

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 142232

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОГО МОДУЛЯ
ПРУЖНОСТІ ПОКРИТТІВ, ЩО ПРИПРАЦЬОВУЮТЬСЯ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **25.05.2020.**

Заступник Міністра розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України

Д.О. Романович



(21) Номер заявки: **u 2019 11081**
(22) Дата подання заявки: **11.11.2019**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.05.2020**
(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **25.05.2020, Бюл. № 10**

(72) Винахідники:
Грешта Віктор Леонідович, UA,
Павленко Дмитро Вікторович, UA,
Ткач Дар'я Володимирівна, UA

(73) Власник:
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА",
вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОГО МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ПОКРИТТІВ, ЩО ПРИПРАЦЬОВУЮТЬСЯ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб визначення динамічного модуля пружності покриттів, що припрацьовуються, який включає збудження коливань та визначення частоти власних коливань системи підкладка-покриття та визначення модуля пружності покриття, що досліджують, який **відрізняється** тим, що спочатку розраховують частоту власних коливань системи підкладка-покриття для різних значень модуля пружності покриття, встановлюють емпіричну залежність модуля пружності покриття від частоти власних коливань системи підкладка-покриття, після чого експериментально визначають власну частоту коливань системи підкладка-покриття та за встановленою емпіричною залежністю визначають значення динамічного модуля пружності покриття.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **142232** (13) **U**
(51) МПК
G01N 3/32 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2019 11081</p> <p>(22) Дата подання заявки: 11.11.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.05.2020</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.05.2020, Бюл.№ 10</p>	<p>(72) Винахідник(и): Грешта Віктор Леонідович (UA), Павленко Дмитро Вікторович (UA), Ткач Дар'я Володимирівна (UA)</p> <p>(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА", вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063 (UA)</p>
--	--

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОГО МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ПОКРИТТІВ, ЩО ПРИПРАЦЬОВУЮТЬСЯ

(57) Реферат:

Спосіб визначення динамічного модуля пружності покриттів, що припрацьовуються, включає збудження коливань та визначення частоти власних коливань системи підкладка-покриття та визначення модуля пружності покриття, що досліджують. Спочатку розраховують частоту власних коливань системи підкладка-покриття для різних значень модуля пружності покриття, встановлюють емпіричну залежність модуля пружності покриття від частоти власних коливань системи підкладка-покриття. Після цього експериментально визначають власну частоту коливань системи підкладка-покриття та за встановленою емпіричною залежністю визначають значення динамічного модуля пружності покриття.

UA 142232 U

Корисна модель належить до вимірювальної техніки, зокрема стосується способів визначення механічних характеристик покриттів.

Відомий спосіб визначення механічних характеристик матеріалів, який засновано на дослідженні реакції зразків на механічну дію [1]. Відповідно до нього, у зразку, що досліджують, збуджують пружні резонансні коливання та вимірюється їх частота. Знаючи геометричні розміри зразка та його густину і користуючись відомими формулами теорії коливань, визначають значення модуля пружності.

Недоліком відомого способу є те, що він не може забезпечити високої точності визначення динамічного модуля пружності покриттів, що припрацьовуються, оскільки вони є крихкими. Це обмежує можливість збудження в них пружних резонансних коливань з великою амплітудою без їх руйнування.

Відомий спосіб визначення динамічного модуля пружності покриттів: спосіб динамічного механічного аналізу системи підкладка-покриття [2]. Відповідно до нього, механічному навантаженню піддають металевий зразок, на який з обох сторін нанесено покриття. Визначають власну частоту коливань зразка та, користуючись відомими формулами теорії коливань, визначають значення його модуля пружності. При цьому наявність металевої підкладки значного підвищує пружність зразка та амплітуду коливань, якій він може бути підданий. Це підвищує точність визначення динамічного модуля пружності.

Недоліком відомого способу є те, що він дозволяє визначити динамічний модуль пружності системи підкладка-покриття, а не покриття окремо. Це унеможливує визначення модуля пружності покриттів, що припрацьовуються, які мають товщину, що є співрозмірною з товщиною зразка підкладки.

Найбільш близьким до способу визначення динамічного модуля пружності покриттів, що припрацьовуються, який вибраний за найближчий аналог, є спосіб визначення фізико-механічних властивостей матеріалу з покриттям [3]. Відповідно до нього, визначають густину матеріалу підкладки гідростатичним зважуванням, при цьому у зразку без покриття збуджують коливання і визначають модуль пружності, потім наносять досліджуваний шар матеріалу покриття заданої товщини, визначають густину системи підкладка-покриття гідростатичним зважуванням, збуджують коливання та визначають динамічний модуль пружності нанесеного шару покриття, що досліджують, за відповідною математичною залежністю.

Недоліком вказано способу є те, що для визначення модуля пружності покриття необхідно виконувати багаторазове визначення густини як матеріалу підкладки, так і матеріалу системи підкладка-покриття. Також, відповідно до нього, необхідно виконувати попереднє дослідження модуля пружності зразка без покриття.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення точності визначення динамічного модуля пружності покриттів, що припрацьовуються.

