



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **79220** (13) **U**
(51) МПК
G01N 3/32 (2006.01)

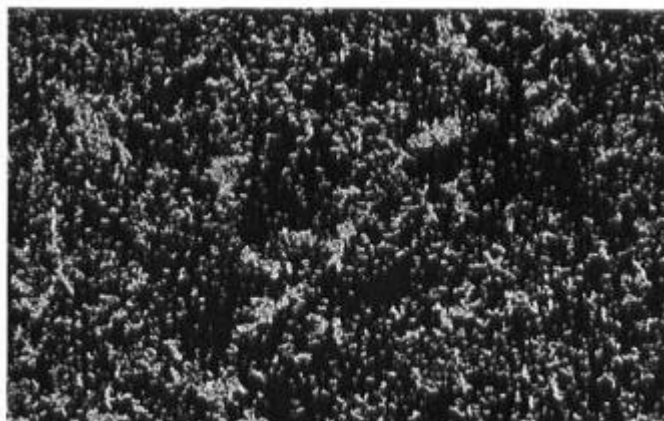
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2012 13218	(72) Винахідник(и):	Засимчук Олена Емілівна (UA), Чаусов Микола Георгійович (UA), Турчак Тетяна Вікторівна (UA), Баскова Олександра Ігорівна (UA), Гаценко Олександр Сергійович (UA)
(22) Дата подання заявки:	20.11.2012	(73) Власник(и):	ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В. КУРДЮМОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, бульвар Вернадського, 36, м. Київ-142, МСП, 03680 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	10.04.2013		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.04.2013, Бюл.№ 7		

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТУ КОНСТРУКЦІЙНОГО ВУЗЛА

(57) Реферат:

Спосіб визначення критичного стану елементу конструкційного вузла зі сплаву на основі алюмінію підлягає в процесі експлуатації неконтрольованому механічному навантаженню, при якому елемент конструкційного вузла, що аналізують, піддають механічному навантаженню, контролюють стан поверхні шляхом проведення статистичного аналізу параметрів рельєфних утворень деформаційного рельєфу. На поверхні елементу конструкційного вузла жорстко закріплюють сенсор з монокристалічної алюмінієвої фольги. У процесі механічного навантаження елементу конструкційного вузла проводять статистичний аналіз форми і орієнтації рельєфних утворень поверхні монокристалічного сенсора, а критичний стан елементу визначають за появою більших за площиною рельєфних утворень поверхні сенсора в кількості не менш 1-2 % від малих за площиною рельєфних утворень та однорідності їх орієнтації під кутом до осі навантаження на менш 75°-85°.



Фіг. 1

U
UA 79220 U

Корисна модель належить до способів контролю за деформаційним пошкодженням неконтрольовано-навантажених вузлів конструкцій і може бути використана для виявлення критичного стану вузлів конструкцій, де особливістю експлуатації є факт відсутності ділянок локалізації макропластичної деформації, в яких можливе виникнення і розвиток осередків руйнування (тріщин).

Відомий спосіб прогнозування живучості елементу конструкційного вузла з алюмінієвого сплаву за станом деформаційного рельєфу поверхні, при якому здійснюють циклічне навантаження до появи втомної тріщини, після чого за допомогою оптичного мікроскопа, цифрової фотокамери і відповідного програмного забезпечення визначають поточні значення параметру пошкодження і прогнозування по кореляційним моделям, що містять певний параметр пошкодження, залишкової довговічності елементів авіаційних конструкцій [1]. Таким параметром є критичне значення параметру пошкодження D крит. Це значення автори пов'язують з моментом старту втомної тріщини, та відповідно до отриманих кореляційних моделей визначають живучість елементу конструкції.

Недоліком цього способу є залежність якісної картини поверхневого рельєфу від орієнтації кристалітів в ділянці локалізації напружень. Максимально чутливою орієнтацією для розвитку рельєфу в алюмінії та в його сплавах є орієнтація $\{100\}$. В той же час орієнтація кристалітів в контрольованій ділянці є випадковою. Це заважає правильному визначенню залишкового ресурсу елементів конструкцій.

