



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **87438**

(13) **U**

(51) МПК

**G01B 11/16** (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2013 09431**

(22) Дата подання заявки: **29.07.2013**

(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **10.02.2014**

(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: **10.02.2014, Бюл.№ 3**

(72) Винахідник(и):

**Ободан Наталія Іллівна (UA),  
Гук Наталія Анатоліївна (UA),  
Пацюк Анатолій Григорович (UA),  
Полішко Олексій Миколайович (UA)**

(73) Власник(и):

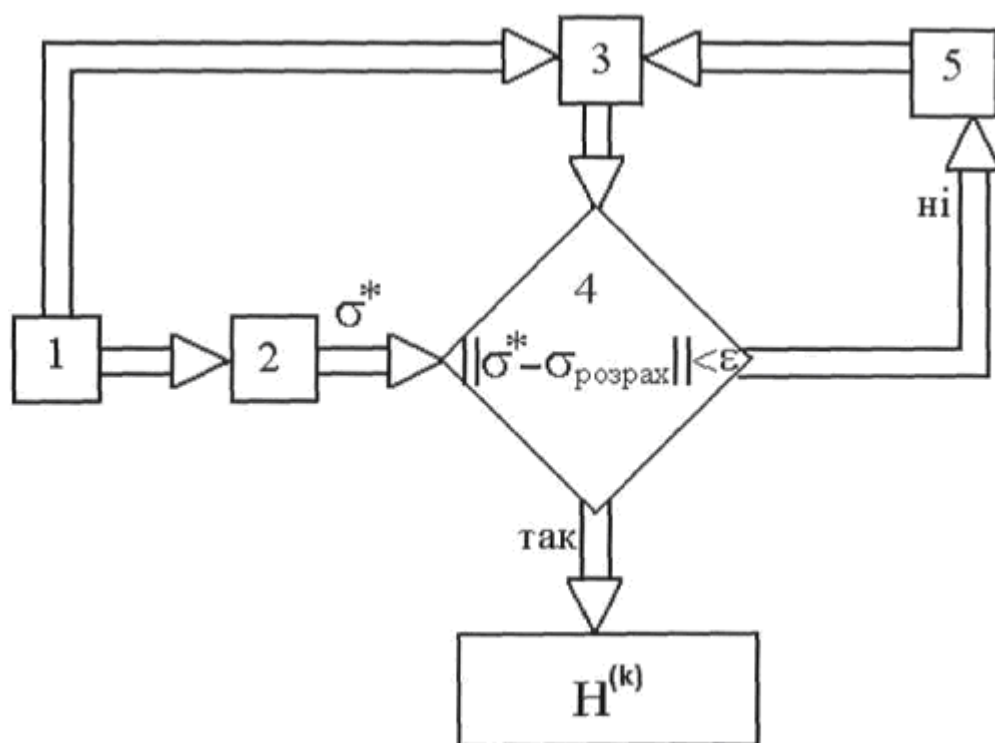
**ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА,  
пр. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, 49050  
(UA)**

## (54) СПОСІБ ДІАГНОСТИКИ ПОШКОДЖЕНЬ В ТОНКИХ ТІЛАХ

### (57) Реферат:

Спосіб діагностики пошкоджень в тонких тілах полягає в тому, що на контрольованій поверхні під дією експлуатаційного навантаження визначають наявність пробоїн в виробі. Використовують експлуатаційне навантаження і відгук тонкого тіла на це навантаження. Як відгук тонкого тіла використовують значення деформацій зовнішньої і внутрішньої поверхонь тонкого тіла, які вимірюють в заданих точках. Відповідні обчислені значення деформацій визначають за допомогою методу скінченних елементів з використанням математичної моделі конструкції з пошкодженням. Область пошкодження тонкого тіла параметризують замкненою ламаною лінією, координати вузлів якої є параметрами та ідентифікуються за допомогою алгоритму мінімізації функціоналу, який характеризує середньоквадратичне відхилення обчислених значень деформацій від відповідних значень деформацій, що вимірюють у тих же самих точках спостережень.

**UA 87438 U**



Корисна модель належить до технічної діагностики, а конкретніше - до способу контролю якості виробів, і може застосовуватися для виявлення дефектів поверхні тонкостінної конструкції при оцінці реальної несучої здатності системи і можливості її подальшої експлуатації.

