

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

33 014

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

F01D 5/14 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2019-36127**
(22) Přihlášeno: **16.04.2019**
(47) Zapsáno: **23.07.2019**

- (73) Majitel:
Ústav Termomechaniky AV ČR, v. v. i., Praha 8,
Libeň, CZ
- (72) Původce:
doc. Ing. Martin Luxa, Ph.D., Praha 6, Řepy, CZ
- (74) Zástupce:
NEOLEGAL - advokátní a patentová kancelář, Ing.
Jaroslav Novotný, Římská 2135/45, 120 00 Praha 2,
Vinohrady

- (54) Název užitého vzoru:
Lopatka s výměnnou náběžnou hranou

CZ 33014 U1

Lopatka s výměnnou náběžnou hranou

Oblast techniky

5

Technické řešení se týká lopatky s výměnnou náběžnou hranou, spadající do oblasti aerodynamiky lopatek parních turbín.

10 Dosavadní stav techniky

Průtočnou část axiální parní turbíny tvoří řady rozváděcích a oběžných lopatek. Vodní pára, která protéká turbínou postupně expanduje z oblasti s vyšší teplotou a tlakem do oblasti s nižší teplotou a nižším tlakem, prochází přitom nejméně jedním, ale obvykle více stupni, ve kterých se tepelná a tlaková energie páry mění na mechanickou práci. V posledních řadách nízkotlakového dílu je termodynamický stav proudící páry obvykle již takový, že dochází ke kondenzaci. V pracovní páře vznikají primární kondenzační kapky o velmi malém průměru, podstatná část zkondenzované vody je v kapkách o průměru 1×10^{-6} m až 2×10^{-6} m. Tato nukleace vodních kapek začíná (dle konstrukce stroje a jeho okamžitých provozních parametrů) již ve druhém nebo i dokonce ve třetím stupni od konce nízkotlakového dílu. Ačkoliv je vodní film z povrchu rozváděcích lopatek obvykle odsáván, přesto dochází rozpadem zbytku sekundární kapalně fáze odtékající z povrchů lopatek přes odtokové hrany lopatek ke vzniku velikých kapek o průměru 5×10^{-6} m až 1×10^{-5} m, které doplňují i kapky velmi velké – o průměru $8,5 \times 10^{-5}$ m až $1,8 \times 10^{-4}$ m. Je zjištěno, že tyto kapky sekundární kapalně fáze jsou příčinou eroze oběžných lopatek.

25

Zkušenosti s erozním působením ukazují, že hlavní oblastí, kde k erozi dochází, je náběžná hrana zejména v oblasti špičky oběžné lopatky. I přes skutečnost, že jsou aplikovány postupy ke zvýšení mechanické odolnosti náběžné části horní třetiny oběžné lopatky, dochází ke změnám nejen tvaru profilů špičkových řezů, ale i k podstatnému zkracování jejich hloubky.

30

Moderní profily navržené pro špičkové řezy jsou deskového typu, tzn., že podstatnou část profilu (vyjma jeho náběžné a odtokové části) tvoří deska o konstantní tloušťce. Tyto profily jsou obvykle provozovány v supersonickém nebo transsonickém oboru rychlostí. Špičková část lopatky je často navrhována jako prisma.

35

Vliv změny tvaru špičkové části lopatky (způsobený erozí) na její aerodynamické parametry není dostatečně znám. Údaje z měření parametrů stroje po několika letech provozu vypovídají o degradaci turbíny vlivem opotřebení jako o celku, nelze z nich přesně stanovit vliv eroze špiček lopatek posledního stupně nízkotlakového dílu. Aerodynamická měření prismatických lopatkových mříží s erodovanými profily se doposud neprovádějí. Jednou z příčin je skutečnost, že je nutno pro každou zkoumanou geometrii (bez eroze nebo s určitými stupni erozního opotřebení) vyrábět pro účely měření novou prismatickou lopatkovou mříž, což velmi výrazně zvyšuje cenu aerodynamických zkoušek.

40

U koncových stupňů parních turbín, jejichž rozvějířené lopatkové mříže se skládají z dlouhých lopatek, se obvykle kvůli opotřebení erozí při opravě vyměňují celé lopatky.

