



УКРАЇНА

(19) UA (11) 85432 (13) C2
(51) МПК (2009)
F01D 5/18МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ОХОЛОДЖУВАНА РОБОЧА ЧИ СОПЛОВА ЛОПАТКА ГАЗОВОЇ ТУРБІНИ (ВАРІАНТИ)

1

2

(21) а200702379

(22) 05.03.2007

(24) 26.01.2009

(46) 26.01.2009, Бюл.№ 2, 2009 р.

(72) ДАШЕВСЬКИЙ ЮРІЙ ЯКОВИЧ, UA, ПИСЬ-
МЕННИЙ ДМИТРО МИКОЛАЙОВИЧ, UA(73) ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО "НАУКОВО-
ВИРОБНИЧИЙ КОМПЛЕКС ГАЗОТУРБОБУДУ-
ВАННЯ "ЗОРЯ"-МАШПРОЕКТ", UA

(56) RU 2151303, F01D5/18, 9/00, 20.06.2000

SU 1554483, F01D5/18, 09.01.1985

SU 1524591, F01D5/18, 01.04.1988

SU 1471658, F01D5/18, 27.01.1996

SU 1466358, F01D5/18, 20.04.1987

SU 1238465, F01D5/18, 27.02.1996

RU 2188323, F01D5/18, 27.08.2002

RU 2237811, F01D9/02, 10.10.2004

RU 2238411, F01D5/18, 20.10.2004

US 5772398, F04D29/38, 30.01.1998

US 6190128, F01D5/08, 20.02.2001

GB 1508571, F01D5/18, 9/02, 26.04.1978

(57) 1. Лопатка газової турбіни, яка містить пусто-
тіле перо з розташованою уздовж внутрішньої по-

верхні вхідної кромки подовжньою перегородкою, що є частиною стінки каналу охолодження, і має ребра, що турбулізують потік охолодного середовища, яка відрізняється тим, що на внутрішній поверхні вхідної кромки додатково виконане подовжнє ребро.

2. Лопатка газової турбіни, яка містить пустотіле перо з розташованою уздовж внутрішньої поверхні вхідної кромки подовжньою перегородкою, що є частиною стінки каналу охолодження, і має ребра, що турбулізують потік охолодного середовища, яка відрізняється тим, що на внутрішній поверхні вхідної кромки додатково виконане подовжнє ребро з різами, крок яких $t=(2-10)h$, де h - значення висоти подовжнього ребра.

3. Лопатка за пп. 1, 2, яка відрізняється тим, що ребра, які турбулізують потік охолодного середовища, виконані по обидві сторони від подовжнього ребра на внутрішніх поверхнях лопатки та спрямовані від вхідної кромки до перегородки під кутом $20-85^\circ$ до напрямку плинину охолодного середовища.

Винахід відноситься до області турбобудування і може бути використаний в газових турбінах різного призначення з охолоджуваними робочими чи сопловими лопатками. Зокрема, винахід відноситься до лопатки газової турбіни, щонайменше, з одним каналом охолодження усередині лопатки, розташованим уздовж внутрішньої поверхні вхідної кромки і, щонайменше, з однією внутрішньою подовжньою перегородкою, що є частиною стінки даного каналу охолодження.

В даний час у конструкціях охолоджуваних соплових лопаток і, насамперед, охолоджуваних робочих лопаток дуже широко застосовуються подовжні (радіальні) охолодні канали, у яких на стінках лопатки, що мають безпосередній контакт із гарячим газом проточної частини застосовуються ребра різної конфігурації, що турбулізують потік охолодного середовища та забезпечують підвищення інтенсивності теплообміну. Приклади таких лопаток представлені в [1, 2].

У таких лопатках, у залежності від схеми охолодження, охолодне середовище, що надходить у канал поблизу вхідної кромки, пройшовши через канал і остудивши профільну частину лопатки в районі вхідної кромки, виходить у проточну частину, як це реалізовано в [1], чи надходить на охолодження іншої частини профілю і виходить у проточну частину через вихідну щілину у вихідній кромці, як це реалізовано в [2].

