

УДК 620.178.3:629.7.036.3:669.295

Двірник Я.В.¹, Єсауленко С.В.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² асп. НУ «Запорізька політехніка»

ПОСТУПОВИЙ РОЗВИТОК ВТОМНОЇ ТРІЩИНИ ТА ФОРМУВАННЯ БОРОЗЕНОК В ДЕТАЛЯХ АВІАЦІЙНИХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ ЗІ СПЛАВІВ НА ТИТАНОВІЙ ОСНОВІ

Деталі та конструкції авіаційних газотурбінних двигунів зазнають складних навантажень – високу амплітуду напруг і низьку частоту, а також високочастотні вібраційні навантаження зазвичай при досить високих напругах. У

силу специфіки умов експлуатації цих деталей, матеріал, що застосовується для їхнього виробництва, працює в умовах циклічного навантаження [1].

Систематичні дослідження деталей авіаційних двигунів, що вироблені з титанових сплавів, дозволили встановити, що найчастіше розвиток руйнування в них відбувається у області багатоциклової втоми. Саме в цій області швидкість зростання втомної тріщини не перевищує 10^{-8} м/цикл. Причина такого сценарію руйнування пов'язана з тим, що у багатьох випадках воно відбувається при частоті коливань від кількох сотень 10^2 до кількох тисяч 10^3 Герц.

Перехід у область зростання тріщини зі швидкостями, що суттєво перевищують 10^{-8} м/цикл, супроводжується формуванням типового рельєфу зламу у вигляді втомних борозенок. Формування борозенок зумовлює принципово іншу морфологію рельєфу зламу. Це може бути використано для однозначного трактування процесу втомного руйнування за частотними характеристиками та рівнем напруги.

Реалізований механізм втомного руйнування визначається лише властивостями матеріалу і видом його напруженого стану перед вершиною тріщини. Тому до одного й того ж виду рельєфу зламу, що відображає певний механізм руйнування, можна віднести різні поєднання умов та параметрів циклу навантаження деталей.

За морфологією рельєфу зламу можна однозначно встановити, в якій області втоми реалізовано руйнування і визначити тривалість процесу зростання тріщини. Наприклад, можна визначити максимальну швидкість зростання тріщини 10^{-8} м/цикл для всієї області, де реалізовано псевдоборозенчастий рельєф. Окрім того, аналіз морфологічних особливостей рельєфу зламу дозволяє здійснити кількісну оцінку рівня напружень, за яких відбувався процес розвитку втомної тріщини в матеріалі деталі [2].

Поступовий розвиток втомної тріщини в металах супроводжується послідовним ускладненням процесів її еволюції у вершині. Це пов'язано з певною послідовністю дискретних переходів внаслідок зміни домінуючих механізмів руйнування. Спочатку має місце розвиток руйнування з формуванням елементів рельєфу, що відповідають процесам ковзання. Цей етап характеризується типовими елементами псевдоборозенчастого рельєфу або стрічковості. Далі, при переході до другої стадії зростання тріщин, відбувається реалізація процесу формування втомних борозенок.

Поява втомних борозенок у сплавах на різній основі свідчить про універсальність закону послідовної зміни механізмів руйнування. Це особливо помітно при переході до другої стадії, коли може бути реалізований процес сталого підростання тріщини з формуванням регулярного рельєфу.

Перехід до формування втомних борозенок пов'язаний з реалізацією більш складного процесу ротаційної нестійкості матеріалу до деформації та

руйнування. Обумовленість початку ротаційної нестійкості пов'язана із зростаючим масштабним рівнем локалізації деформацій, руйнуванням матеріалу та досягненням певної величини приросту тріщини у циклі навантаження [3].

Висновки. Дослідження поступового розвитку втомних тріщин та формування борозенок у деталях авіаційних газотурбінних двигунів, виготовлених зі сплавів на титановій основі, дозволяє не лише глибше зрозуміти механізми руйнування, але й застосувати ці знання для підвищення надійності та довговічності відповідальних деталей. Встановлення закономірностей між морфологією зламів та умовами експлуатації відкриває перспективи для розробки ефективних методів діагностики та прогнозування ресурсу деталей авіаційних двигунів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Cyclic behavior of ultrafine-grain titanium produced by severe plastic deformation / A. Y. Vinogradov, V. V. Stolyarov, S. Hashimoto, R. Z. Valiev // *Materials Science Engineering A*. – 2001. – Vol. 318. – P. 163-173.
2. Shaniavski A. A. Fatigue crack growth in aeroengine compressor disks made of titanium alloys / A. A. Shaniavski, A. I. Losev // *Fatigue Engng. Mater. Struct.* – 1999. – Vol. 22. – P. 949–966.
3. Au J. J. Correlation Between Fatigue Crack Growth Rate and Fatigue Striation Spacing / J. J. Au, J. S. Ke // *Fractography and Materials Science*. – ASTM International, 1981. – P. 202–235.