Найбільш близьким за суттю та результатом, що досягається, до способу, що заявляється, є спосіб визначення критичного стану елементу конструкційного вузла зі сплаву на основі алюмінію, що підлягає в процесі експлуатації неконтрольованому механічному навантаженню, при якому елемент конструкційного вузла, що аналізують, піддають механічному навантаженню, контролюють стан ділянки поверхні елементу конструкційного вузла шляхом проведення статистичного аналізу параметрів рельєфних утворень деформаційного рельєфу: по насиченості і фрактальній розмірності деформаційного рельєфу, а саме, за параметрами пошкодження D та фрактальною розмірністю деформаційного рельєфу Dp/s , яка є характеристикою форми кластерів деформаційного рельєфу, і по множинним кореляційним моделям, що побудовані за вказаними параметрами, визначають залишковий ресурс [2].

Недоліком цього способу, також як і способу-аналогу [1], є недостатня точність визначення критичного стану елементів конструкційного вузла внаслідок випадкової орієнтації кристалітів в ділянці, що аналізується.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення способу визначення критичного стану елементу конструкційного вузла зі сплаву на основі алюмінію шляхом використання монокристалічного сенсора в умовах статичних та динамічних навантажень елементу конструкційного вузла та якісної статистичної обробки параметрів поверхневого рельєфу монокристалічного сенсора за допомогою програми MATLAB в середовищі розподілених обчислень Desktop Grid, завдяки чому значно підвищується точність способу.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення критичного стану елементу конструкційного вузла зі сплаву на основі алюмінію, що підлягає в процесі експлуатації неконтрольованому механічному навантаженню, при якому елемент конструкційного вузла, що аналізують, піддають механічному навантаженню, контролюють стан поверхні шляхом проведення статистичного аналізу параметрів рельєфних утворень деформаційного рельєфу, згідно з корисною моделлю, на поверхні елементу конструкційного вузла жорстко закріплюють сенсор з монокристалічної алюмінієвої фольги, в процесі механічного навантаження елементу конструкційного вузла проводять статистичний аналіз форми і орієнтації рельєфних утворень поверхні монокристалічного сенсора, а критичний стан елементу визначають за появою більших за площиною рельєфних утворень поверхні сенсора в кількості не менш 1-2 % від малих за площиною рельєфних утворень та однорідності їх орієнтації під кутом до осі навантаження на менш 75° - 85° .

У відомих способах деформаційне пошкодження об'єктів призводить до появи в процесі експлуатації ділянок мікропластичної деформації, в яких можливе виникнення і розвиток втомних тріщин. Появі таких ділянок (тобто критичному стану матеріалу) відповідає поява максимуму фрактальної розмірності рельєфу. Експериментально встановлено, що при раптових змінах в режимі навантаження, коли можливі значні макропластичні деформації матеріалу, більш чутливим до появи критичного стану матеріалу є статистичний аналіз орієнтації рельєфних утворень, що і запропоновано в нашій корисній моделі.

Статистична обробка рельєфу монокристалів в умовах статичного та динамічного навантаження, коли імовірні миттєві зміни режимів навантаження, показала неоднорідність цього рельєфу за формою і розмірами рельєфних утворень. Експериментально встановлено,

що критерієм наближення до руйнування об'єкту, який аналізується, є поява більших за площиною рельєфних утворень на поверхні монокристалічного сенсора в кількості не менш 1-2 % від малих за площиною рельєфних утворень. На початкових стадіях деформації спостерігається велика кількість рельєфних утворень, які мають малу площину (менше ніж 100 мкм). При подальшій деформації відбувається збільшення рельєфних утворень за рахунок злиття утворень меншого розміру, що призводить до зменшення їх кількості, а кількість великих рельєфних утворень (більш ніж 500 мкм²) стає більше. Ця тенденція зберігається до руйнування елемента конструкційного вузла. Поява менш 1 % більших за площиною рельєфних утворень на поверхні сенсора ще не є свідченням наближення конструкції до критичного стану.

