластинок з покриттям та без покриття, що лежать на двох опорах, кожна з них по середині навантажуються однаковою силою і за розрахунковою формулою визначається модуль пружності.

Згідно з корисною моделлю, консольно защемлену пластину з дифузійним покриттям та ідентичний зразок без покриття навантажують однаковою силою P , що створює в зразках на віддалі L різні за величиною відхилення (прогини) зразків, вимірюють відхилення кожного зразка від початкового положення Y_2 азотованого і Y_1 не азотованого зразків, записавши формули прогину консольної балки від сили P : $Y_1 = PL^3 / 3E_1J_z$, $Y_2 = PL^3 / 3(E_1J_z + \Delta E_2J_n)$ і з відношення прогинів Y_1 / Y_2 знаходять:

$$\Delta E_2 = E_1 J_z (Y_1 - Y_2) / J_n Y_2, \quad (1)$$

де - E_1 модуль пружності матеріалу без дифузійного покриття; J_z - момент інерції поперечного січення пластинки; ΔE_2 - середнє значення приросту модуля пружності матеріалу від нанесення дифузійного покриття; J_n - момент інерції поперечного січення дифузійного покриття.

Модуль пружності дифузійного покриття змінюється по глибині за експоненціальним законом і його можна визначити в будь-якій точці поперечного січення покриття за формулою (2):

$$E_i = E_1 + \Delta E_2 \cdot e^{-\kappa(z-0,5h)/(h-z)}, \quad (2)$$

де κ - коефіцієнт, що залежить від температури нанесення дифузійного покриття; Z - віддаль від поверхні покриття до заданої точки i ; h - товщина покриття.

Приклад застосування

На пластину із сталі 45 шириною $b = 12$ мм і товщиною $h_1 = 3$ мм з одного боку наносилось дифузійне покриття методом іонного азотування за режимом (температура дифузійного насичення $T = 843^\circ\text{K}$, час насичення $\tau = 4$ год., тиск в вакуумній камері $p = 240$ Па, середовище 75об. % $\text{N}_2 + 25$ об. % Ar) і одержано азотований шар товщиною $h = 0,3$ мм. Зразок консольно закріплювався до верху покриттям, протилежний кінець зразка на віддалі $L = 140$ мм навантажувався силою $P = 25$ Н і з допомогою лазерного датчика з великою точністю замірювалась стріла прогину кінця пластини $\gamma_2 = 2,656$ мм. Аналогічно вимірювали стрілу прогину $\gamma_1 = 2,874$ мм для зразка без покриття. Після вирахування $J_z = 27$ мм⁴ і $J_n = 6,5$ мм⁴ за формулою (1) знаходилось середнє значення приросту модуля пружності дифузійного покриття $\Delta E_2 = 0,34E_1$. За формулою (2) знаходимо модуль пружності в будь-якій точці поперечного перерізу покриття, наприклад, на поверхні покриття $Z = 0$ і $E = E_1 + \Delta E_2 e^{0,5K}$. При іонному азотуванні коефіцієнт $K = 950/T$, де T - температура азотування. Тоді $E = 1,57E_1 = 1,57 \times 2,1 \cdot 10^5$ МПа $= 3,3 \cdot 10^5$ МПа. На віддалі $Z = h/2$ від поверхні $E = 1,34E_1 = 2,8 \cdot 10^5$ МПа.

Джерела інформації:

1. Спосіб визначення модуля пружності матеріалу покриття на виробі (RU 2489701).
2. J. Mencik D. Munz E. Quant E.R. Weppelmann and M.V. Swain. Determination of elastic modul softin layer susing nanoindantation. J. Mater. Res., Vol. 12, No. 9, 1997, pp.2475-2484.
3. (Інститут прикладних проблем механіки і математики АН УРСР (72) М.Л. Козлов. (53) 531.781.2(088.8) (56) Авторське свідоцтво СРСР112 1133476, кл. G 01 B 5/30, 1983. (54) Спосіб визначення модуля пружності покриття).
4. Спосіб визначення модуля пружності лакофарбової плівки покриття (RU 2212646).

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб визначення модуля пружності дифузійного покриття включає визначення параметрів відхилення зразків з покриттям і без покриття від початкового положення та його вирахування, який **відрізняється** тим, що консольно зацемлений зразок з покриттям на верхній площині та ідентичний зразок без покриття навантажують однаковим вантажем величиною P , вимірюють відхилення кожного зразка від початкового положення, записують формули прогину консольної балки від сили P для кожного із зразків і з їх відношення та відношення прогинів знаходять приріст модуля пружності в дифузійному покритті, який змінюється по глибині за експоненціальним законом, а величину модуля пружності в будь-якій точці поперечного перерізу покриття визначають за формулою: $E_i = E_1 + \Delta E_2 \cdot e^{-K(Z-0,5h)/(h-z)}$, де E_1 - модуль пружності матеріалу без дифузійного покриття, ΔE_2 - середнє значення приросту модуля пружності матеріалу від нанесення дифузійного покриття (1), K - коефіцієнт, що залежить від температури нанесення дифузійного покриття; Z - відстань від поверхні покриття до заданої точка i ; h - товщина покриття.