



УКРАЇНА

(19) UA (11) 63137 (13) U  
(51) МПК (2011.01)  
G01N 3/00  
G01N 27/00  
G01R 19/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

**(54) СПОСІБ РЕЄСТРАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ДЕФОРМАЦІЙНОГО ГІСТЕРЕЗИСУ В ЛОКАЛЬНИХ ЗОНАХ ПОВЕРХНІ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРІДНОГО МАТЕРІАЛУ**

1

(21) u201103531

(22) 24.03.2011

(24) 26.09.2011

(46) 26.09.2011, Бюл.№ 18, 2011 р.

(72) ПИСАРЕНКО ГЕОРГІЙ ГЕОРГІЙОВИЧ, ВОЙНАЛОВИЧ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ, МАЙЛО АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ, ПАВЛОВ ІГОР АРКАДІЙОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МІЦНОСТІ ІМ. Г.С. ПИСАРЕНКА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(57) Спосіб реєстрації параметрів деформаційного гістерезису в локальних зонах поверхні структурно-неоднорідного матеріалу, під час якого визначають ділянку поверхні елемента конструкції, яку досліджують на окремих стадіях його експлуатації, виконують підготовку визначеної ділянки поверхні елемента конструкції, проводять її вібродеформаційне сканування шляхом послідовної контактної взаємодії хвилеводу електромеханічного датчика з поверхнею матеріалу, при цьому датчик з хвилеводом є складеною резонансною системою, призначеною для контактування з одного боку з матеріалом елемента конструкції, а з іншого - з

2

приймачем і/або ініціатором деформацій, встановленим з можливістю генерування електричного сигналу з амплітудою, що еквівалентна деформації матеріалу поверхні у контактній зоні, визначають параметри неоднорідності деформації дискретних ділянок поверхні у зоні однорідного напруженого стану, за якими оцінюють стан мікро-неоднорідності матеріалу і визначають ступінь пошкодження матеріалу елемента конструкції, який **відрізняється** тим, що вісь хвилеводу датчика виконують криволінійною, а ділянку поверхні елемента конструкції, яку досліджують на окремих стадіях його експлуатації, сканують у зоні контакту хвилеводу водночас двома зондувальними пружними хвилями у двох ортогональних напрямках поверхневого шару ділянки поверхні елемента конструкції - вертикальному до площини її поверхні та уздовж поверхні елемента конструкції, а на основі отриманих параметрів розсіяння енергії цих хвиль визначають величину деформаційного гістерезису в дискретних зонах, за яким оцінюють ступінь локального пошкодження (рівень деградації) матеріалу від силового навантажування елемента конструкції, що передувало дослідженню.

Пропонована корисна модель належить до способів дослідження розсіяного втомного пошкодження, а більш точно - до способу реєстрації параметрів деформаційного гістерезису в локальних зонах поверхні структурно-неоднорідного матеріалу. Пропонований спосіб може бути використаний, зокрема, для визначення ступеню накопичення пошкодження від циклічного навантажування у робочих лопатках газотурбінних двигунів і компресорів та в інших відповідальних елементах конструкцій.

Відомий спосіб оцінення рівня деградації (пошкодження) матеріалу елементів конструкції [Декларативний патент на корисну модель № 17348, МПК (2006) G01N 3/00. Опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9, 2006], згідно з яким проводять вібродеформа-

ційне сканування ділянки поверхні елемента конструкції шляхом послідовної контактної взаємодії електромеханічного датчика з поверхнею матеріалу і визначають параметри неоднорідності деформації дискретних точок поверхні, а отже оцінюють стан мікронеоднорідності та ступінь деградації матеріалу від попереднього силового навантажування. У даному способі електромеханічний датчик є складеним резонансним стержнем прямолинійної форми, який одним кінцем контактує з матеріалом елемента конструкції, а іншим - з джерелом (і водночас приймачем) коливань, амплітуда яких відповідає деформації матеріалу поверхні у контактній зоні.

