

УДК 621.793.7

Калюжний С.М., мол. наук. співробітник
 Молтасов А.В., канд. техн. наук, стар. наук. співробітник
 Димань М.М., канд. техн. наук

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ, serg3319@ukr.net

ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ МІКРОПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ ЗІ СПЛАВІВ ВТ1-00 ТА КТЦ-110 ВІД ЇХ ПОРИСТОСТІ

Більшість фізичних, механічних та експлуатаційних властивостей покриттів залежать від однієї з їхніх найважливіших характеристик – пористості. Відомо, що відмінна пористість більш за все відображається на величині модуля пружності. Досвід показує, що для матеріалів з різним характером взаємозв'язку елементарних твердих об'ємів функціональні залежності характеристик пружності та міцності від пористості істотно різняться, а універсальні рівняння, що описують ці властивості для тіл з довільною структурою отримати неможливо [1]. Тому для кожного окремого покриття, виготовленого з конкретного матеріалу за тією чи іншою технологією, модуль пружності необхідно визначати експериментально.

Оскільки сплави на основі титану та цирконію знайшли широке застосування в травматології та ортопедії [2], мета дослідження полягає у встановленні функціонального зв'язку між модулем пружності покриттів з титанового сплаву ВТ1-00 та цирконієвого сплаву КТЦ-110, нанесених мікроплазмовим методом, та їх пористістю.

При визначенні пружних характеристик плазмових покриттів звичайними методами виникають деякі ускладнення, так як більшість з цих матеріалів руйнуються при дуже незначних деформаціях [3]. Серед експериментальних методів визначення пружних характеристик крихких та малопластичних матеріалів найбільш репрезентативним є випробування на згинання [4].

Існуюча на сьогоднішній день методика розрахунку фізико-механічних властивостей покриттів на основі результатів випробувань на згинання напилених зразків разом з підкладкою [5] не дозволяє визначити модуль пружності покриття при згинанні у явній формі. Тому авторами цієї роботи отримана нова формула визначення для цієї величини:

$$E_c = \frac{1}{h_c^3} \left[\frac{6B_x}{b} - E_b \cdot h_b (2h_b^2 + 3h_b \cdot h_c + 2h_c^2) \right] + \frac{1}{h_c^2} \sqrt{\left(E_b \cdot h_b (2h_b^2 + 3h_b \cdot h_c + 2h_c^2) - \frac{6B_x}{b} \right)^2 - E_b^2 \cdot h_b^4 \cdot h_c^2 + 12 \frac{B_x}{b} E_b \cdot h_b \cdot h_c^2}, \quad (1)$$

де b – ширина зразка; E_b – модуль пружності підкладки; h_b – висота підкладки; h_c – висота покриття; u_b та u_c – відстані від центрів ваги перерізів підкладки та покриття, відповідно, до зведеного центру ваги перерізу зразка (рис. 1); B_x – жорсткість перерізу зразка з покриттям, яка при трьохточковому згинанні визначається за формулою:

$$B_x = \frac{l^3 (P_2 - P_1)}{48(f_2 - f_1)} \quad (2)$$

де l – відстань між опорами (рис. 2);

P_1 та P_2 – значення навантаження у двох точках діапазону пропорційності кривої згину;

f_1 та f_2 – прогини, що відповідають навантаженням P_1 та P_2 .

Експериментальні дослідження проводили на універсальній механічній розривній машині 2054 Р-5 з модернізованими засобами фіксації зусиль та деформацій, пристосованими для вимірювання малих пружних деформацій.

При виготовленні зразків в якості підкладки використовувалися прямокутні паралелепіпеди довжиною $L \approx 50$ мм, шириною $b = 10,03..10,14$ мм та товщиною $h_b =$

