УДК 621.891

Циганов В.В., докт. техн. наук, доцент
Сахнюк Н.В., канд. техн. наук, доцент
Кривих Ю. І., старший викладач
Лазарєва О. О., старший викладач
Національний університет «Запорізька політехніка», juliya.krivikh@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗНОШУВАННЯ БАНДАЖНИХ ПОЛИЦЬ РОБОЧИХ ЛОПАТОК ГТД

Розвиток газотурбінних двигунів, як теплових машин, йде шляхом підвищення температури та тиску газу перед турбіною. Основною перешкодою підвищення цих параметрів є недостатня міцність робочих лопаток турбін, зокрема знос їх контактних поверхонь, за умов високотемпературних навантажень [1].

При цьому виникає комбінований вплив високих температур, властивостей газового середовища та взаємного переміщення деталей з наявністю вібрацій, у тому числі ударного навантаження. Без урахування всього комплексу факторів навантаження спотворюються результати досліджень та картина процесу зношування.

Відповідно [2, 3], при роботі двигуна відбувається істотне розсіювання по колу ротора умов навантаження будь-якої пари полиць по тиску в зоні контакту, амплітуді прослизання, частоті коливань. Тому в одному робочому колесі через неконтрольовані умови навантаження виникають непередбачувані зони підвищеного та зниженого зносу.

Відомо, що зношування жароміцних сплавів [4-5] так м'яких сталей може відбуватися за декількома різними механізмами. Зміна того чи іншого фактора навантаження та поява нового призводить до зміни механізму зношування та його фізичної картини.

Додаткове ударне навантаженням може призвести до власних контактних коливань. Це, у свою чергу, може призвести до зниження сили тертя [6].

Окремі автори [6, 7] проводили дослідження при поєднанні деяких факторів навантаження та дійшли висновків про неможливість охопити закономірності тертя в умовах складного навантаження в рамках єдиної теорії.

Тому були розроблені методики та установки для проведення прискорених досліджень матеріалів на зносостійкість за різних умов навантаження [8]. Сутність методики досліджень полягає у визначенні закономірностей зношування трибологічних пар, як в умовах близьких до експлуатаційних, так і при роздільному впливі кожного з параметрів навантаженості, що дає можливість виявити вплив кожного з них.

Вибір матеріалів для досліджень обумовлений, перш за все, частотою застосування їх у трибосполученнях гарячої частини газотурбінних енергетичних установок і авіаційних двигунів. Як правило, для таких сполучень широко застосовуються жароміцні сплави типу ХН77ТЮР, а також зносостійкі композиційні сплави на кобальтовій основі типу ХТН-61.

Дослідження щодо визначення ступеня впливу умов динамічного навантаження на інтенсивність зношування досліджуваних сплавів проводились при однокомпонентному навантаженні, двокомпонентному і трикомпонентному. Випробування, проведені в умовах двокомпонентного та трикомпонентного навантаження, відбувалися з розривом контакту, а, отже, контактна взаємодія зразків мала ударний характер. У разі змінного нормального навантаження розрив контакту веде до зміни його значення від нуля за відсутності контактування до дуже великих значень на момент зіткнення.

Як випливає з отриманих результатів, представлених на рис. 1, збільшення багатокомпонентності динамічного навантаження в контакті трибоспряження призводить до збільшення інтенсивності зношування металів, що визначається відношенням обсягу зношеного металу до шляху тертя. У випадку двокомпонентного навантаження в умовах тертя ковзання, інтенсивність зношування зразків зі сплаву ХН77ТЮР збільшується в 1,2

рази. У випадку трикомпонентного навантаження, інтенсивність зношування збільшується ще більше – для сплаву ХН77ТЮР в 1,4 рази, для сплаву ХТН-61 в 2,5.