Недоліком описаного способу є створення електромеханічним датчиком, який є прямолиній-

(19) UA (11) 63137 (13) U

ним стержнем, у зоні контактної взаємодії з поверхнею матеріалу пружної хвилі лише в одному - вертикальному до поверхні напрямку, що не дозволяє зареєструвати у локальних зонах поверхневого шару матеріалу параметри силового чи деформаційного гістерезису, які корелюють з локальною пошкодженістю матеріалу, та забезпечити потрібну достовірність результатів щодо структурної неоднорідності поверхневого шару.

У основу пропонованої корисної моделі поставлено задачу створення такого способу реєстрації параметрів деформаційного гістерезису в локальних зонах поверхні структурно-неоднорідного матеріалу, який би дозволив підвищити достовірність результатів за рахунок створення умов для сканування поверхні елемента конструкції у зоні контакту хвилеводу водночас двома зондувальними пружними хвилями у двох ортогональних напрямках поверхневого шару ділянки поверхні елемента конструкції - вертикальному до площини її поверхні та уздовж поверхні елемента конструкції.

Поставлена задача вирішується пропонованим способом, що як і відомий спосіб реєстрації параметрів деформаційного гістерезису в локальних зонах поверхні структурно-неоднорідного матеріалу, включає операції визначення ділянки поверхні елемента конструкції, яку досліджують на окремих стадіях його експлуатації, підготовки визначеної ділянки поверхні елемента конструкції, її вібродеформаційного сканування шляхом послідовної контактної взаємодії хвилеводу електромеханічного датчика з поверхнею матеріалу, при цьому датчик з хвилеводом є складеною резонансною системою, призначеною для контактування з одного боку з матеріалом елемента конструкції, а з іншого - з приймачем і/або ініціатором деформацій, встановленим з можливістю генерування електричного сигналу з амплітудою, що еквівалентна деформації матеріалу поверхні у контактній зоні, визначають параметри неоднорідності деформації дискретних ділянок поверхні у зоні однорідного напруженого стану, за якими оцінюють стан мікро-неоднорідності матеріалу і визначають ступінь пошкодження матеріалу елемента конструкції, а, відповідно до винаходу, вісь хвилеводу датчика виконують криволінійною, а ділянку поверхні елемента конструкції, яку досліджують на окремих стадіях його експлуатації, сканують у зоні контакту хвилеводу водночас двома зондувальними пружними хвилями у двох ортогональних напрямках поверхневого шару ділянки поверхні елемента конструкції - вертикальному до площини її поверхні та уздовж поверхні елемента конструкції, а на основі отриманих параметрів розсіяння енергії цих хвиль визначають величину деформаційного гістерезису в дискретних зонах, за яким оцінюють ступінь локального пошкодження (рівень деградації) матеріалу від силового навантажування елемента конструкції, що передувало дослідженню.

Згідно із запропонованим способом реєструють параметри деформаційного гістерезису в локальних зонах поверхні структурно-неоднорідного матеріалу. Для цього від резонансного збудження стержневого хвилеводу з криволінійною віссю у поверхневих шарах контрольованого об'єкта ініці-

ують водночас дві пружні хвилі у вертикальному до поверхні та поздовжньому напрямках (суперпозиція цих хвиль відповідає дії у поверхневому шарі матеріалу максимальних дотичних пошкоджувальних напружень від силового навантажування). Під час поширення пружної поздовжньої хвилі у такому хвилеводі, спрямованій збуджувачем коливань у осьовому напрямку, елементи поперечного перерізу хвилеводу виявляють два види зміщення - кутове повертання осі симетрії площин поперечного перерізу, внаслідок криволінійності форми центральної осі стержня, та плоско-паралельне переміщення точок осі симетрії перерізу в перпендикулярному напрямку щодо того, в якому поширюється пружна хвиля (тобто у площині поперечного перерізу хвилеводу), а тому хвилевід криволінійної форми відповідно ініціює у зоні контактної взаємодії його торцевого перерізу з поверхневим шаром матеріалу пружні хвилі, енергію яких спрямовано у двох ортогональних напрямках. Параметри розсіяння енергії цих хвиль у вертикальному (до поверхні матеріалу) напрямку та уздовж поверхні матеріалу дозволяють отримати величину деформаційного гістерезису в дискретних зонах, що відповідає ступеню їх локального пошкодження від попереднього силового навантажування.