Орієнтація рельєфних утворень видовженої форми по відношенню до осі навантаження в зруйнованих зразках більш однорідна і знаходиться під кутом до осі навантаження не менш 75°-85°. Експериментально встановлено, що на початковій стадії деформації рельєфні утворення формуються переважно під кутом 45° до осі навантаження. Зі збільшенням ступеня деформації орієнтація рельєфних утворень видовженої форми наближається від 45° до 75-85° відносно осі навантаження. В подальшому з підвищенням ступеня деформації орієнтація наближається до 90° відносно осі навантаження, після чого конструкція руйнується. Це підтверджує, що саме орієнтація рельєфних смуг монокристалів, жорстко закріплених з пластично деформованими зразками, може розглядатися як критерій критичного стану основного зразка, тобто наближення його до руйнування.

Суть корисної моделі пояснюють креслення.

На фіг. 1-4 показані відфільтровані зображення рельєфу поверхні монокристалічних сенсорів, з'єднаних з вузлом, що аналізується:

фіг. 1 - вільна поверхня монокристалу, сполученого з вузлом конструкції, статичний розтяг якого не доведено до руйнування та розвантажено при досягненні деформації ≈ 14 %;

фіг. 2 - вільна поверхня монокристалу, сполученого з вузлом, що руйнується в умовах динамічного розтягу після стрибка навантаження зі ступені розтягування приблизно 4 %. Руйнування зразка відбулося при ступені деформації близько 22,5 %;

фіг. 3 - вільна поверхня монокристала, сполученого з вузлом, що руйнується в умовах динамічного розтягу, що зазнав два стрибка зовнішньої напруги: при деформації близько 4 % та при деформації близько 12 %. Після першого стрибка деформація зразка не стабільна, зміцнення відсутнє. Однак після другого стрибка матеріал зміцнюється, і в цьому стані спостерігається ділянка плинності аж до руйнування при досягненні деформації - 22 %;

фіг. 4 - внутрішня поверхня монокристала, сполученого з вузлом.

На фіг. 5-8 зображено гістограми розподілення сумарної площини рельєфних утворень за орієнтацією при статичному активному розтягу:

фіг. 5 - тривалість розтягу 2 хв.;

фіг. 6 - тривалість розтягу 3 хв.;

фіг. 7 - тривалість розтягу 4 хв.;

фіг. 8 - тривалість розтягу 4 хв. 20 сек.

Згідно з корисною моделлю, спосіб реалізується наступним чином:
з монокристалів алюмінію чистотою 99,999 % ваг. Al з орієнтацією {100} <001> шляхом електроерозійного різання виготовляють фольги товщиною 200 мкм;

фольги, які в подальшому грають роль сенсора, шліфують та полірують для створення ідеальної поверхні для спостережень, а саме - дзеркальної поверхні, та зняття напруг, внесених в поверхневий шар різанням;

монокристалічні фольги (сенсори) жорстко закріплюють на поверхні елемента конструкційного вузла зі складнолегованого сплаву, наприклад 2024-T3;

елемент конструкційного вузла статично навантажують в пружній області до межі плинності;

в умовах статичної деформації раптово збільшують зовнішню напругу, тобто відбувається перехід до динамічних умов деформації. В цих умовах навіть при відсутності пластичної деформації елемента конструкційного вузла монокристалічний сенсор деформується пластично, і на його поверхні спостерігається деформаційний рельєф.

