

ВІЗУАЛЬНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДЕФОРМАЦІЙНОГО РЕЛЬЄФУ Й ОЦІНКА НАКОПИЧЕНОГО ВТОМНОГО ПОШКОДЖЕННЯ

Проведено дослідження еволюції деформаційного рельєфу поверхні плакованого алюмінієвого сплаву D16AT при циклічному навантаженні. Доведено можливість візуальної ідентифікації деформаційного рельєфу і визначення накопиченого втомного пошкодження.

Investigation of the surface deformation relief of alclad aluminum alloy D16AT under fatigue has been carried out. The possibility of deformation relief visual identification as well as estimation of the accumulated fatigue damage are proved.

Вступ

Аналіз втоми авіаційних конструкцій відповідно до вимог авіаційних правил АП-25, а також нормативних документів ІКАО є необхідною процедурою при розробці нової авіаційної техніки.

Недостатня точність аналітичних методів кількісної оцінки накопиченого втомного пошкодження, особливо при дії нерегулярного циклічного навантаження, зумовлює необхідність розробки інструментальних підходів для вирішення вказаного актуального завдання.

Методи інструментального контролю накопиченого втомного пошкодження

Описи роботи деяких пристроїв для моніторингу втоми наведені у праці [1]. Найбільш успішним є використання індикаторів втомленості, які моделюють процеси руйнування, в деяких випадках вони базуються на можливості контролю росту втомних тріщин в індикаторах. Результати випробувань індикаторів, установлених на крило транспортного літака наведені у праці [2].

Автор праці запропонував спосіб визначення розвитку пошкодження конструкції [3]. У праці [4] запропонована методика підбору індикаторів через розрахунки і проведена перевірка їх адекватності.

Досить часто використовуються датчики, принцип дії яких базується на реєстрації зміни електроопору чутливих елементів [5]. У деяких випадках, коли чутливість датчиків недостатня, їх встановлюють на підсилювачах деформації.

Чутливим елементом датчика втоми, який реєструє зміни електроопору, може бути плівка струмопровідних композицій [6].

Ряд пристроїв для визначення накопиченого пошкодження конструкцій заснований на використанні чутливих елементів, які руйнуються в процесі експлуатації конструкцій [7].

Розроблені також датчики з кольоровою індикацією спеціальних плівок і датчики з оптично прозорого матеріалу, які дають змогу спостерігати оптичні картини, що виникають при деформації.

Спосіб контролю втоми матеріалу [8] передбачає зміни інтенсивності дзеркального відображення контрольної ділянки поверхні.

Стан поверхні несе інформацію про втомне пошкодження поверхні металу. Ця ідея є ключовою в способах моніторингу втоми пошкодження, які розроблюються в Національному авіаційному університеті.

Дослідження еволюції смуг ковзання на монокристалах дало змогу запропонувати монокристалічний індикатор втомного пошкодження [9], а за результатами спостереження деформаційного рельєфу полікристалічного алюмінієвого плакувального шару був розроблений спосіб прогнозування залишкового ресурсу елементів авіаційних конструкцій [10].

Деформаційний рельєф досліджувався методами оптичної та електронної мікроскопії, інтерференційної профілометрії, отриманий значний об'єм експериментальних даних про еволюцію запропонованого параметра пошкодження в процесі циклічного навантаження.

Дослідження поверхневих дефектних структур показали, що для їх кількісного опису можна ефективно використовувати методи фрактальної геометрії.

Еволюція фрактальної розмірності деформаційного рельєфу досліджується в процесі циклічного навантаження, розглядається можливість врахування як інтенсивності деформаційного рельєфу, так і форми кластерів рельєфу.

Методика і результати експерименту

Оцінка накопиченого втомного пошкодження за насиченістю поверхні ознаками мікропластичної деформації належить до оптичних методів контролю.

Для кількісної оцінки накопиченого втомного пошкодження запропонований ряд автоматизованих методик, проте в ряді випадків, особливо в умовах експлуатації, автоматизована оцінка може бути ускладнена наявністю дефектів поверхні не деформаційного походження.

У такому разі раціональніше використання візуального порівняння контрольованих структур поверхні з еталонами, які відповідають певним рівням накопиченого втомного пошкодження.

