УДК 621.386

Т.А. Романюк, студент гр. ПК-51
КПІ ім. Ігоря Сікорського

АНАЛІЗ ЛОПАТОК ТУРБІНИ

Анотація. Розглянуто лопатки турбін, вказаний аналіз конструкції та матеріалів, що використовують для виготовлення. Для кожної лопатки характерний власний аеродинамічний профіль. Тиск і температура для кожного етапу обмежують види матеріалів, які можуть використовуватися в них.

Ключові слова: вихрострумовий контроль, неруйнівний контроль, лопатки турбін, дефекти, високотемпературна корозія, термозахисне покриття.

ВСТУП

На сьогоднішній день для створення авіаційних двигунів нового покоління визначальним фактором є забезпечення працездатності деталей двигуна в умовах високих температур (1200 ^{oC} та вище). Надійність реактивних двигунів має вирішальне значення для безпеки польотів. З цієї причини продуктивність і стан таких двигунів регулярно контролюються. Високовартісні лопатки турбіни високого тиску дуже важливі для функціональності та продуктивності реактивного двигуна, вони піддаються впливу екстремальних умов та значних механічних навантажень [1].

Для того, щоб витримати високі температури і потужну корозійну атаку, лопатки турбіни захищають шаром покриття для захисту від корозії (наприклад, PtAl, Al) і керамічним покриттям теплового бар'єру (КПТБ) завтовшки приблизно 100 мкм.

АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ЛОПАТОК

Тип матеріалу, який використовується для лопаток турбін, ґрунтується на певній зоні турбіни, в якій будуть працювати лопатки.

Існує три такі зони: високий тиск (HP), проміжний тиск (IP) і низький тиск (LP), які називаються відповідно до відносного тиску пари в стадії. Тиск і температура для кожного етапу обмежують види матеріалів, які можуть використовуватися в них. Наприклад, ступеневі лопатки високого тиску і проміжного, зазвичай, виготовляють з нержавіючих сталей [3]. Проте лопатки, що використовуються у високотемпературних (> 450 ^{oC}), можуть бути виготовлені з аустенітних нержавіючих сталей, оскільки вони мають кращі механічні властивості за високих температур [3]. Наприклад, нержавіюча сталь типу AISI 422 (мартенситна нержавіюча сталь) зазвичай використовується для секцій турбін HP і IP, тоді як сталь AISI серії 300 (аустенітна) використовується для високотемпературних застосувань [3]. LP лопатки часто, але не виключно, виготовляються з нержавіючих сталей. Загальні типи нержавіючої сталі, що використовуються в LP-ділянках, включають типи 403, 410, 410-Cb і 630 AISI; точний тип сталі, обраний для конкретного застосування LP, залежить від необхідної міцності та корозійної стійкості. З 1960-х років титанові сплави, особливо Ti-6Al-4V, також використовувалися для LP [3]. Ці сплави особливо підходять для LP стадій з ряду причин. По-перше, щільність титанових сплавів зазвичай менше щільності сталей; наприклад, Ti-6Al-4V має щільність лише 4,43г/см3, тоді як нержавіюча сталь типу AISI 410S має щільність 7,8г/см3 [4,5].

Ця нижча щільність дає можливість подовжити лопаті LP і тим самим підвищити ефективність турбіни без збільшення напружень в лопатках завдяки відцентровим силам. По-друге, титанові сплави мають більшу корозійну стійкість, ніж сталі; це робить титанові сплави ідеальними для використання на стадіях LP, де є більш високий рівень вологи. Нарешті, титанові сплави є достатньо стійкими до ерозії крапель води, що їх можна використовувати без захисту від ерозії в певних предметних областях застосування. В цілому, властивості матеріалу роблять лезо лопатки надійним або приреченим на відмову. Межа плинності, міцність на розрив, корозійна стійкість і модуль пружності відіграють певну роль у визначенні того, чи буде лопатка виходити з ладу під дією навантажень.

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ЛОПАТОК

Лопатки турбін являють собою досить складні за конструкцією оригінальні деталі. Кількість конструктивних різновидів є дуже великою. Конструкції лопаток класифікують за різними ознаками.

На основі інформації, наданої в попередньому розділі, ефективна і надійна конструкція леза відповідає наступним вимогам:

1. Матеріал лопаті повинен мати достатню межу текучості, щоб витримувати пластичну деформацію і повинен бути здатним на довготривалу підтримку такої межі текучості або, принаймні, більшу його частину при підвищених температурах.