45

Podstata technického řešení

50

Uvedené nedostatky odstraňuje lopatka s výměnnou náběžnou hranou prismatické části lopatky. Podstata tohoto technického řešení spočívá v tom, že jednotlivé lopatky v lopatkové mříži mají vyměnitelnou náběžnou hranu prismatické části lopatky. Každá prismatická lopatka (nebo prismatická část lopatky u špičky lopatky) sestává ze dvou částí. První částí je základní tělo lopatky, druhou částí je výměnná náběžná hrana lopatky. Poloha propojení mezi základním tělem

55

lopatky a výměnnou náběžnou hranou je vždy v místě, kde má střednice deskového profilu nulovou křivost. Spojení obou částí je provedeno pomocí rybiny a čepu a je vyztuženo vloženými podélnými klíny.

- 5 Z hlediska pevnostního je toto řešení možné proto, že výměnná část lopatky a spojovací oblast se nalézá v té části profilu lopatky, kde jsou poměrně velmi malé vztahové aerodynamické síly, kdy tyto síly působí kolmo na střednici profilu. Odporová složka aerodynamické síly od náběžné hrany, která naopak působí ve směru střednice profilu, je dobře zachycena plochami spoje, kolmými na střednici profilu lopatky.

10

Uvedené technické řešení použité u skutečné lopatky s výměnnou náběžnou hranou její špičkové prismatické části zmenšuje náklady na opravy celého stroje. Nemusí se kvůli opotřebení erozí vyměňovat celé lopatky, ale pouze jejich náběžné hrany.

15

Uvedené technické řešení rovněž podstatně zmenšuje náklady na výrobu lopatkových mříží s prismatickými lopatkami pro aerodynamické zkoušky. Výrazně zkracuje i dobu pro přípravu aerodynamických zkoušek. Pro potřeby výzkumu je složitý tvar, simulující erozi opotřebenou náběžnou hranu včetně rybiny vyroben některou z pokročilejších metod 3D tisku (z pryskyřice nebo i z kovu). Využití 3D tisku umožňuje i výrobu velmi složitých povrchů a struktur, které se u náběžných erodovaných hran vyskytují. Tradiční výrobní postupy zde selhávají.

20

Objasnění výkresů

25

Technické řešení bude blíže osvětleno pomocí výkresu, kde na obr. 1 je schéma konstrukčního řešení prismatické lopatky s výměnnou náběžnou hranou. Na obr. 2 je schéma lopatkové mříže s prismatickými lopatkami, určené pro aerodynamické zkoušky, lopatky mají výměnné náběžné hrany. Na obr. 3 je schéma možného technického řešení u prismatické části špičky turbínové oběžné lopatky s bandáží, která je součástí rozvějířené oběžné lopatkové mříže stroje. Na obr. 4 je segment rozvějířené oběžné mříže turbíny.

30

Příklady uskutečnění technického řešení

35

1. Prismatická lopatka s výměnnou náběžnou hranou pro použití ve zkušební lopatkové mříži sestavené na obrázku 2, je znázorněna v řezech na obrázku 1.

40

Spojení 7 obou dílů je umístěno cca v 15 % hloubky c základního profilu 1 lopatky. Základní profil 1 lopatky má v místě spojení, ve směru délky prismatické lopatky, vyrobený dlouhý čep 5, jehož nejširší část dosahuje maximálně 60 % tloušťky deskové části profilu 1 lopatky. Úhel α rozbíhání čepu 5 je roven v tomto konkrétním případě hodnotě $\alpha = 1,5^\circ$, neboť je potřeba zachovat ohybovou tuhost spoje větší délkou a čepu 5. Odporová aerodynamická síla od náběžné části vždy působí směrem k základnímu profilu 1 lopatky a síly proto přenášejí plochy rybinového spoje kolmé na střednici 3, především tuto sílu přenáší čelo 6 čepu 5. Čep 5 je od středu prismatické lopatky na obě strany mírně zkosen pod úhlem β (v tomto konkrétním případě o úhel $\beta = 3^\circ$), aby bylo možno použít vymezovacích klínů 4, které přesně zajistí vzájemnou polohu obou částí lopatky a zároveň zajistí potřebný přenos aerodynamických sil. Konce čepu 5 rybinového spoje 9 jsou zkoseny o úhel γ kvůli usnadnění demontáže vymezovacích klínů 4. V tomto konkrétním případě jde o hodnotu úhlu $\gamma = 45^\circ$. Výměnná náběžná hrana 2 je v místě spoje 7 opatřena rybinou 9. Rybina 9 přechází do dutiny 8 pro vymezovací klíny 4 s rovnoběžnou horní a dolní stěnou. Podélná osa rybiny 9 s dutinou 8 pro vymezovací klíny 4 je shodná s přímkovou částí střednice 3 profilu 1 lopatky.