Аналогом корисної моделі за можливістю визначення місця розташування дефекту в процесі експлуатації є спосіб знаходження дефектів у вигляді пор або тріщин у металевих та діелектричних виробах [1]. Суть способу полягає в тому, що на поверхню виробу наносять шар контрастного порошку аморфного бору та темну діелектричну плівку, яка має пори, насичені киснем. У виробі збуджують ультразвукові коливання та піддають впливу електричного поля високої напруги, в результаті в області дефекту виникає розряд, який супроводжується інтенсивним нагрівом контрастного порошку бору та наступним утворенням зображення дефекту на темній тонкій плівці. Недоліком такого способу є те, що виявлені дефекти контролюються візуально або за допомогою оптичних пристроїв та не можуть бути виявлені під час експлуатації.

Найбільш близьким за технічною суттю є спосіб діагностування дефектів виробу за допомогою контролю оптичних властивостей поверхні [2]. Дефекти визначають за результатами порівняння амплітуд дзеркально відображеного та дифузно відображеного світлових потоків. Однак, такий спосіб суттєво залежить від якості обробки поверхні та оптичних властивостей матеріалу виробу.

Задача корисної моделі полягає в підвищенні оперативності та точності визначення у виробі місць розташування та розмірів пошкоджень, які виникли в процесі виготовлення виробу або при його експлуатації.

Поставлена задача вирішується тим, що контрольованій поверхні виробу надають експлуатаційне навантаження, аналогічне дії світлового потоку, як відгук виробу на це навантаження використовують значення деформацій зовнішньої і внутрішньої поверхонь виміряні за допомогою датчиків деформацій в заданих точках, відповідні обчислені значення деформацій визначають за допомогою методу скінчених елементів з використанням математичної моделі конструкції з пошкодженням, при цьому область пошкодження тонкостінної системи параметризують замкнутою ламаною лінією, координати вузлів замкнутої ламаної лінії є параметрами та ідентифікуються за допомогою алгоритму мінімізації функціоналу, який характеризує середньоквадратичне відхилення обчислених значень деформацій від відповідних значень деформацій, виміряних в тих же точках спостережень, місце розташування точок спостережень відшукується з умови мінімуму функціоналу, що характеризує середньоквадратичне відхилення вектору невідомих параметрів, визначеного з використанням інформативного вектору спостережень, від того ж вектора, знайденого з використанням повного вектора спостережень, за отриманими значеннями параметрів встановлюють границю області пошкодження тонкостінної системи.

Перевага запропонованого підходу порівняно з відомими полягає в тому, що здійснюється дистанційне діагностування тонкостінної системи, яка знаходиться в умовах експлуатації, для визначення параметрів непрямих вимірів використовується експлуатаційне навантаження, що дозволяє у поєднанні з обчислювальними алгоритмами ідентифікувати місце пошкодження поверхні тонкостінної системи з достатньою для оцінки реальної несучої здатності точністю, використовувати стандартні обчислювальні алгоритми методу скінчених елементів, методів адаптації типу Ньютона. При цьому пропонується послідовність операцій навантаження, обчислення і вимірювання, прийнята послідовність обробки вимірювальної інформації у поєднанні з попередньою інформацією про точки спостереження характеризує причинно-наслідкові зв'язки між поставленою задачею і ознаками корисної моделі і задовольняє критеріям корисної моделі.

Спосіб діагностики пошкодження в тонких тілах пояснюється кресленням. Він полягає в тому, що зовнішня і внутрішня поверхні тонкостінної системи - об'єкта дослідження (блок 1), який знаходиться під дією навантаження, оснащується датчиками деформацій, які вимірюють значення деформацій у точках поверхні, по яких формується вектор деформацій  $\sigma^*$  у блоці обробки інформації 2. Одночасно інформація про навантаження, під дією якого знаходиться спостережувана тонкостінна система, подається до математичної моделі (блок 3), яка враховує параметризовану модель пошкодження та обчислює значення деформацій  $\sigma_{\text{розрах}}$  в тих же

точках поверхні, де розташовані тензорезистори. Порівняння значень  $\sigma^*$  і  $\sigma_{\text{розрах}}$  відбувається у блоці 4. У випадку, коли різниця між цими величинами перевищує задане значення, включається блок адаптації 5, і обчислюється наступне наближення параметрів пошкодження.