2. Матеріал лопаті повинен бути здатний легко оброблятися і експлуатуватися.

3. Матеріали лопаток повинні демонструвати помірний модуль пружності, за якого лопатка не деформується аномально і раптово не руйнується за нормальних робочих напруженнях.

4. Бажано, щоб матеріали лопаті мали низьку щільність для зниження відцентрової сили, а отже, і відцентрової сили, на лопатях.

5. Лопатки повинні бути стійкими до корозії навіть за наявності агресивних іонних розчинів, утворених домішками у воді.

6. Лопатки повинні бути виконані таким чином, щоб мінімізувати ймовірність зародження тріщин під час виробництва.[6].

Для оптимізації параметрів необхідно враховувати обмеження, що накладаються витратами виробництва та механічними обмеженнями. Наприклад, зменшення натягу лопаті може бути здійснено за рахунок використання легких матеріалів, таких як титанові сплави. Однак такі сплави не придатні для використання в місцях підвищених температур, і вони не виготовляються ні легко, ні дешево. Отже, для того, щоб підвищити ефективність роботи турбіни, необхідно встановити «золоту середину» між витратами і продуктивністю [7].

Ефективна корозійна стійкість є запорукою поліпшення конструкції леза. Хоча матеріали, що в даний час використовуються в лопатках турбін, мають певну ступінь корозійної стійкості, наявність або утворення тріщин, які спричиняють корозію, практично неминуче. З цією метою були проведені

дослідження, щоб визначити, чи існують певні хімічні покриття при застосуванні до лопаток турбін, які є ефективними для запобігання корозії лопаті [8]. Ерозія матеріалу лопаті спотворює геометрію полотна і призводить до зниження ефективності за рахунок втрати аеродинамічних властивостей.

ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто лопатки турбін, вказаний аналіз конструкції та матеріалів, що використовують для виготовлення. На основі виконаного аналізу зроблено наступні висновки: 1) теплові покриття мають невеликий вплив на захист субстрату лопаті від ерозії в порівнянні з іншими покриттями; 2) товщина захисного покриття повинно бути рівним принаймні деяким мінімальним критичним значенням для того, щоб ефективно захищати субстрат від ерозії; 3) збільшення товщини покриття знижує швидкість утворення ерозійного покриття; 4) ерозійна стійкість покриття суттєво залежить від температури. Загалом, поліпшена конструкція леза, що складається з сильних, ерозійних і корозійно-стійких матеріалів з оптимізованими аеродинамічними параметрами, призведе до підвищення ефективності роботи турбіни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Pösch A, Vynnyk T, Reithmeier E. Using inverse fringe projection to speed up the detection of local and global geometry defects on free-form surfaces, Proc. SPIE 8500 (2012), DOI: 10.1117/12.928700

[2] Демин Ф.И. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей. Издательство СГАУ, Самара, 2012 г., 354 с

[3] T. H. McCloskey (2003) “Steam turbines” [Online Article] Available: http://www.mathpages.com/home/kmath633/kmath633.htmhttp://www.scribd.com/doc/66454959/27/Turbine-Blade-Stresses

[4] Matweb Material Property Data [Website] Available: http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MTP641

[5] Matweb Material Property Data [Website] Available: http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=170de3eaaff34ee29e74a8f3323cdf10

[6] Kiyoshi Segawa, Yoshio Shikano, Kuniyoshi Tsubouchi and Naoaki Shibashita. “Development of a Highly Loaded Rotor Blade for Steam Turbines.” JSME International Journal Series B, Vol. 45, No. 4 (2002), pp.881-890.

[7] Hideo Nomoto, Yoshikazu Kuroki, Masafumi Fukuda, and Shinya Fujitsuka. “Recent Development of Steam Turbines with High Steam Temperatures.” JSME International Journal Series B, Vol. 49, No. 2 (2006), pp.218-223. [Online Journal Article]. Available: http://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmeb/49/2/49_218/_article

[8] E. K. Sevidova, V. M. Matsevityi, I. B. Kazak, and K. V. Vakulenko. (2007, July). “Evaluation of the Protective Properties of Multilayer Coatings for Steam Turbine Blades.” Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2007, Vol. 43, No. 6, pp. 409–414. [Online Journal Article]. Available: http://www.springerlink.com/content/t606326001257424/

Науковий керівник д.т.н., проф. Куц Ю.В.