50

Vymezovací klín 4 má kvůli demontáži na konci vyroben nos 10. Ten je pro demontáž přístupný z dutiny 8 vytvořené zkosením čepu 5 pod úhlem γ . Klín 4 je nižší, než je výška dutiny 8, neboť při montáži zasahuje částečně do zužující se ryby 9.

- 5 Při montáži výměnných náběžných hran 2 u zkušební lopatkové mříže se ryba 9 výměnné náběžné hrany 2 lopatky z boku nasune na čep 5 základního profilu 1 lopatky a upevní se vymezovacími klíny 4. Případná vůle, která vznikne v místě spoje 7 se vytmelí a vybrousí tak, aby povrch byl aerodynamicky hladký. Proti vysunutí klínů 4 a povolení celého spoje 7 je spojení chráněno bočními stěnami měřicího prostoru, které neumožňují v namontovaném stavu pohyb
- 10 klínů 4. Při demontáži se pomocí jednoduchého přípravku vytlučou klíny 4 a uvolněná náběžná hrana 2 lopatky 1 se vysune.

- Zkušební lopatková mříž na obrázku 2 má upevňovací pásy 11 lopatek upraveny tak, aby nejen zajišťovaly požadovanou vzájemnou polohu lopatek v mříži, ale umožnily i výměnu náběžných
- 15 hran 2 lopatky; to vše při stálém zachování tuhosti celé sestavy.

- Základní profil 1 lopatky je ocelový. Předpokládá se výroba metodou elektroerozivního obrábění. Náběžná hrana 2 je zhotovena z pryskyřice či kovu 3D tiskem, klíny 4 jsou spěžové, upevňovací pásy 11 (na obr. 2) jsou zhotoveny z houževnaté oceli o vysoké pevnosti.
- 20

2. Příklad technického řešení pro použití ve skutečných (rozvějířených) lopatkových mřížích sestavených z bandážovaných oběžných turbínových lopatek s prismatickou špičkovou částí listu lopatky je na obrázku 3. Skutečné moderní oběžné lopatky určené pro koncové stupně parních turbín nejsou obvykle po celé výšce listu lopatky prismatické. Ale jejich špičková část, kde právě
- 25 k erozivnímu opotřebení dochází, je prismatická. Profil špičkové části lopatky má charakter desky. Proto lze využít popisovaného technického řešení i u reálných lopatkových mříží.

- Na listu 12 lopatky je v oblasti očekávaného erozivního opotřebení zabudována výměnná ocelová náběžná hrana 2. Výměna náběžné hrany 2 je možná pouze z jedné strany, tj. směrem od bandáže
- 30 16.

- Spojení výměnné náběžné hrany 2 s tělem listu 12 lopatky je provedeno opět rybinovým spojem, kdy ryba 9 i čep 5 jsou zkoseny o úhel δ (v tomto případě o hodnotu 4°) v radiálním směru, a to směrem k bandáži 16. Mezi čepem 5 a rybinou 9 je slabá vrstva spěžové výstelky 13, která po
- 35 natlučení nové náběžné hrany 2 vymezí vůle a zajistí řádný přenos sil v lopatkovém listu 12. Proti radiálnímu posunutí, ve směru odstředivé síly je spoj 7 zajištěn kamenem 14, který je přes osazení připevněn do bandáže 16 šrouby 15. Po montáži nové náběžné hrany 2 je spoj v listu 12 lopatky zaplněn tvrdou stříbrnou pájkou, která odolá teplotě v posledním stupni parní turbíny, a vyhlazen do požadovaného stavu.
- 40