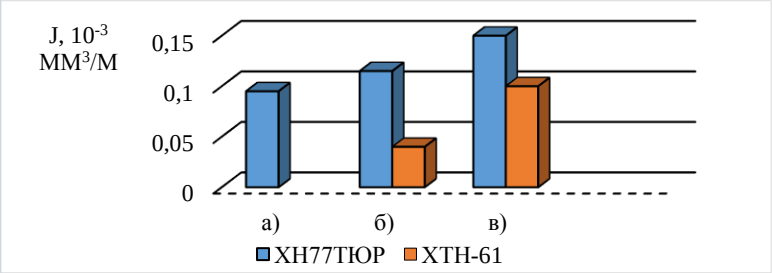

Рис 1 – діаграма зміни інтенсивності зношування жароміцних сплавів при:
а) однокомпонентному, б) двокомпонентному, в) трикомпонентному навантаженні

Враховуючи отримані перспективні показники зносостійкості сплаву ХТН-61, при складному навантаженні дозволяють ефективно використовувати його для напайок на бандажні полиці лопаток ГТД. Складний хімічний склад сплаву ХТН-61 передбачає всебічне вивчення його зносостійкості за умов найбільш наближених до експлуатаційних.

Складна взаємодія деталей трибосполучень у зоні контакту має враховуватися при побудові моделей контактування та прогнозуванні поверхневої міцності матеріалів при динамічних навантаженнях, а умови проведення випробувань повинні бути якомога ближчими до реальних умов експлуатації. Визначення закономірностей та розробка умов формування зносостійкого поверхневого шару деталей трибосполучень можливе на основі аналізу величини зносу та стану поверхні з урахуванням реального виду навантаження. Це дасть можливість розробити рекомендації щодо забезпечення зносостійкого поверхневого шару контактуючих деталей.

Крім того, проведення прискорених випробувань, що програмуються, дозволить вивчити стан зразків у процесі циклу навантаження, наближеного до циклу роботи двигуна в льотному режимі. Фізичне моделювання процесу та аналіз результатів експериментів дозволить дати технологічні рекомендації щодо рівномірного розподілу зносу бандажних полиць робочих лопаток, що згодом стане підставою більш точного прогнозування роботи лопаток у реальних умовах.

Список посилань

1. Меркулов В.М. О выборе способа бандажирования рабочих лопаток турбин ГТД / В.М. Меркулов, Ф.Д. Ильющенко // Вестник двигателестроения. – 2005. – №2. – С. 114-117.

2. Муравченко Ф.М. Актуальные проблемы динамики, прочности и надежности авиадвигателей / Ф.М. Муравченко // Проблемы прочности. – 2008. – №5. – С. 7-14.

3. Колебания бандажированного рабочего колеса ГТД / Ю.С. Воробьев, К.Ю. Дьяконенко, В.Н. Романенко и др. // Авиационно-космическая техника и технология. – 2006. – №9. – С. 87-90.

4. Wang, Dao-Juan. Effect of microstructure and properties on the nigh temperature wear characteristics of 3Cr2W8V (H21) steel / Dao-Juan Wang, De-Lin Sku, Xin-Cheng Gua. – Wear. – 1987. – P. 101-117.

5. Yurov V.M. The impact of the environment on the contact potential difference of metal machine parts / Yurov V.M., Oleshko V.S. // Eurasian Physical Technical Journal. – 2019. – Vol. 16, No.1 (31). – P. 99 – 108.

6. Eremin E.N. Wear resistance and tribological properties of high entropy coatings CrNiTiZrCu / Eremin E.N., Yurov V.M., Guchenko S.A // Eurasian Physical Technical Journal. – 2020. – No.1. – P. 13 – 18.

7. Рыжов, Э.В. Контактирование твердых тел при статических и динамических нагрузках / Э.В.Рыжов.- М.: Машиностроение, 1988.- 250 с.

8. Tsyganov V.V., Sheyko S. Features of engineering the wear-resistant surface of parts with the multicomponent dynamic load / Tsyganov V.V., Sheyko S. // Wear. – 2022. – P. 494-495, 204255.