Можливість візуальної ідентифікації накопиченого деформаційного пошкодження була доведена експериментально, через випробування зразків конструкційного алюмінієвого сплаву Д16АТ. Механічні характеристики сплаву і його хімічний склад наведені в табл. 1 і 2.

Таблиця 1

МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛЮМІНІЄВОГО КОНСТРУКЦІЙНОГО СПЛАВУ Д16АТ

Границя міцності при розтягу, МПа	Границя текучості, МПа	Відносне подовження, %	Модуль пружності, МПа
440	290	18	71

Таблиця 2

ОСНОВНІ ЛЕГУВАЛЬНІ КОМПОНЕНТИ (% МАСИ) АЛЮМІНІЄВОГО КОНСТРУКЦІЙНОГО СПЛАВУ Д16АТ

Cu	Mg	Mn	Zn	Cr
3,8—4,9	1,2—1,8	0,3—0,9	—	—
3,8—4,9	1,2—1,8	0,3—0,9	—	—
1,2—2,0	2,1—2,9	—	5,1—6,1	0,18—0,28

Випробування проводилися на гідропульсаційній машині МУП-20 з частотою навантаження 11 Гц при напруженнях 120 МПа, тобто близьких до напружень, що діють в обшивці літака.

Контроль поверхні здійснювався за допомогою оптичного металографічного мікроскопа зі збільшенням у 350 разів.

Інтервал напрацювань становив 10 тис. циклів навантаження на початковій стадії, і 20 тис. циклів на заключній стадії пошкодження, що пов'язано з уповільненням процесу накопичення пошкодження.



Рис. 1. Послідовність операцій при виконанні візуальної ідентифікації деформаційного рельєфу і оцінки залишкового ресурсу елемента конструкції

За результатами випробувань і моніторингом деформаційного рельєфу поблизу концентратора напружень був сформований атлас стану поверхні сплаву Д16АТ при його циклічному навантаженні.

Оцінка накопиченого пошкодження здійснюється пошуком серед наданих в атласі деформаційних структур поверхні, найбільш близької за візуально визначеними ознаками до структури поверхні контрольованого зразка.

Точність визначення накопиченого пошкодження збільшується при зменшенні інтервалу циклічних напрацювань, які відповідають певним фотографіям в атласі.

Надійність прогнозу довговічності може бути підвищена також урахуванням рівня циклічних напружень, що може бути досягнуто через накопичення в атласі фотографій, що відповідають різноманітним режимам навантаження, в тому числі програмних.

Для практичної реалізації може бути запропонована така послідовність виконання аналітичних робіт і інструментальних методик (рис. 1):

1. Визначається експлуатаційний спектр навантажень, розподілення навантажень по конструкції, властивості конструкційного матеріалу;

2. Визначаються ділянки конструкції, що підлягають оцінці. Місце можливого пошкодження може бути визначено шляхом розрахунків або по результатах випробувань довговічності всієї конструкції або окремих її частин;

3. Для створення банку даних про еволюцію стану поверхні елементів конструкцій проводяться втомні випробування лабораторних зразків;

4. Моніторинг процесу втоми авіаційних конструкцій в процесі їх натурних випробувань або в експлуатації виконується аналогічно процедурі моніторингу лабораторних зразків;

5. Оцінка залишкового ресурсу виконується шляхом візуальної ідентифікації зображень деформаційного пошкодження в зонах локалізації деформації, тобто порівнянням зображень стану поверхні об'єкту, що досліджується з тим, що було отримано при випробуваннях лабораторних зразків і представлено в атласі деформаційних рельєфів з визначеним пошкодженням.

Як приклад розглянемо зображені на рис. 2 зліва фотографії діагностованого об'єкта, а справа — фрагмент атласу стану.

Відносне напрацювання становило 53 % довговічності до моменту формування втомної тріщини завдовжки 1,0 мм.

Як видно з рисунка в процесі порівняння контрольного зразка з наведеними в атласі фотографіями, визначається стан, найбільш близький за візуальними ознаками інтенсивності рельєфу. В даному випадку похибка визначення циклічного напрацювання становила 3000 циклів навантаження, що не перевищує 2 % загальної довговічності.