Průmyslová využitelnost

- Prismatickou lopatku s výměnnou náběžnou hranou (nebo s výměnnou náběžnou hranou
- 45 prismatické části špičky lopatky) podle tohoto technického řešení, zejména podle druhého příkladu uskutečnění, lze využít při výrobě turbínových lopatek. Výměnná náběžná hrana zmenšuje náklady na opravy celého stroje. Nemusí se kvůli opotřebení erozí vyměňovat celé lopatky, ale pouze jejich náběžné hrany.
- 50

NÁROKY NA OCHRANU

1. Lopatka s výměnnou náběžnou hranou, **vyznačující se tím**, že sestává z profilu, který
- 55 sestává ze dvou částí, kdy první část je základní profil (1) lopatky a druhou částí je výměnná

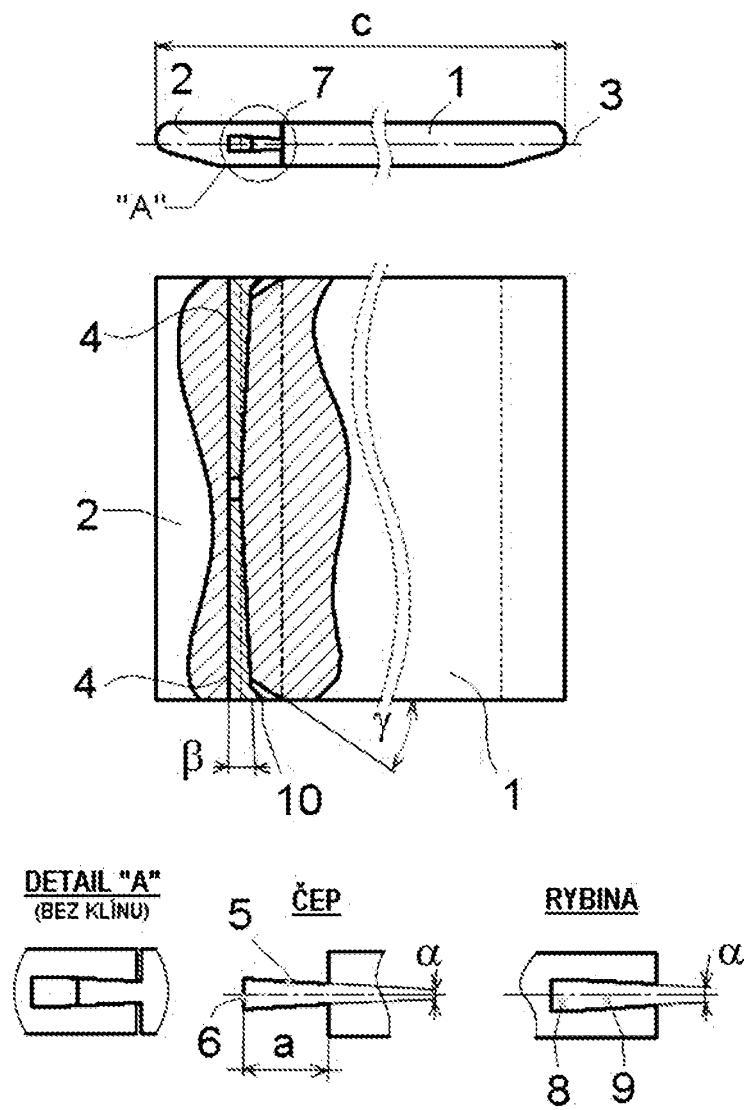
náběžná hrana (2) profilu (1) lopatky, přičemž poloha propojení mezi základním profilem (1) lopatky a výměnnou náběžnou hranou (2) je vždy v místě, kde má střednice (3) základního profilu (1) lopatky nulovou křivost a spojení (7) obou částí je provedeno pomocí rybiny (9) a čepu (5) a je zpevněno vloženými podélnými vymešovými klíny (4).