Технічний результат досягається за рахунок того, що власну частоту коливань покриття, що припрацьовується, визначають, збуджуючи в них пружні резонансні коливання з великою амплітудою. При цьому для виключення можливості руйнування покриття його наносять на металеву підкладку.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі визначення динамічного модуля пружності покриттів, що припрацьовуються, який включає збудження коливань та визначення частоти власних коливань системи підкладка-покриття та визначення модуля пружності покриття, що досліджують, згідно з корисною моделлю, спочатку, шляхом проведення модального аналізу методом скінчених елементів, розраховують частоту власних коливань системи підкладка-покриття для різних значень модуля пружності покриття, встановлюють емпіричну залежність модуля пружності покриття від частоти власних коливань системи підкладка-покриття, після чого експериментально визначають власну частоту коливань системи підкладка-покриття та за встановленою емпіричною залежністю визначають значення динамічного модуля пружності покриття. Це дозволяє визначити модуль пружності безпосередньо покриття, що досліджують.

На відміну від найближчого аналога, використання металевої підкладки дозволяє реалізовувати велику амплітуду коливань покриттів, що припрацьовуються, незважаючи на їх крихкість. Також відмінність від найближчого аналога полягає в тому, що визначення модуля пружності покриття виконують, вирішуючи послідовно пряму та обернену задачу коливань зразка.

Спосіб здійснюють наступним чином. На першому етапі методом скінчених елементів виконують модальний аналіз та визначають власні частоти коливань системи підкладка-покриття з урахуванням температури, механічних властивостей матеріалу підкладки та покриття при різних модулях пружності. На підставі отриманих даних будують залежність

динамічного модуля пружності покриття від частоти власних коливань системи підкладка-покриття для певної температури. На другому етапі експериментально визначають частоту власних коливань системи підкладка-покриття при згинних коливаннях та виконують розрахунок модуля пружності покриття, використовуючи попередньо встановлену залежність динамічного модуля пружності від частоти власних коливань та температури.

Конкретний приклад реалізації способу. Досліджували модуль пружності ущільнювального покриття, що припрацьовується, типу КНА-82 для статора турбін газотурбінних двигунів після термічної обробки. Покриття наносили на зразок з жароміцного нікелевого сплаву ЖС6У. Товщина покриття становила 5 мм з обох сторін зразка. Товщина зразка у частині, що закріплювали, складала 20 мм, у консольної частині - 5 мм. Між консольною частиною та частиною зразка, що закріплювали, виконували сполучення з радіусом 5 мм.

На першому етапі методом скінченних елементів виконували модальний аналіз для тривимірної системи підкладка-покриття та визначали її першу власну частоту коливань при згині. Моделювання коливання зразків виконували для діапазону зміни модуля пружності покриття від $1 \cdot 10^{10}$ Па до $1 \cdot 10^{11}$ Па та температури від 20 °С до 1000 °С. На підставі моделювання встановлювали залежність, що пов'язує динамічний модуль пружності покриття з температурою випробування та власною частотою коливань системи підкладка-покриття, яку описує поліном другого ступеня:

$$E_{\text{покp}} = -3,413 \cdot 10^{10} + 9,068 \cdot 10^6 \cdot T + 4,853 \cdot 10^3 \cdot T^2 - 1,562 \cdot 10^7 \cdot f + 1,864 \cdot 10^4 \cdot f^2, \text{ Па}, (1)$$

де T - температура випробувань, °С;

f - власна частота коливань, Гц.

На другому етапі на електродинамічному вібраційному стенді визначали експериментально власну частоту коливань системи підкладка-покриття для температур 20 °С та 500 °С. При цьому амплітуда коливань консольної частини зразка складала 2 мм, що відповідало верхній границі пружної області покриття. Використовуючи залежність (1), розраховували динамічний модуль пружності покриття. Відповідні значення динамічного модуля пружності покриття, що досліджували, складала 30,4 ГПа та 34,2 ГПа.

Таким чином, запропонований спосіб дозволяє визначати динамічний модуль пружності покриттів, що припрацьовуються, з високою точністю.

Список використаних джерел:

1. Игнатьков Д.А. Определение характеристик упругости неоднородных материалов динамическим методом / Д.А. Игнатьков // Электронная обработка материалов. - 2011. - № 47(1). - С. 53-62.

2. Дручинина О.А. Определение методом динамического механического анализа модуля упругости системы стальная подложка - покрытие нитрида титана / О.А. Дручинина, В.А. Харченко // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2014. - № 3 (111). - С. 36-38.

3. Патент 2 219 519 РФ, МПК G01N3/00 (2000.01) Способ определения физико-механических свойств материала с покрытием А.В. Конаков, Е.Н. Емельянов, Закрытое акционерное общество "Дальневосточная Технология" № 2002122015/28, заявл. 12.08.2002, опубл. 20.12.2003, бюл. № 35.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб визначення динамічного модуля пружності покриттів, що припрацьовуються, який включає збудження коливань та визначення частоти власних коливань системи підкладка-покриття та визначення модуля пружності покриття, що досліджують, який **відрізняється** тим, що спочатку розраховують частоту власних коливань системи підкладка-покриття для різних значень модуля пружності покриття, встановлюють емпіричну залежність модуля пружності покриття від частоти власних коливань системи підкладка-покриття, після чого експериментально визначають власну частоту коливань системи підкладка-покриття та за встановленою емпіричною залежністю визначають значення динамічного модуля пружності покриття.

Комп'ютерна верстка М. Мацело

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601