

УДК 621.438.026.2

Двірник Я. В.
канд. техн. наук, доцент, НУ «Запорізька політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна

Есауленко С. В.
студ. гр. А-134.13 НУ «Запорізька політехніка»
м. Запоріжжя, Україна

МЕХАНІЗМИ ВИНИКНЕННЯ ТА РОЗВИТКУ ВТОМНИХ ПОШКОДЖЕНЬ НА ХВОСТОВИКАХ РОБОЧИХ ЛОПАТОК КОМПРЕСОРА ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Титанові сплави широко застосовуються в авіаційних двигунах завдяки їх високій питомій міцності, корозійній стійкості та жароміцності. Однак, ці матеріали схильні до втомного руйнування при тривалій експлуатації, що становить серйозну загрозу безпеці польотів. Розуміння механізмів втомного пошкодження титанових деталей є критично важливим для забезпечення надійності та довговічності авіаційної техніки.

Явище зменшення міцності деталей машин під дією циклічного навантаження було виявлене ще в середині XIX століття. Це послужило підставою створення нового напрямку науки про міцність матеріалів і конструкцій – втоми матеріалів [1].

Втомне руйнування відбувається при циклічному навантаженні тіла, температурному, силовому або вібраційному, в результаті накопичення в ньому незворотних ушкоджень, що призводять до утворення і розвитку тріщини.

Механізми втомного руйнування

Процеси втомного руйнування титанових деталей авіадвигунів можна умовно розділити на три основні етапи: зародження втомних тріщин; поширення втомних тріщин; руйнування при досягненні критичного розміру тріщини.

Інкубаційний період розвитку руйнування характеризується скупченням дефектів, зародженням дислокацій, їх рухом, виникненням дислокаційних петель після проходження дислокацій через потенційні силові бар'єри решітки, що створюються силами внутрішньої взаємодії між атомами, молекулами, зернами тощо, виникненням ліній ковзання, об'єднанням цих ліній у смуги ковзання

Пленарне засідання

і, нарешті, виникненням певної структури тіла з переважною орієнтацією зерен і зрушеннями по площадках ковзання [2].

При достатній кількості дислокацій у центрі їх скупчення утворюється мікро-дефект, у який «звалюються» всі дислокації скупчення. Цей механізм пояснює вибуховий характер виникнення мікродефектів типу субмікроскопічних і мікроскопічних тріщин відразу значних розмірів у порівнянні з розмірами атомів.

Як правило, пружне циклічне деформування тіла призводить до зародження і зростання тріщин без утворення скільки-небудь значної зони пластичних деформацій навколо вершини тріщини, тобто втомне руйнування тіл відбувається без спотворення їх форми і зміни розмірів і носить крихкий характер. Воно зумовлено структурною неоднорідністю тіла, що полягає у випадковому розподілі розмірів зерен, напрямків їх кристалографічних площин, у наявності різних фаз, включень, дефектів кристалічної решітки. У зернах, несприятливо орієнтованих до зовнішнього навантаження, виникають лінії зсуву в результаті руху та об'єднання дислокацій по певних кристалографічних площинах вже на ранній стадії [3].

Зокрема втомним руйнування піддаються хвостовики робочих лопаток компресору авіаційних двигунів. Замкові з'єднання лопаток компресора типу ластівчиного хвоста піддаються дії статичного розтягування від відцентрових зусиль, статичного вигину від газового навантаження та змінного вигину головним чином від коливань лопатки за основним тоном. Напруженість замкового з'єднання залежить від нерівномірності розподілу напруг по ширині хвостовика. Починається руйнування найчастіше на тих ділянках робочої грані хвостовика, де концентрація напруг найбільш несприятливо поєднується із загальною нерівномірністю розподілу напруг. Крім того, у місці контакту робочої грані з диском діє корозія тертя, що руйнує поверхневі шари металу.

Методи підвищення втомної довговічності

Для запобігання втомному руйнуванню титанових деталей авіадвигунів застосовуються такі підходи [4, 5]: вдосконалення конструкції; поверхнева обробка; термічна обробка; легування та мікролегування; комбіновані методи.

Систематизація знань про механізми втомного пошкодження титанових деталей авіаційних двигунів дозволяє комплексно підходити до вирішення проблеми забезпечення їх надійності та довговічності. Розуміння впливу різних факторів на процеси зародження, поширення та руйнування за втомою є ключовим для

Пленарне засідання

розробки ефективних інженерних рішень, спрямованих на підвищення безпеки польотів.

Список літератури

1. П. В. Ясній. Пластично деформовані матеріали: втома і тріщиноотривкість. – Львів : Світ, 1998. – 224 с.
2. Опір матеріалів з основами теорії пружності й пластичності. В. Г. Піскунов, В. С. Сіпетов, В. Д. Шевченко, Ю. М. Федоренко. – Вища школа, 1995. – 271 с.
3. С. С. Дяченко. Фізичні основи міцності та пластичності металів : навч. посібник. – Харків : Видавництво ХНАДУ, 2003. – 226 с.
4. Ritchie, R.O. (1999). Mechanisms of fatigue-crack propagation in ductile and brittle solids. International Journal of Fracture, 100(1), 55–83.
5. Dowling, N.E. (2013). Mechanical Behavior of Materials: Engineering Methods for Deformation, Fracture, and Fatigue. Pearson. – 912 с.