проводять аналіз цього рельєфу за допомогою оптичного стереомікроскопа, пов'язаного з відеокамерою і ПК;

за допомогою удосконаленої програми MatLab відеофільм розвитку рельєфу в процесі навантаження елемента конструкційного вузла автоматично поділяють на окремі кадри і проводять фільтрацію кадрів відеофільму, відокремлення рельєфних утворень від фону за певною межею, а також виділення рельєфних утворень за різними кольорами (фіг. 1-4);

отримані фільтровані кадри відеофільму піддають статистичній обробці, яка дозволяє автоматично будувати гістограми залежності кількості рельєфних утворень від їх площини та від їх орієнтації (фіг. 5-8).

Зміна орієнтації рельєфних утворень по відношенню до осі навантаження від $\sim 45^\circ$ до $\sim 75^\circ$ - 85° вказує на наближення матеріалу конструкційного вузла до критичного стану. Рельєфні утворення не формуються у вигляді неперервних ліній, а складаються з окремих контрастних ділянок, що були об'єднані в кластери, кількість і розміри яких статично оброблені. Кінетика змін найбільш імовірної орієнтації рельєфних утворень при наближенні до критичного стану матеріалу конструкційного вузла від 45° до $\sim 85^\circ$ представлена на фіг. 5-8.

Статична обробка рельєфу монокристалу показала, що саме орієнтація рельєфних смуг монокристалічних сенсорів, жорстко закріплених на елементах конструкційного вузла, може розглядатися як критерій критичного стану цього вузла, тобто свідчити про наближення його до межі руйнування.

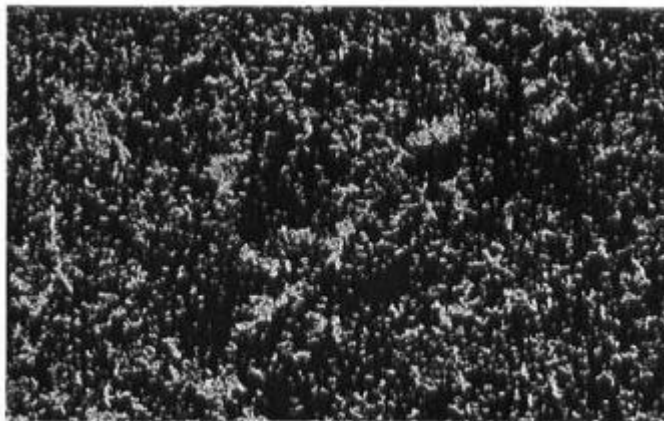
Джерела інформації:

1. Деклараційний патент на корисну модель № 65204 "Спосіб прогнозування живучості алюмінієвого сплаву Д16АТ по деформаційному рельєфу поверхні" / Ігнатович С. Р., Карускевич М.В., Маслак Т.П., Щепак С.В. МПК G01N 3/32, 2011.

2. Деклараційний патент на корисну модель № 29683 "Спосіб прогнозування залишкової довговічності елементів авіаційних конструкцій по насиченості і фрактальній розмірності деформаційного рельєфу" / Ігнатович С.Р., Карускевич М.В., Маслак Т.П., Пантелеев В.М., Якушенко О.С. МПК G01N 3/32, 2008.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб визначення критичного стану елемента конструкційного вузла зі сплаву на основі алюмінію, що підлягає в процесі експлуатації неконтрольованому механічному навантаженню, при якому елемент конструкційного вузла, що аналізують, піддають механічному навантаженню, контролюють стан поверхні шляхом проведення статистичного аналізу параметрів рельєфних утворень деформаційного рельєфу, який **відрізняється** тим, що на поверхні елемента конструкційного вузла жорстко закріплюють сенсор з монокристалічної алюмінієвої фольги, в процесі механічного навантаження елемента конструкційного вузла проводять статистичний аналіз форми і орієнтації рельєфних утворень поверхні монокристалічного сенсора, а критичний стан елемента визначають за появою більших за площиною рельєфних утворень поверхні сенсора в кількості не менш 1-2 % від малих за площиною рельєфних утворень та однорідності їх орієнтації під кутом до осі навантаження на менш 75° - 85° .



