

УДК 629.3.018.7.:62-253.5

А.В.Маткова, С.М.Матвійчук

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ НА РУЙНУВАННЯ ЛОПАТОК ГТД

Розглянуто умови роботи лопаток ГТД, їх роль у двигуні, причини руйнування лопаток турбін авіадвигунів. Проаналізовано шляхи вирішення проблеми довговічності робочих лопаток газових турбін.

Україна є державою з розвинутим транспортним і енергетичним газотурбобудуванням. Необхідність створення конкурентоздатних на світовому ринку газотурбінних двигунів (ГТД) нового покоління вимагає реалізації високих параметрів термодинамічного циклу при високих надійності і ресурсі. Незважаючи на прогрес у розвитку авіаційної техніки та відпрацьований майже до досконалості технічний процес виробництва газотурбінних авіадвигунів, у такого роду конструкціях з ряду причин виникають дефекти різного виду й розмірів, що призводять до зниження їхньої працездатності й довговічності або до аварійних ситуацій (як видно з світових реалій).

Компресори та турбіни авіаційних ГТД - основні вузли, які визначають характеристики двигунів (газодинамічні, геометричні, вагові, економічності, технологічності, надійності та ін.) Компресори та турбіни - це лопаткові машини, елементами яких є лопатки роторної групи, які ще називають робочими лопатками.

Основною тенденцією розвитку авіабудування є безперервне збільшення температури газів перед турбіною, що веде до подальшого ускладнення конструкції, збільшенню термомеханічної напруженості лопаток газових турбін, надійність яких дуже впливає на надійність і ресурс газотурбінних двигунів в цілому і безпеку польотів літаків.

Конструктивні та технологічні особливості робочих лопаток мають принциповий вплив на газодинамічні характеристики двигунів [1] і надійність їх роботи.

Міцнісні [2] характеристики робочих лопаток також впливають на характеристики надійності, тому що обрив робочих лопаток може привести до нелокалізованого руйнування двигуна і до катастрофи. Нелокалізована відмова через обрив лопаток відносяться до такого типу відмов, за якими двигун повинен задовольняти міжнародним нормам: відірвані частини лопаток повинні залишатися всередині корпусу двигуна. Однак необхідно враховувати, що обриви лопаток можуть ініціювати інші важкі відмови: руйнування диска, пожежу тощо. Робочі лопатки турбін працюють при високих температурах, зазнають великих статичних, вібраційних і температурних напружень. Вони піддаються одночасно корозійній і ерозійній дії газів.

Робочі лопатки турбіни - одні з найбільш відповідальних деталей в авіадвигуні. На них діють високі температури газового потоку, відцентрові і газодинамічні сили, що викликають в лопатках розтяг, вигин, крутіння і коливання лопаток (знакозмінні навантаження). Високі напруги, температура, нестабільність режимів нагріву, можливість виникнення резонансних коливань, порівняно швидкі пуски та зупинки турбіни, нерівномірність температурного поля від камери згоряння робить робочі лопатки одними з найбільш навантажених деталей турбіни.

Щоб виключити надходження в експлуатацію лопаток авіадвигунів з неприпустимими дефектами, необхідна розробка і впровадження високоефективних методів підвищення міцності, корозійної стійкості сплавів, захисних покриттів і виробів, що є найважливішим у вирішенні проблеми довговічності газових турбін.

Пошкоджуваність і надійна робота робочих лопаток турбін в значною мірою залежить від роботи всіх елементів гарячої частини двигуна. Збільшення ресурсу та підвищення робочих параметрів в турбінах ГТД супроводжується інтенсифікацією процесів пошкодження робочих лопаток під дією статичних і вібраційних навантажень, високих температур, циклічних навантажень, що викликаються дією силових факторів, термічних напруг, корозійного і ерозійного впливу газового потоку. Більшість руйнувань робочих лопаток турбін, як і робочих лопаток компресорів, має втомний характер і пов'язане з змінними напруженнями.

У ряді випадків пошкодження лопаток турбін (особливо перших ступенів) можуть бути пояснені особливостями розподілу температури газу на виході з камери згоряння (рис.1).

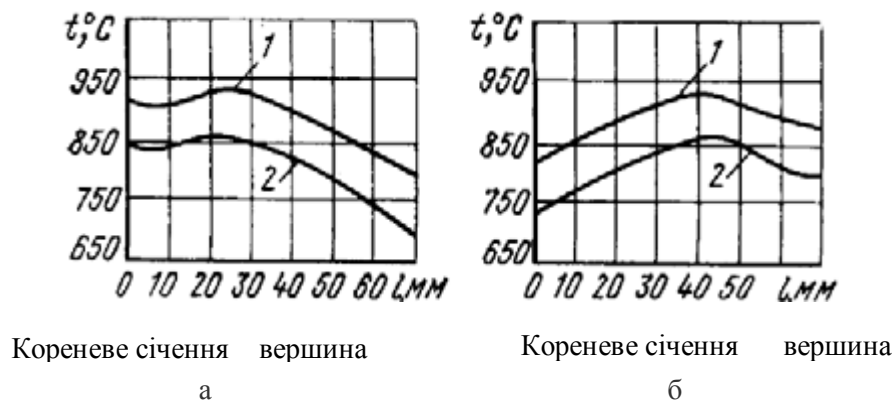


Рис.1. Зміна температури газу на виході з камери згоряння по довжині соплових та робочих лопаток турбіни в залежності від місця підведення вторинного повітря:
 а-при рівномірному розташуванні отворів;
 б-при нерівномірному розташуванні отворів
 (з більшою частотою в області, близької до осі двигуна);
 (1-температура газу перед сопловим вінцем; 2-температура газу перед робочими лопатками).