Застосування замість стержневого хвилеводу прямолінійної форми, який створює у поверхневих шарах матеріалу пружну хвилю одного напрямку (вертикального щодо поверхні матеріалу у разі поздовжнього переміщення елементів хвилеводу), хвилеводу з криволінійною формою осі, який характеризується складною картиною переміщення точок поперечного перерізу в межах його торця, що контактує з поверхнею матеріалу, дозволяє зареєструвати деформаційний гістерезис у локальній зоні контактної взаємодії хвилеводу з матеріалом та суттєво підвищити точність визначення ступеню пошкодження локальних об'єктів поверхні матеріалу, що важливо для подальшого оцінювання ресурсу металоконструкції.

Суть пропонованої корисної моделі пояснює схематичне креслення, на якому показано здійснення пропонованого способу.

На поверхні елемента конструкції 1 визначено ділянку 2, призначену для її досліджування на окремих стадіях експлуатації елемента конструкції 1. Для дослідження ділянки 2 застосовують її вібродеформаційне сканування шляхом послідовної контактної взаємодії хвилеводу 3 електромеханічного датчика 4 з поверхнею ділянки 2. Вісь хвилеводу 3 датчика 4 має криволінійну форму, а вільний торець хвилеводу 3 встановлено з можливістю його коливання. Узагальнені напрями коливання схематично показано стрілками у характерних поперечних перерізах 5 хвилеводу 3. Переважні напрямки поширення основної енергії утворених хвиль у ділянці 2 схематично показано у поперечному перерізі ділянки 2 стрілками 6 і 7 відповідно. Датчик 4 з хвилеводом 3 є складеною резонансною системою, призначеною з одного боку для контактування з ділянкою 2 елемента конструкції 1, а отже, ініціатором деформацій у матеріалі, а з іншого - є приймачем з можливістю генерування електричних сигналів з амплітудами, що еквівале-

тні деформаціям матеріалу поверхні у ділянці 2. Згадана система містить також пристрій 8, призначений для реєстрації у зоні контакту хвилеводу 3 з поверхневим шаром матеріалу ділянки 2 елемента конструкції 1 параметрів взаємодії енергії ортогональних хвиль 6 і 7 з елементами мікроструктури поверхневого шару матеріалу, а отже отримати величини деформаційного гістерезису в його дискретних зонах.

Приклад. Перед дослідженнями попередньо визначали ділянку 2 поверхні елемента конструкції 1. Виконували її підготовку до дослідження - знежирювали та очищували. До поверхні ділянки 2 поверхні елемента конструкції 1 притискали вільний торець хвилеводу 3 з віссю криволінійної форми (у межах до 45°). Проводили вібродеформаційне сканування ділянки 2 шляхом послідовної контактної взаємодії хвилеводу 3 електромеханічного датчика 4 з поверхнею матеріалу ділянки 2. При цьому в хвилеводі 3 від дії електромеханічного датчика 4 виникали резонансні коливання. Внаслідок складної картини коливання точок хвилево-

ду 3 під час поширення у ньому поздовжньої хвилі, у поверхневому шарі ділянки 2 були ініційовані зондувальні пружні хвилі. Енергію зондувальних пружних хвиль було спрямовано, принаймні, у двох основних напрямках: вертикальному щодо поверхні ділянки 2 та уздовж поверхні елемента конструкції. Переважні напрямки поширення основної енергії таких хвиль у ділянці 2 схематично показано у поперечному перерізі об'єкта стрілками 6 і 7 відповідно. Пристрій 8 здійснював реєстрацію у зонах локальних контактів хвилеводу 3 з поверхневим шаром матеріалу ділянки 2 параметри взаємодії енергії хвиль, спрямованих в ортогональних напрямках. При цьому на основі порівняння отриманих параметрів розсіяння енергії цих хвиль визначали величину деформаційного гістерезису в дискретних зонах ділянки 2, а, отже, оцінювали ступінь локального пошкодження (рівень деградації) матеріалу елемента конструкції 1 від силового навантаження елемента конструкції 1, що передувало дослідженню.