Фіг. 1

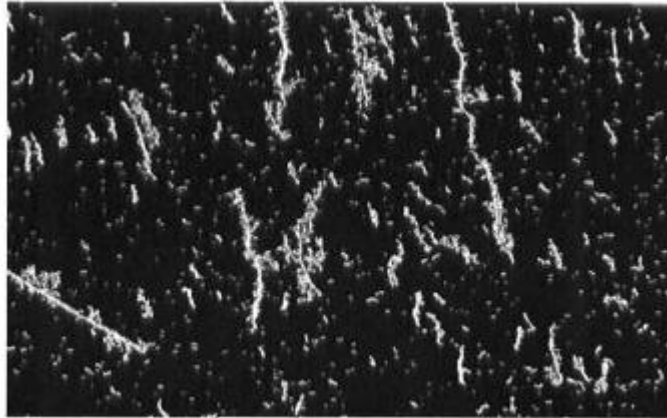


Fig. 2

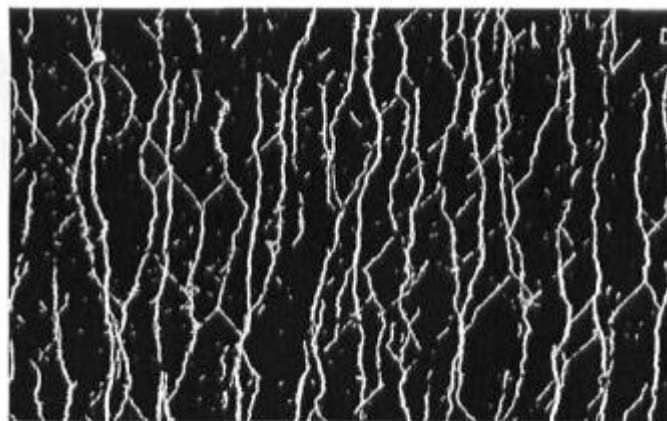


Fig. 3

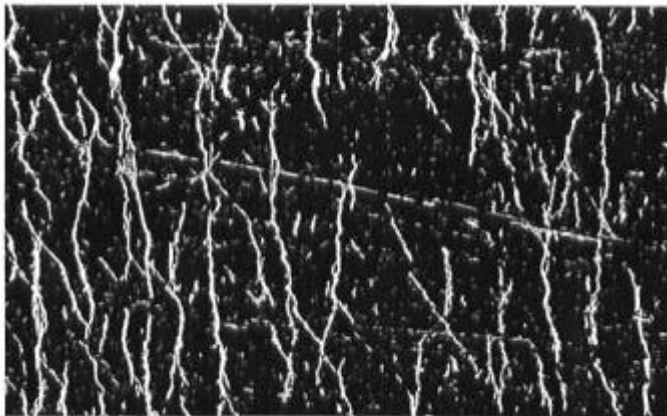


Fig. 4

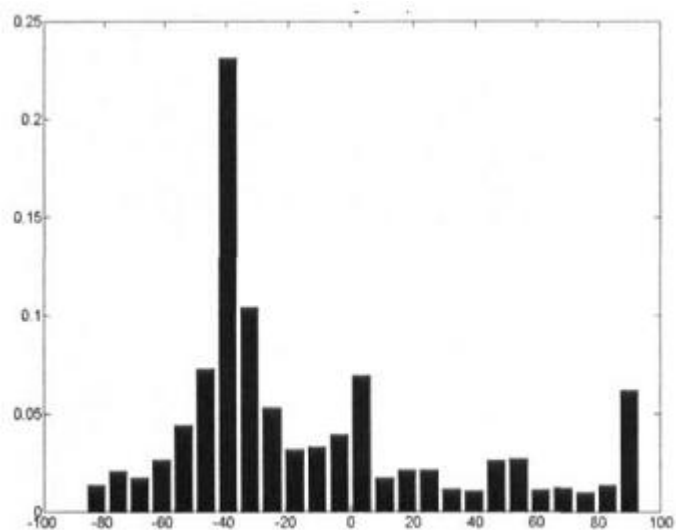


Fig. 5

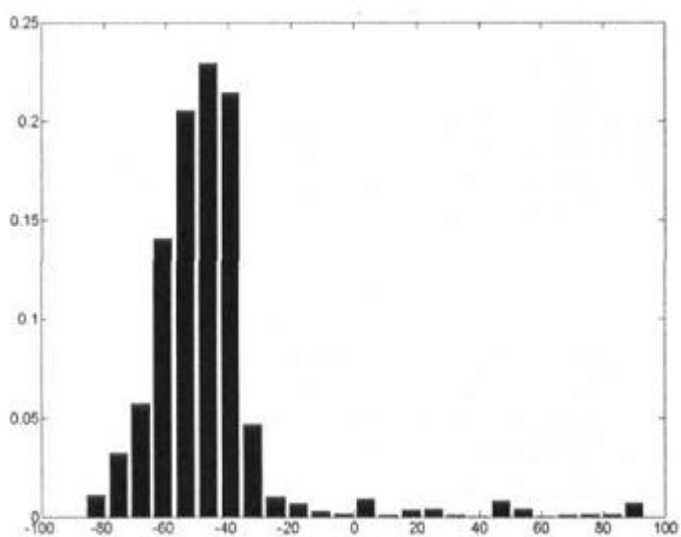