Однак, через те, що інтенсивність теплообміну з боку гарячого газу має максимальне значення на вхідній кромці, а саме в точці набігання потоку гарячого газу й істотно перевищує її значення, осереднене по профілю, такі конструкції не дозволяють забезпечити рівномірність температури профілю лопатки в районі вхідної кромки й утрудняють забезпечення припустимої температури лопатки в точці набігання потоку гарячого газу без збільшення гідравлічного опору каналу. Крім цього необхідно відзначити, що температури газу по ви-

(13) C2

(11) 85432

(19) UA

соті лопатки також істотно нерівномірні: як правило, максимальні температури газу мають місце в зоні, що відповідає середині висоти пера лопатки. Також перемінними по висоті є припустимі значення температур лопатки, визначені з умов забезпечення міцності.

Найбільш близьким технічним рішенням є прийнята за прототип лопатка [3]. У цій лопатці для підвищення інтенсивності теплообміну в районі вхідної кромки застосовуються ребра, що турбулізують потік охолодного середовища, чи їхня комбінація зі штирками, розташованими напроти хвилеподібної перегородки.

Недоліки такого рішення полягають у тім, що плин повітря уздовж хвилеподібної перегородки супроводжується різким збільшенням гідравлічного опору каналу охолодження, що не завжди допустимо. При цьому також відбувається збільшення інтенсивності теплообміну у вершин перегородки, звернених до вхідної кромки, тобто на поверхнях, що не мають безпосереднього контакту з газовим середовищем. У той же час, у поглибленнях утворюються зони зі зниженою інтенсивністю теплообміну. Усе це, у свою чергу, може приводити до збільшення температурних напруг у перегородці. Застосовані у варіанті даної лопатки штирки є недобреобітченими тілами, що додатково збільшує гідравлічні втрати, і мають при цьому малу площу теплообмінної поверхні.

Задача винаходу полягає в підвищенні інтенсивності охолодження вхідної кромки лопатки і, насамперед, у точці набігання потоку без істотного збільшення гідравлічного опору каналу охолодження. Це дозволить підвищити ресурс і надійність лопатки.

Для вирішення задачі в охолоджуваній лопатці газової турбіни, яка містить пустотіле перо з розташованою уздовж внутрішньої поверхні вхідної кромки подовжньою перегородкою, що є частиною стінки каналу охолодження, і має ребра, що турбулізують потік, згідно до винаходу, на внутрішній поверхні вхідної кромки додатково виконане подовжнє ребро.

Як варіант виконання, в охолоджуваній лопатці газової турбіни, яка містить пустотіле перо з розташованою уздовж внутрішньої поверхні вхідної кромки подовжньою перегородкою, що є частиною стінки каналу охолодження, і має ребра, що турбулізують потік, на внутрішній поверхні вхідної кромки додатково виконане подовжнє ребро з різаними, крок яких $t=(2-10)h$, де h - значення висоти подовжнього ребра.

При цьому, ребра, які турбулізують потік охолодного середовища, виконані по обидві сторони від подовжнього ребра на внутрішніх поверхнях лопатки та спрямовані від вхідної кромки до перегородки під кутом $20-85^\circ$ до напрямку плин охолодного середовища.

Такий напрямок ребер, які турбулізують потік, на бічних стінках дозволяє одержати максимальні значення локальних (місцевих) коефіцієнтів тепловіддачі від охолодного середовища безпосередньо поблизу вхідної кромки.

Подовжнє ребро уздовж вхідної кромки забезпечує при цьому істотне збільшення площі тепло-

обміну з боку охолодного середовища, що у свою чергу забезпечує додаткове зниження температури вхідної кромки лопатки.

Для зниження теплових напруг, що виникають у подовжнім ребрі через істотну різницю температури вхідної кромки, омиваної потоком гарячого газу з боку проточної частини, і температури ребра, омиваного охолодним середовищем, подовжнє ребро може бути переривчастим, тобто мати по свої довжині різни.

