

УДК 621.438:620.193/.199:621.793.7

Вишнепольский С.В.¹, Бондарев А.А.²

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

² асп. НУ «Запорізька політехніка»

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНІЗМІВ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Складнопрофільні деталі в умовах експлуатації піддаються високим механічним, термічним та динамічним навантаженням. Через це вони швидко зношуються, що призводить до втрати їх ефективності або до виходу з ладу. Особливо критично це для механізмів подвійного призначення, які мають функціонувати безвідмовно навіть в екстремальних умовах.

На прикладі найбільш поширених та складних механізмів – газотурбінних двигунів (ГТД), застосування яких поширюється як на цивільний транспорт, так і на військовий (зокрема ракетне озброєння). У статті більш детально розглядаються методи підвищення зносостійкості таких деталей як сопловий апарат (СА). Подаються випадки процесів зношування, оцінені перспективні методи зміцнення та захисту поверхонь. Наведені приклади експериментальних досліджень, а також перспективи розвитку методів мінімізації негативного впливу факторів, що спричиняють втрату ефективності механізмів.

Сопловий апарат зазнає дії високотемпературного, ерозійного та корозійного зношування. Його місцерозташування – одразу після камери згоряння (КЗ) – визначає напряму, скільки часу турбіна зберігатиме геометричні та механічні властивості, а також буде спроможна видавати бажаний результат

зі швидкості та тиску гарячого потоку (до 1500 °C на вході в СА). Зважаючи на складну просторову форму, високі вимоги до аеродинаміки та надійності, забезпечення високої зносостійкості є критичним завданням для вирішення при проектуванні та виробництві.

Основа будь-якого СА складається з напрямних лопаток, що мають профіль різного ступеню кривизни, розташованих у кільцевому корпусі – зовнішньому та внутрішньому, які утворюють тракт. Саме він формує потік гарячих газів на виході з КЗ та визначає ефективність турбіни. Основні конструктивні особливості:

- 1) може бути виконаний як суцільно відлитим або у складі більшої складальної одиниці, до якої входить у вигляді лопаток або секторів лопаток;
- 2) складний аеродинамічний профіль лопаток та трактові поверхні;
- 3) тонкостінна геометрія. Найтонший елемент конструкції (окрім лопаток) може сягати 1.2 мм;
- 4) високотемпературне середовище (до 1500 °C);
- 5) внутрішня система охолодження (переважно повітряна);
- 6) робота у циклічному режимі навантажень (термодари).

У військовому застосуванні характерні форсажні режими та екстремальні (циклічні температурні та механічні) умови на відносно короткий термін, у той час як цивільні двигуни працюють у триваліших режимах, але з постійною високою інтенсивністю.

На сьогодні існує декілька методів, що значно підвищують спроможності конструкції та геометричних властивостей соплових апаратів. Основні з них:

- 1) підбір матеріалу для виготовлення, а саме застосування жароміцних та жаростійких сплавів типу Inconel 738 та 792, Udimet 500, René 80, René N5 – нікелеві суперсплави з високою термостійкістю або сплави типу ЖС та ВХ, що мають схожі фізико-хімічні характеристики та гарні ливарні властивості;

- 2) проектування конструкції та її розрахунок за допомогою програм ANSYS та Abaqus, що дозволяє змоделювати напружено-деформований стан соплових лопаток при зміні температури та передбачити ймовірність утворення дефектів (тріщин) в критичних зонах;

- 3) проектування конструкції, що передбачає додаткове пасивне повітряне охолодження профілю пера лопаток та трактові поверхні;

- 4) нанесення теплозахисного покриття (ТЗП): наприклад, на основі $ZrO_2-Y_2O_3$, а також з вмістом Al та Si. На основі подальших експериментів створюються карти зношування (англ. Oxidation-Erosion Map), що подаються в координатах «температура–швидкість потоку» і забезпечують об'єктивний набір показників для вибору оптимального матеріалу покриття в залежності від умов експлуатації.

Серед прикладів вдалих експериментів можна виділити дослідження компанії General Electric (США): було проведено термоциклічне тестування лопаток із нанесеним ТЗП на основі ZrO_2 при температурах 1150 °С та без. У результаті експерименту було підтверджено збільшення ресурсу вузлу в 2.8 разів для деталей з ТЗП порівняно з незахищеними деталями.

Ще одним гарним прикладом можуть слугувати результати, отримані в результаті досліджень на підприємстві АО «Мотор Січ» (Україна). В якості об'єкту тестування використовувалися СА зі сплавів ВЖЛ12У та ВКНА-25 в умовах циклічного нагрівання-охолодження до 1250 °С. Найкращу термостійкість показали зразки з керамічним двошаровим покриттям NiCrAlY + YSZ.

Підвищення зносостійкості складнопрофільних деталей, зокрема соплових апаратів, є ключовим чинником довговічності турбіни і загалом ГТД. Застосування сучасних суперсплавів, теплозахисних покриттів і числового моделювання дозволяє значно: скоротити час на проектування конструкції та їх подальше виготовлення; зменшити вплив людського фактору в розрахунках; підвищити ресурс роботи та надійність деталі (механізму) як цивільного, так і військового призначення.