Fig. 6

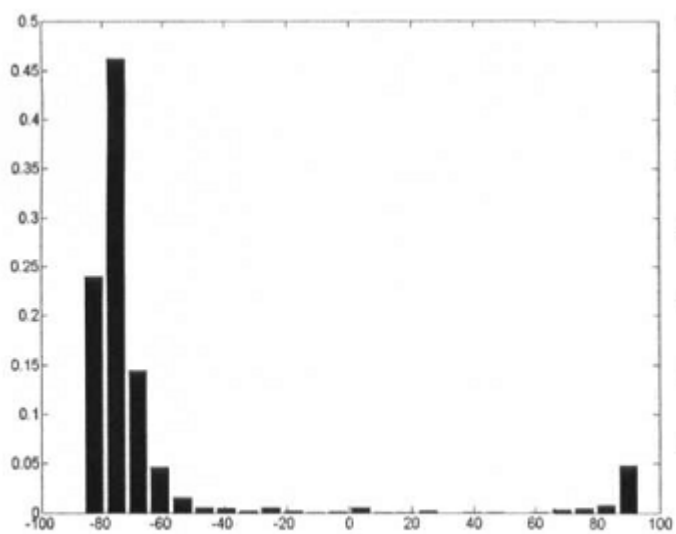


Fig. 7

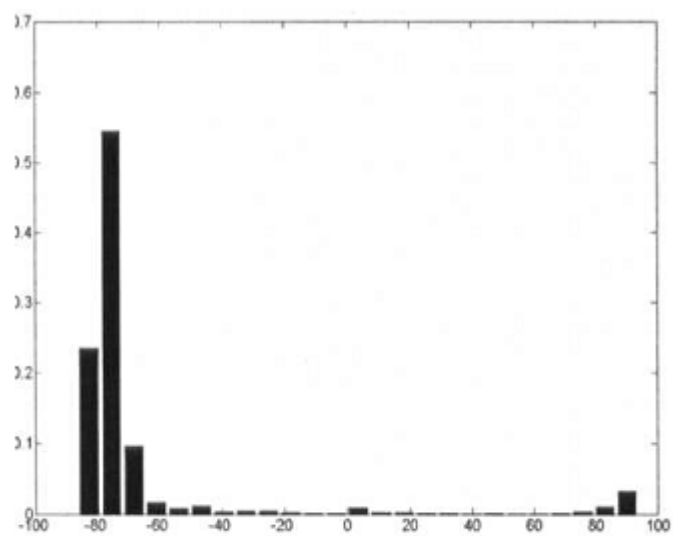


Fig. 8

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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