Нижче винахід більш докладно описаний за допомогою приклада виконання і за допомогою креслень, на яких зображено:

Фіг.1 - поздовжній розріз першого варіанта виконання лопатки;

Фіг.2 - поперечний переріз лопатки по лінії Б-Б по Фіг.1;

Фіг.3 - елемент Г по Фіг.2;

Фіг.4 - перетин лопатки по лінії Д-Д по Фіг.3;

Фіг.5 - перетин лопатки по лінії Е-Е по Фіг.3;

Фіг.6 - вид на вхідну кромку по стрілці Ж по Фіг.3;

Фіг.7 - перетин по лінії 3-3 по Фіг.4 і 5;

Фіг.8 - поздовжній розріз другого варіанта виконання лопатки.

На Фіг.1 зображена робоча лопатка 1, прикріплена торцем 2 своєї кореневої частини 3 до ротора 4 газової турбіни й оточена кожухом 5, що обмежує проточний канал, у який у напрямку стрілки А входить потік гарячого газу.

Робоча лопатка 1 містить внутрішню порожнину 6, що у зоні 7 кромки відтоку лопатки 1 має вхідну щілину 8 (Фіг.2). У зоні кореневої частини 3 (Фіг.1) внутрішня порожнина 6 з'єднана з джерелом 9 охолодного середовища.

Внутрішня порожнина 6 з боку лопатки 1, на яку натікає потік гарячого газу, обмежена вхідною кромкою 10, що проходить, в основному, радіально. У внутрішній порожнині 6 розміщена перегородка 11, що примикає до внутрішніх поверхонь увігнутої стінки 12 (Фіг.2) і опуклої стінки 13 лопатки 1. Перегородка 11 у зоні кореневої частини 3 має вхідну ділянку 14 (Фіг.1) для направлення охолодного середовища, що підводиться від джерела 9, наприклад, повітря в канал 15 охолодження, утвореного стінкою вхідної кромки 10, перегородкою 11, частиною увігнутої стінки 12 і частиною опуклої стінки 13 лопатки 1. На внутрішній поверхні вхідної кромки 10 (Фіг.4) виконане подовжнє ребро 16 з висотою h .

Ребра 17, що турбулізують потік охолодного середовища (Фіг.3, 4, 5) виконані по обидві сторони подовжнього ребра 16 на частині внутрішньої поверхні увігнутої стінки 12 і частині внутрішньої поверхні опуклої стінки 13 лопатки 1 та спрямовані від вхідної кромки до перегородки під кутом $\alpha=20...85^\circ$ до напрямку плин охолодного середовища. При цьому, в залежності від застосовуваної технології виготовлення і вимог до температурного стану вхідної кромки і бічних стінок ребра 17 можуть закінчуватися на деякій відстані $L1$ і $L2$ (Фіг.3) від подовжнього ребра і на деякій відстані $L3$ і $L4$ (Фіг.2) від перегородки, а можуть доходити безпосередньо до подовжнього ребра і перегородки. Крок p ребер 17 (Фіг.6) у напрямку плин охолод-

ного середовища, а також їхня висота e (Фіг.7) і ширина d узале5

жності від розподілу припустимих значень температур знаходяться у співвідношенні: $p=(5...50) \cdot e$, $d=(0,5...2) \cdot e$. Таке рішення дозволяє забезпечити достатній рівень інтенсивності теплообміну з боку охолодного середовища на кожній ділянці стінки як у поперечному перерізі, так і по висоті, і не допустити істотного переохолодження стінки лопатки в деяких зонах, що приводить до додаткового підігріву охолодного середовища в каналі. Зображений на Фіг. 8 варіант виконання робочої лопатки 1 відрізняється від варіанта, зображеного на Фіг.1...7 тим, що подовжнє ребро 16 має різні 18 із кроком $t=(2...10) \cdot h$.

Хоча винахід пояснений на прикладі робочої лопатки 1, він в однаковій мірі застосований і до соплової лопатки газової турбіни.