Процес закінчується при досягненні нормою  $|\Delta| = \sqrt{\sum_{j=1}^M \Delta_j^2}$  вектора  $\Delta = \{\Delta_j\} = \{\sigma_j^* - \sigma_{j_{\text{розрах}}}\}$

заданого значення  $\varepsilon$ . Модель області пошкодження, яка параметризується, представлена вектором  $H = \{H_i\}$ ,  $i = \overline{1, N}$  в точках поверхні тонкостінного елемента з координатами  $X_i = \{x_i, y_i\}$ ,

$X_j = \{x_j, y_j\}$  - координати точок вимірювання деформацій  $\sigma_j^*$ ,  $j = \overline{1, M}$ . Алгоритм ідентифікації

5 векторів  $H$  і точок вимірювань  $X_j = \{x_j, y_j\}$ ,  $j = \overline{1, M}$  використовує матрицю чутливості

$A = \{a_{ij}\} = \left\{ \frac{\partial \Delta_j}{\partial H_i} \right\}$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, M}$ , де  $\Delta_j = \sigma^*(X_j) - \sigma_{\text{розрах}}(X_j, H)$ ,  $\sigma_{\text{розрах}}(X_j, H)$  - розрахункові

значення деформацій, які визначаються в обчислювальному блоці за допомогою математичної моделі конструкції з врахуванням параметризованої моделі пошкодження. Ідентифікація параметрів  $H$  реалізується чисельно у вигляді ітеративного адаптивного алгоритму:

10  $H^{(k)} = H^{(k-1)} - G_{(k-1)} \Delta^{(k-1)}$ , де  $G_{(k-1)} = \left( A_{(k-1)}^T \cdot A_{(k-1)} \right)^{-1} A_{(k-1)}^T$ ,  $k$  - номер ітерації.

Блоки навантаження і вимірювань можуть бути виконані традиційними методами. Блоки математичної моделі і адаптації використовують персональні комп'ютери, пакет прикладних програм визначення напружено-деформованого стану (наприклад, COSMOS, ANSYS, NASTRAN) і програмну реалізацію алгоритму адаптації.

15 Запропонований спосіб в порівнянні з прототипом має такі переваги:

1) ширший діапазон застосування: запропонованим способом можна визначити наявність пошкоджень в будь-яких тонкостінних конструкціях, а в прототипі це обмежено суттєвою залежністю від якості обробки поверхні та оптичних властивостей матеріалу виробу;

2) оперативність, тому що забезпечує отримання інформації про стан поверхні конструкції та про зародження дефектів в режимі реального часу, на відміну від прототипу, де після тривалих вимірювань може бути отримана тільки інформація про існування дефекту.

За технічним рішенням, яке заявляється, були проведені лабораторні випробування з позитивними результатами. Реалізація способу можлива також і в промисловості.

Джерела інформації:

25 1. Авторское свидетельство SU 1656420 A1, кл. G01N 21/88. Способ обнаружения дефектов изделий.

2. Авторское свидетельство SU 1619145 A1, кл. G01N 21/28 // G01B 11/30. Способ определения дефектов на поверхности изделия.

## 30 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб діагностики пошкоджень в тонких тілах, який полягає в тому, що на контрольованій поверхні під дією експлуатаційного навантаження визначають наявність пробоїн в виробі, який **відрізняється** тим, що використовують експлуатаційне навантаження і відгук тонкого тіла на це навантаження, як відгук тонкого тіла використовують значення деформацій зовнішньої і внутрішньої поверхонь тонкого тіла, які вимірюють в заданих точках, відповідні обчислені значення деформацій визначають за допомогою методу скінченних елементів з використанням математичної моделі конструкції з пошкодженням, при цьому область пошкодження тонкого тіла параметризують замкнутою ламаною лінією, координати вузлів якої є параметрами та ідентифікуються за допомогою алгоритму мінімізації функціоналу, який характеризує середньоквадратичне відхилення обчислених значень деформацій від відповідних значень деформацій, що вимірюють у тих же самих точках спостережень.

