

К 263.220.628 + 0551.410-082.230.4
 УДК 621.793:621.891

сплав нікелевий жаростійкий
 знос сплава, знос газотурбінних
 лопаток ГТД

А.П. Кудрін, здобувач

(Національний авіаційний університет)

В.Ф. Лабунець, канд. техн. наук, проф.

(Національний авіаційний університет)

В.О. Кучеренко, канд. техн. наук, доц.

(Національний авіаційний університет)

В.Д. Хишко, канд. техн. наук, доц.

(Національний авіаційний університет)

ГАЗОАБРАЗИВНЕ ЗНОШУВАННЯ ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ

Наведено методику і установку для дослідження газозабразивного зношування жароміцних сплавів на основі нікелю. Визначено процеси, які розвиваються на робочих поверхнях сплавів. Запропоновано рекомендації з відновлення зношених лопаток газотурбінних двигунів із жароміцних нікелевих сплавів.

Для сучасного стану цивільної авіації України характерним є швидке старіння авіаційного парку. Кризові явища торкнулись і авіаційних заводів, які ремонтують літаки і авіаційні двигуни. Паралельно з цим різко зменшилося виробництво запасних частин на підприємствах як України, так і країн СНД при одночасному зростанні закупівельних цін. Усі ці чинники створили труднощі проведення ремонтних робіт і заміни запасними частинами деталей, які втратили свою працездатність. Особливо це стосується деталей, ресурс яких визначається поверхневим руйнуванням у результаті зношування. До таких деталей відносяться лопатки компресора і турбіни авіаційних двигунів, які зазнають у процесі експлуатації газозабразивного (ерозійного) зношування.

Однією із причин руйнування лопаток компресора є поверхнева ерозія пера і фретинг-корозія хвостовика лопатки [1]. Лопатки, пошкоджені в процесі ерозійного зношування, дефектують, щоб не допустити руйнування від утомленості. Витрати на ремонт і технічне обслуговування газотурбінних двигунів (ГТД) у зв'язку із зносом деталей перевищують вартість окремих блоків і вузлів у три-п'ять разів.

Особливо помітно газозабразивне зношування проявляється на деталях газоповітряного тракту вертолітних ГТД і лопатках несучих гвинтів вертольотів, які експлуатуються на ґрунтових посадочних площадках і в районах великої запиленості. Із деталей газоповітряного тракту двигунів найбільшому зносу під ударною дією абразивних частинок зазнають робочі і направляючі лопатки компресора. Великий знос спостерігається на кромках лопаток і по поверхні корита [2]. Знос призводить до появи тріщин і руйнування лопаток від утомленості.

Основними експлуатаційними чинниками, які ініціюють розвиток процесів газозабразивного зношування деталей газоповітряного тракту ГТД, є:

- зовнішні механічні дії (питоме навантаження, швидкість руху абразивних часток, їх розмір і геометрична форма, вібрації та ін.);
- газовий струмінь;
- температура.

У процесі експлуатації зовнішні механічні чинники змінюються в дуже широкому діапазоні. Залежно від режиму роботи двигуна, температури, вологості і складу зовнішнього середовища змінюється взаємодія газового потоку з лопатками ГТД, яку буде підсилювати агресивність газового потоку. Незважаючи на те, що концентрація окремих агресивних компонентів у газовому потоці незначна, але в зв'язку з великими витратами повітря через двигун, температурним діянням реакція взаємодії агресивних агентів із поверхнею під час тертя аналогічна дії великих концентрацій в умовах спокою [3].

Зносостійкість металів, сплавів та покриттів у разі газозабразивного зношування вивчалась у роботах [2–6], але даних про зносостійкість матеріалів на основі нікелю в газоповітряному

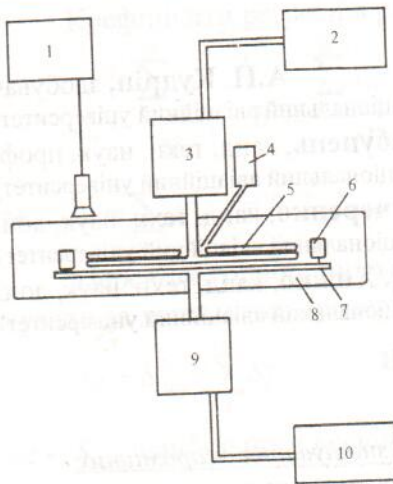


Рис. 1. Принципіальна схема установки для випробовування матеріалів в умовах газоабразивного зношування:
1 – строботаксметр; 2 – трансформатор; 3 – електродвигун змінного струму; 4 – дозатор; 5 – прискорювач; 6 – зразок; 7 – диск; 8 – камера; 9 – двигун постійного струму; 10 – джерело живлення

ніж 0,15 %. Дослідні та еталонні зразки розміром 20x14x4 мали шорсткість робочої поверхні $R_z = 0,16-0,32$ мкм. Еталонні зразки виготовляли із сталі Ст.45, яка після відпалу мала твердість 185-195 HV. Знос зразків визначали ваговим методом.

Дослідження сплавів до і після випробовувань проводили з використанням сучасних методів металографічного аналізу (оптичний мікроскоп ММР-2Р, мікротвердомір ПМТ-5) і растрового електронного мікроскопа-мікроаналізатора "Camscan-4DV". Розподіл взаємодії за лінією сканування і вивчення зон локалізації структурних складових, а також кількісний хімічний аналіз здійснювали методом якісного і наступного кількісного рентгенівського дисперсного енергетичного аналізу за допомогою системи "Link-860".