При роботі газової турбіни гарячий газ натікає на робочі лопатки 1 у напрямку стрілки А (Фіг.1, 2) і проходить по міжлопаточному каналу, створюючи на лопатках аеродинамічну силу. Окружна складова цієї сили, що діє в напрямку стрілки В (Фіг.2), приводить в обертання робочі лопатки 1 і зв'язаний з ними через торець 2 кореневої частини 3 ротор турбіни 4.

Охолодне середовище, що надходить із джерела 9 у внутрішню порожнину 6, і, зокрема, у канал 15 охолодження, охолоджує всі зони робочої лопатки 1, у тому числі і вхідної кромки 10. Вхідна ділянка 14 направляє охолодне середовище від джерела 9 у канал 15 охолодження. Після проходження каналу 15 охолодження і іншої частини внутрішньої порожнини 6 охолодне середовище виходить у газовий канал турбіни через вихідну щілину 8.

При проходженні через канал 15 охолодне середовище охолоджує стінки лопатки, при цьому

ребра 17 забезпечують підвищення інтенсивності теплообміну на бічних стінках, а їхній напрямок від вхідної кромки до перегородки під кутом до напрямку плин охолодного середовища забезпечує максимальні значення місцевої інтенсивності теплообміну з боку охолодного середовища саме в районі вхідної кромки 10, де інтенсивність теплообміну з боку гарячого газу має максимальний рівень. Подовжнє ребро 16 за рахунок значного збільшення площі теплообміну з боку охолодного середовища також приводить до зниження температури лопатки в районі вхідної кромки.

Виконання в подовжнім ребрі 16 різів 18 (Фіг.8) дозволяє знизити теплові напружки, що виникають у подовжнім ребрі через істотну різницю температури вхідної кромки, омиваної гарячим газом з боку проточної частини, і температури подовжнього ребра, омиваного охолодним середовищем.

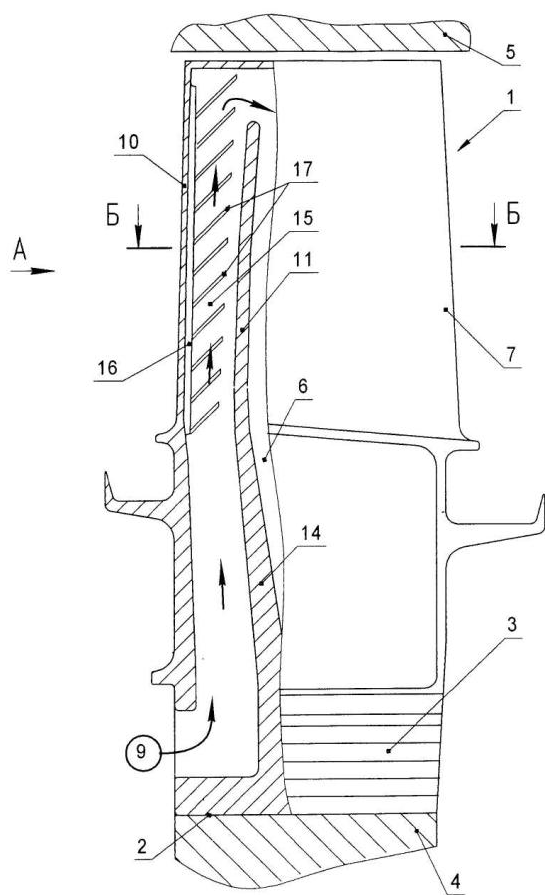
Таким чином, дане виконання лопатки забезпечує підвищення інтенсивності охолодження вхідної кромки лопатки і, насамперед, у точці набігання потоку, без істотного збільшення гідравлічного опору каналу охолодження і зниження нерівномірності температур лопатки в районі вхідної кромки. Це, у свою чергу, приводить до підвищення ресурсу і надійності лопаток.