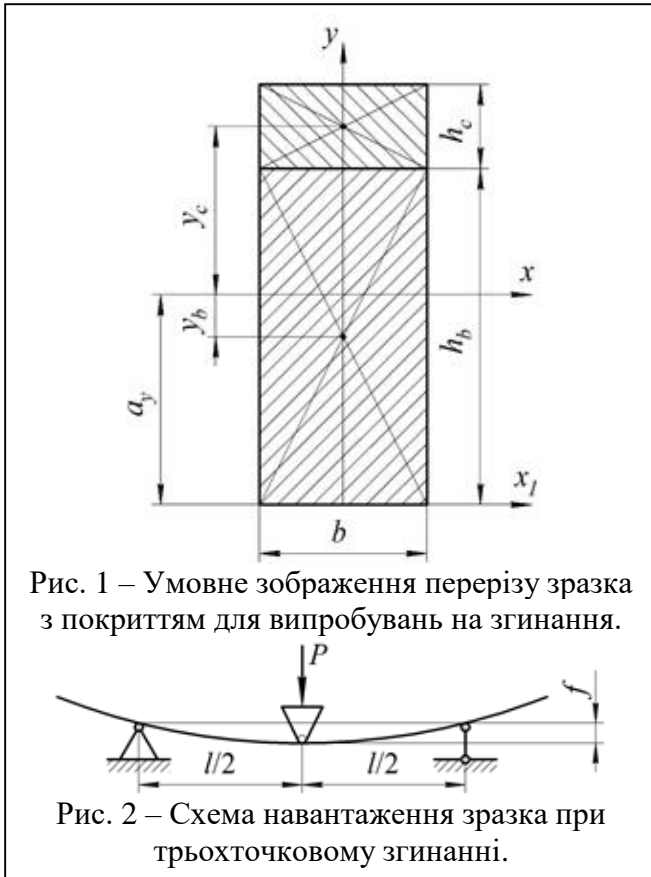


Рис. 1 – Умовне зображення перерізу зразка з покриттям для випробувань на згинання.

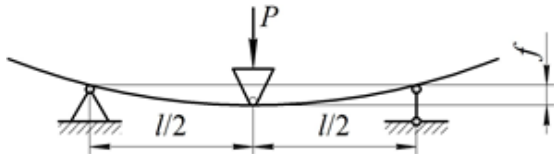


Рис. 2 – Схема навантаження зразка при трьохточковому згинанні.

1,92..2,00 мм з титанового сплаву ВТ6, на яку шляхом розпилення дротів діаметром 0,3 мм за допомогою установки мікроплазмового напилення МПН-004 [6] були нанесені покриття товщиною $h_c = 0,32..0,40$ мм зі сплавів марки ВТ1-00 та КТЦ-110 із різним ступенем пористості. Покриття зі сплаву ВТ1-00 мали пористість 6,5 %, 13,7 % та 25 %, а зі сплаву КТЦ-110 – 2,8 %, 8,7 % та 20,3 %.

При визначенні модулів пружності покриттів з кожного з досліджуваних сплавів для кожного з трьох ступенів пористості випробуванням підлягала серія з шести зразків з покриттями таким чином, щоб у трьох зразках шар покриття знаходився у зоні розтягу, а у трьох інших зразках – у зоні стиску.

Функціональний зв'язок між пористістю та модулем пружності встановлювали шляхом побудови кривих лінійної регресії методом найменших квадратів.

В результаті були отримані емпіричні формули, які встановлюють зв'язок між

модулем пружності покриття та долею пористості у вигляді:

$$E_c = a - b \cdot \Pi, \quad (3)$$

де Π – доля пористості;

a та b – коефіцієнти регресії (для сплаву ВТ1-00 в зоні розтягу $a = 22460$, $b = 397$; для сплаву ВТ1-00 в зоні стиску $a = 57680$, $b = 1530$; для сплаву КТЦ-110 в зоні розтягу $a = 14390$, $b = 396$; для сплаву КТЦ-110 в зоні стиску $a = 37730$, $b = 1284$)

Список посилань

1. Kats S.M. Elastic modulus of materials with a cellular-porous structure [Text] / S.M. Kats // Strength of Materials. – 1972. – №3 (4). – P. 291–296.
2. Eliaz N. Corrosion of Metallic Biomaterials: A Review [Text] / N. Eliaz // Materials. – 2019. – №3 (12). – Article number 407.
3. Барвинок В.А. Управление напряжённым состоянием и свойства плазменных покрытий / В.А. Барвинок. – Москва: Машиностроение, 1990. – 384 с.
4. Kudinov V.V. Strength characteristics of plasma-sprayed coatings from mixed nickel-aluminum powders [Text] / V.V. Kudinov, F.I. Kitaev, A.G. Tsidulko // Soviet Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 1975. – №8 (14). – P. 637–642.
5. Зеленина Е.А. Метод расчёта физико-механических характеристик плазменного покрытия на подложке при испытании образцов на изгиб / Е.А. Зеленина, С.В. Лоскутов, А.В. Ершов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2016. – № 2. – С. 107–110.
6. Voinarovych S. Innovative coatings for implants and parts for osteosynthesis [Text] / S. Voinarovych, O. Kislitsa, Ie. Kuzmych-Ianchuk, O. Masiuchok, S. Kaliuzhnyi, D. Teodossiev, V. Petkov, R. Valov, Al. Alexiev, V. Dyakova // Series on Biomechanics. – 2017. – №4 (31). – P. 27–33.