5

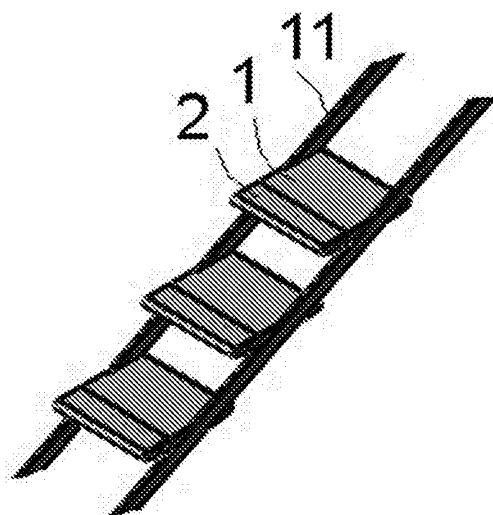
3 výkresy

Seznam vztahových značek:

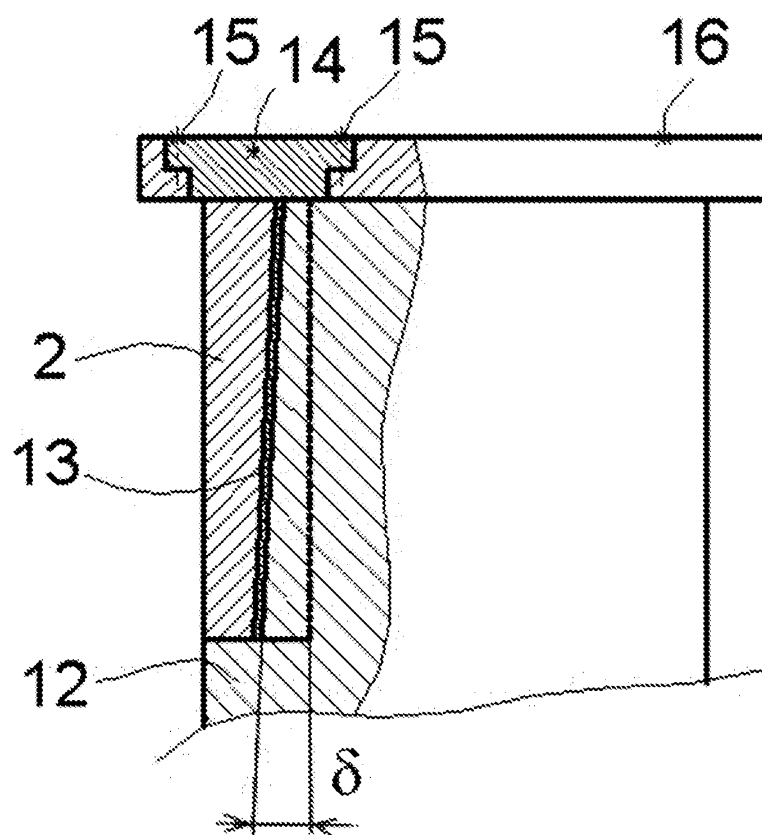
- | | |
|----|-----------------------------|
| 1 | základní profil lopatky |
| 2 | výměnná náběžná hrana |
| 3 | střednice |
| 4 | vymezovací klíny |
| 5 | čep |
| 6 | čelo čepu |
| 7 | spoj |
| 8 | dutina pro vymezovací klíny |
| 9 | rybina |
| 10 | nos |
| 11 | upevňovací pásy |
| 12 | list lopatky |
| 13 | výstelka |
| 14 | kámen |
| 15 | šrouby |
| 16 | bandáž. |



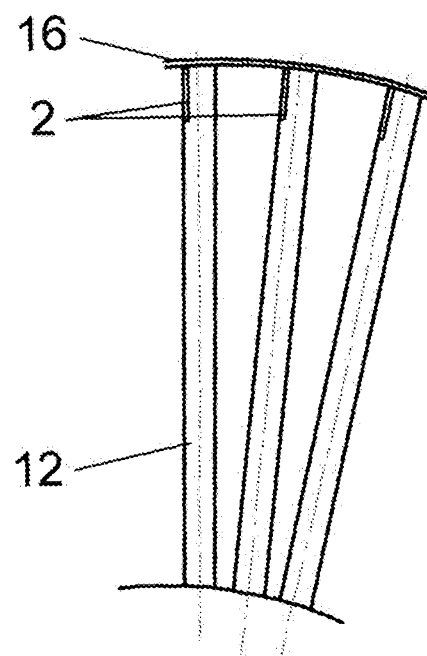
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4