Джерела інформації:

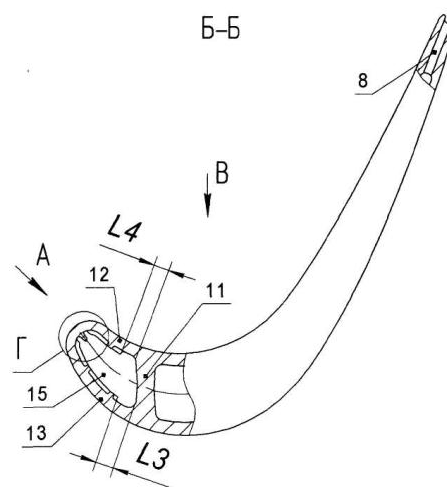
1. Matsuzaki H., et al., "Development of advanced gas turbine", ASME Paper №96-GT-294, fig.4.

2. Патент США US 94332309 F01D5/18, Направляющая газотурбинная лопатка с устройством охлаждения.

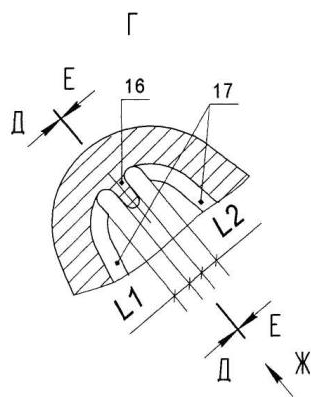
3. Патент RU 2151303 C1 F01D5/18, Охлаждаемая рабочая или сопловая лопатка газовой турбины.



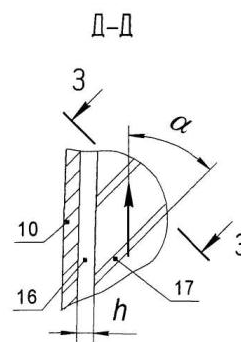
Фиг. 1



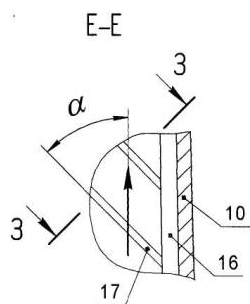
Фиг. 2



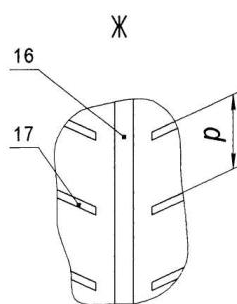
Фиг. 3



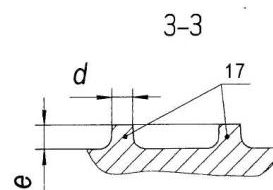
Фиг. 4



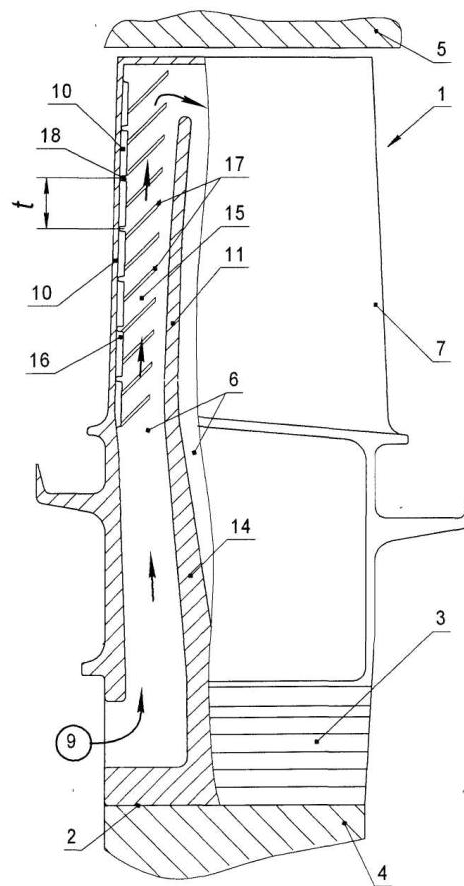
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фіг. 8