Пошкодження лопаток турбін пов'язана з циклічним впливом теплового потоку і спричинених ним термічних напружень, а також дією відцентрових і газових сил і можливістю перегріву [3]. При зміні режимів роботи двигуна і теплового поля виникають термомеханічні напруження в найбільш навантажених перерізах лопатки, що призводять до термовтомного і малоциклового руйнувань матеріалу.

Згідно [4] втоми руйнування лопаток турбін становлять до 33%, руйнування від мало циклової втоми близько 9%, руйнування від поєднання мало циклової втоми, вібраційних напружень - близько 42% і руйнування, пов'язані зі зниженням тривалої міцності - 16%. Таким чином, у загальному випадку, причинами руйнування лопаток турбін можуть бути:

- 1) зниження межі витривалості через утворення мікротріщин в поверхневому шарі, пошкодженому нерегламентованою механічною обробкою;
- 2) перегрів через нерівномірне температурне поле перед турбіною;
- 3) порушення умов експлуатації;
- 4) недостатня ефективність системи охолодження;
- 5) нерівномірність розподілу навантаження по зубцях хвостовика;
- 6) недосконалість процесів штампування, термообробки або лиття лопаток і т. п.

Руйнування лопаток турбін з технологічних причин становлять [4] близько 25%, по недосконалості конструкції близько 23%, інші 52% - припадають на несприятливе поєднання конструктивних і технологічних чинників.

Значний вплив на пошкодження робочих лопаток має газова корозія, зумовлена наявністю в продуктах згоряння хімічно активних сполук. Наявність у паливі хімічноактивних оксидів особливо сірки призводить до утворення дефектів лопаток турбін у вигляді сульфідної корозії. Проблема окислення і корозії в ряді випадків не дозволяє використовувати повністю ресурс роботи лопатки. Навіть якщо середня температура охолоджуваної лопатки може бути досить низька, щоб забезпечити задовільну тривалу міцність, то внаслідок нерівномірності температури в перерізі на деяких ділянках лопатки (зазвичай на вхідній і вихідній кромках) температура може перевищувати рівень, що допускається за умовами окислення і корозії. Проблема можна вирішити шляхом змін в системі внутрішнього охолодження та застосуванням захисного покриття, що забезпечить роботу лопатки.

Відновлювальний ремонт робочих лопаток газових турбін з жароміцних сплавів є складним і трудомістким процесом, який включає в себе: металографічні дослідження матеріалу, дослідження механічних властивостей, видалення старого покриття, усунення поверхневих дефектів, оброблення грубих забоїв і тріщин з подальшим заповненням матеріалу

лопатки за різними технологіями та обов'язковою термовідновлюваною обробкою. Крім того, повнота видалення попереднього покриття досягається електрохімічним методом. Ремонтом досягається не тільки виявлення дефектів і відновлення геометрії лопатки, а й відновлення основної структури матеріалу, яка порушується при тривалій експлуатації, наносяться нові жаростійкі покриття.

Таким чином, основним напрямком у вирішенні проблеми довговічності газових турбін авіадвигунів є створення і застосування якісно нових технологій. Лопатки газових турбін сучасних двигунів не можуть експлуатуватися протягом заданого ресурсу без надійних високотемпературних покриттів. Підвищення працездатності жароміцних сплавів шляхом застосування ефективних покриттів в умовах впливу швидкісного газового потоку і високих термомеханічних навантажень є одним з основних напрямів поліпшення експлуатаційних характеристик авіаційних газотурбінних двигунів. У зв'язку з гостротою проблеми, в даний час велика увага приділяється розробці нових жароміцних сплавів, методів отримання монокристалічних структур для сплавів лопаток, методів захисту від газової корозії.

Враховуючи важкі умови роботи лопаток ГТД та їх роль в двигуні (надійність і ресурс лопаток турбін зазвичай визначають надійність і ресурс двигуна), до конструктивних форм робочих лопаток турбін, до способу їх кріплення в диску, до їх матеріалів, технології виготовлення і контролю в експлуатації ставлять особливо жорсткі вимоги. Конструкція, матеріал, технологія виготовлення лопаток повинні забезпечувати високі аеродинамічні якості профільної частини, високі міцність і вібростійкість. Бажаною і необхідною є мала маса профільної і замкової частини, низька вартість і пристосованість до серійного виробництва.

1. Казанджан П.К., Тихонов Н.Д. Теория авиационных двигателей: Теория лопаточных машин .- М.: Машиностроение, 1995.-320 с.
2. Лозицкий Л.П. и др. Конструкция и прочность авиационных газотурбинных двигателей.- М.: Воздушный транспорт, 1992.-535 с.
3. Петухов А.Н. Сопrotивление усталости деталей ГТД.-М.: Машиностроение, 1993.-240 с.
4. Скубачевский Г.С. Авиационные газотурбинные двигатели. Конструкция и расчет деталей.-М.: Машиностроение, 1981.-550 с.