Висновки

Показано, що візуальна ідентифікація деформаційного рельєфу дає змогу прогнозувати залишковий ресурс елементів авіаційних конструкцій, виготовлених із плакованих алюмінієвих сплавів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Парамонов Ю. М.* Источники информации индивидуального расхода ресурса. Надежность, живучесть и ресурс конструкции летательных аппаратов: Учеб. пособие для ВУЗов ГА. — РИИГА. — 1980. — 78 с.
2. *Белайчук А. К., Слепечец Е. Н., Якобсон И. В.* Некоторые результаты совместных испытаний индикаторов и крыла транспортного самолета // Прочность, надежность и долговечность конструкций, надежность и ресурс конструкций планера ЛА / Под ред. К. Д. Миртова. Межвуз. сб. науч. тр. — № 1, ч. 2. — Рига. — 1974. — 110 с.
3. *Михайлов В. Е.* Способ определения скорости развития поврежденных в конструкции. Авторское свидетельство СССР. — № 962792. — Кл.Г 01. — № 3/32. Институт физико-технических проблем Севера СО АН СССР. — 1987.
4. *Белайчук А. К., Миртов К. Д., Слепечец Е. Н.* О совместных испытаниях индикаторов и образцов конструкций // Прочность, надежность и долговечность конструкций, надежность и ресурс конструкций планера ЛА / Под ред. К. Д. Миртова. Межвуз. сб. науч. тр. — № 1, ч. 2. — Рига. — 1974. — 110 с.
5. *Eeles E. G., Thurston R. C.* An exploratory evaluation of the fatigue life gauge // Eng T. — Trans Eng. Inst. Canada, 1969. — Vol. 52, № 3. — P. 12—15.
6. *Даналенко В. Н.* // Проблемы прочности. — 1981. — № 9. — С. 114—115.
7. А.с. № 1104385 СССР, кл. G 01 N 3/32/ *Ю. Г. Михайлов, Н. А. Елгаев* (СССР). — № 3320446/25-28; Заявл. 17.03.83; Опубл. 23.07.84. — Бюл. № 27. — 1 с.
8. А.с. 939996 СССР, — Бюл. № 24. — 3 с.
9. А.с. 15802118 СССР Способ контроля усталостной повреждаемости элементов конструкций. *М. В. Карускевич, Е. Е. Засимчук, А. И. Радченко, Ю. А. Лебедев.* Заявл. 10.04.89; Опубл. 30.10.89. — Бюл. № 26. — 3 с.
10. *Карускевич О. М., Игнатович С. Р., Карускевич М. В., Хижняк С. В., Якушенко О. С.* Моніторинг втоми конструкційних алюмінієвих сплавів // Вісник НАУ. — 2004. — № 1(19). — С. 88—91.

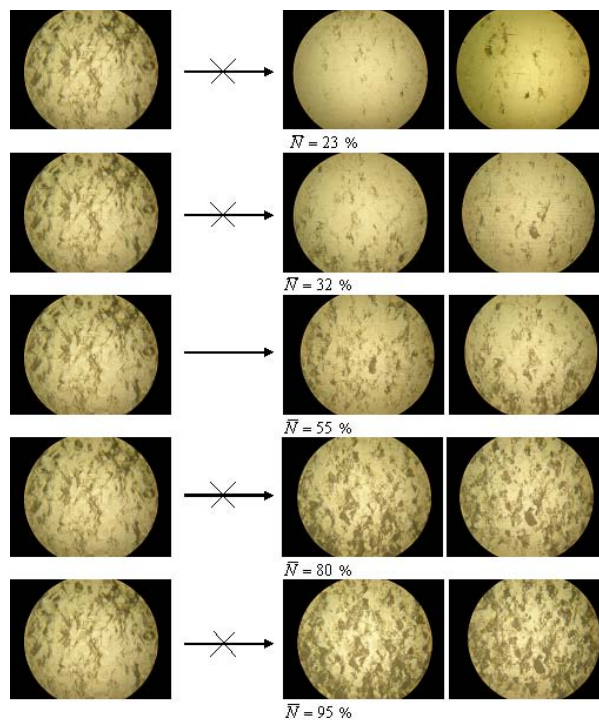


Рис. 2. Ілюстрація процедури ідентифікації деформаційного рельєфу.