Випробовування проводили на кутах атаки 15, 30, 60 та 90 град. При частоті обертання ротора 3 000 або 6 000 об/хв забезпечується швидкість потоку абразиву 38 або 76 м/с. Розмір абразивних частинок змінювався від 300 до 900 мкм. Деякі результати цих досліджень наведено на рис. 2 та 3.

Як видно з рис. 2, з збільшенням розміру абразивних частинок величина зносу досліджених матеріалів зростає прямо пропорційно при швидкості руху цих частинок 38 та 76 м/с і мінімальний знос спостерігається при швидкості 38 м/с для всіх матеріалів. У цих умо-

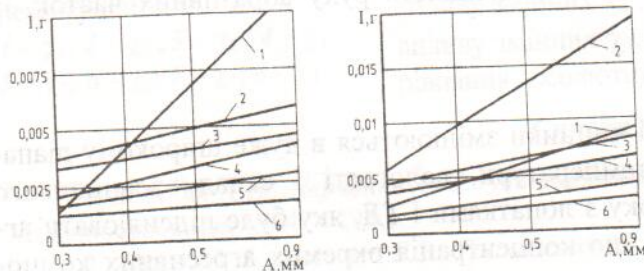


Рис. 2. Залежність зносу від розміру частинок:
а – $V = 38$ м/с; б – $V = 76$ м/с;
1 – сталь Ст.45 загортована; 2 – сталь X18N10T;
3 – И-125; 4 – ЖС6К; 5 – ЭИ-893; 6 – ЭП-367

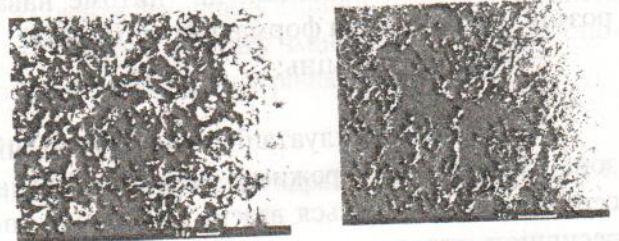


Рис. 3. Електронно-растрові фотографії робочих поверхонь сплаву ЭП-367 (а) і Ст.45 (б) після випробовування в умовах: $V = 38$ м/с; $\delta = 900$ мкм

вах випробовувань матеріал ЕП-367 є максимально зносостійким. При швидкості абразивних частинок 38 м/с загартована сталь Ст.45 при розмірах частинок 300 мкм перевищує зносостійкість всіх досліджуваних матеріалів крім ЕП-367 і становить 0,0012 г за цикл, але зі збільшенням розміру частинок знос катастрофічно зростає і при $\delta = 900$ мкм він дорівнює 0,015 г, що на порядок більше від зносу при $\delta = 300$ мкм.

При швидкості випробовувань 76 м/с максимальний знос спостерігається у сталі Х18Н10Т як при 300, так і при 900 мкм величини абразивних частинок. Зносостійкість інших досліджених матеріалів займає проміжний стан.

Металографічний і електронно-мікроскопічний аналіз (рис. 3) зношених зразків із досліджених матеріалів свідчить про великий вплив структури матеріалу і його фізико-механічних властивостей на інтенсивність газоабразивного зношування залежно від величини абразивних частинок, що знаходяться в газовому струмені і швидкості їх взаємодії з матеріалом.

При розмірах частинок 300–400 мкм і швидкостях їх руху 38 і 76 м/с кінетична енергія передається дослідженим сплавам, яка переходить у внутрішню енергію цих сплавів і залежно від структури та властивостей сплаву релаксується в ньому. Залежно від твердості сплавів процеси пластичного деформування при цьому будуть розвиватися з різною інтенсивністю. Із збільшенням розмірів абразивних частинок поряд із процесами пластичного деформування будуть активізуватися процеси схоплення через зростання кінетичної енергії цих частинок, а також фактичної площі взаємодії абразивних частинок і сплавів.

Якщо при малих розмірах абразивних частинок процеси, що розвиваються на робочих поверхнях сплавів, більш схильні до втомлювально-окислювальних за рахунок взаємодії газоабразивного струменя з активізованою поверхнею сплаву, то у разі збільшення розмірів частинок до 900 мкм імовірність контактування ювенільних поверхонь зростає, що обумовлює розвиток процесів схоплювання. Газоабразивне зношування починається часто з мікродряпин, що виникають під час схоплювання поверхонь тертя [3].

У пластичних матеріалах в умовах газоабразивного (ерозійного) зношування процеси розвиваються переважно з причини віддалення мікростружки і в меншому ступені через викришування кусочків матеріалу завдяки інтенсивній пластичній деформації (явищах поверхневої втомлюваності) [7]. Під час зростання твердості більш вагомими будуть процеси крихкого руйнування поверхневих шарів.

Отже, для роботи деталей в умовах газоабразивного зношування рекомендується сплав ЕП-367 як найбільш зносостійкий із досліджених сплавів, що володіє великим опором до схоплювання в газовому струмені.

Список літератури

1. Богуслаев В.А., Жуков В.Б., Яценко В.К. Прочность деталей ГТД: Монография. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2001. – 249 с.
2. Крылов К.А., Хаймзон М.Е. Долговечность узлов трения самолетов. – М.: Транспорт, 1976. – 184 с.
3. Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Бершадский Л.И., Караулов А.К. Надежность и долговечность машин. – К.: Техніка, 1975. – 408 с.
4. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
5. Гаркунов Д.Н., Поляков А.А. Повышение износостойкости деталей конструкций самолетов. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с.
6. Эванс А. Эрозия. – М.: Мир, 1982. – 464 с.
7. Кулу П.А., Буссель О.Д., Пушн В.С. Эрозионная стойкость пористого проницаемого железа // Порошковая металлургия. – 1974. – №7. – С. 68–72.

Стаття надійшла до редакції 02.12.02.