

F01D 11/08 (2006.01)

F01D 11/02 (2006.01)

F02C 7/28 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKAÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: 2022-355
(22) Přihlášeno: 25.08.2022
(40) Zveřejněno: 25.10.2023
(Věstník č. 43/2023)
(47) Uděleno: 13.09.2023
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 25.10.2023
(Věstník č. 43/2023)

(56) Relevantní dokumenty:
EP 0894945 A2; US 3291447 A; WO 8000728 A1; GB 1013835 A; EP 0457240 A1.

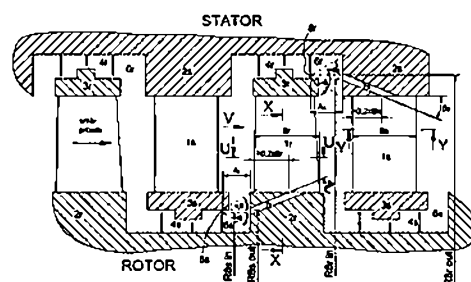
(73) Majitel patentu:
Doosan Škoda Power s.r.o., Plzeň, Jižní Předměstí,
CZ

(72) Původce:
Ing. Zdeněk Šimka, Hlohová, CZ
Ing. Jan Pinkas, Velké Hydčice, CZ
Ing. Miloslav Bílý, Plzeň, Jižní Předměstí, CZ

(74) Zástupce:
Havlík Švorčík a partneři, advokátní a patentová
kancelář, JUDr. Michal Havlík, advokát, Hálkova
1406/2, 120 00 Praha 2, Nové Město

(54) Název vynálezu:
Turbínová sestava axiální turbíny

(57) Anotace:
U turbínové sestavy jsou v upevňovací části druhého kola sestavy alespoň mezi některými sousedícími lopatkami vytvořeny kanálky pro odvádění pracovního média, které uniklo bezkontaktním těsněním prvního kola sestavy, z axiální mezery dále ve směru expanze pracovního média zpět do hlavní proudové cesty. Vstup kanálku se nachází na straně upevňovací části přivrácené bezkontaktnímu těsnění předcházejícího kola radiálně mezi myšlenou kružnicí se středem v ose turbínové sestavy a poloměrem $R_{8in} - 0,6 \cdot A$ a myšlenou kružnicí se středem v ose turbínové sestavy a poloměrem $R_{8out} + 0,6 \cdot A$, kde R_{8in} je vnitřní a R_{8out} vnější poloměr radiální mezery u posledního břítu bezkontaktního těsnění a A je axiální vzdálenost mezi posledním břitem bezkontaktního těsnění a stranou upevňovací části následujícího kola přivrácenou bezkontaktnímu těsnění předcházejícího kola za provozu. Výstup kanálku ústí do hlavního proudového kanálu mezi lopatky v axiální vzdálenosti minimálně $1/5$ celkové axiální šířky lopatkové mříže od náběžné strany lopatek.



Turbínová sestava axiální turbíny

Oblast techniky

5

Předkládaný vynález se týká obecně všech typů axiálních turbín, jak parních (kde pracovním médiem je pára), tak obecně plynových (kde médiem mohou být i spaliny, plyn, vzduch apod.), ve všech jejich variantách.

10

Průtočnou část axiální turbíny tvoří jednotlivé axiální stupně. Stupně jsou tvořeny střídavě za sebou jdoucími statorovými a rotorovými koly.

15

Statorové kolo je tvořeno především lopatkovou mříží, která se skládá z jednotlivých listů lopatek umístěných po obvodu statorového kola jeden vedle druhého. Na vnějším obvodu jsou listy lopatek pevně spojeny upevňovací částí/částmi ke statoru. Upevňovací část může být buď vcelku (včetně u skládaných statorových kol) nebo může každá lopatka mít vlastní dílčí upevňovací část (u frézovaných lopatek). Na vnitřním průměru je statorová lopatková mříž utěsněna vůči rotoru bandáží nebo diskem s bezkontaktním těsněním. Bandáž statorového kola může být buď vcelku pro až polovinu mříže nebo (u frézovaných lopatek) může být integrální u každé lopatky zvlášť.

20

Rotorové kolo je tvořeno především lopatkovou mříží, která se skládá z jednotlivých listů lopatek umístěných po obvodu rotorového kola jeden vedle druhého. Na vnitřním obvodu jsou listy lopatek pevně spojeny upevňovacími částmi k rotoru nebo k rotorovému disku. Na vnějším průměru je rotorová lopatková mříž utěsněna vůči rotoru bandáží s bezkontaktním těsněním. Bandáž rotorového kola může být buď společná pro několik lopatek, nebo u frézovaných lopatek integrální u každé lopatky zvlášť.

25

30

Statorové lopatky mají za úkol urychlit proud pracovního média a nasměrovat jej do obvodového směru, rotorové lopatky mají za úkol zachytit roztočený proud a síly způsobené jejich obtékáním přenést do rotoru. Mezi lopatkovými kanály statorové a rotorové mříže spolu s axiálními mezerami mezi lopatkovými mřížemi tvoří tzv. hlavní proudovou cestu.

35

Uspořádání upevnění rotorových lopatek ovlivňuje konstrukci stupně. Stupeň může být buď bubnového typu, kdy lopatky tvořící rotorové kolo jsou připevněny přímo na tělo rotoru nebo je kolového neboli diskového typu, kdy na rotoru je vytvořen disk a teprve k němu jsou pak připevněny lopatky. Stupně bubnového typu se používají obvykle u stupňů s vyšší reakcí, kdežto kolové stupně se obvykle používají u stupňů s nízkou reakcí.

40

Rotoru musí být umožněn rotační pohyb vůči statoru a případně i určitý axiální pohyb např. kvůli odlišným deformacím způsobeným teplotní roztažností. Kvůli požadavkům na dlouhou životnost se pro tento účel obvykle používají bezkontaktní těsnění, která musí mít určitou mezeru neboli vůli. Mezera/vůle se dělá minimální možná, ale nelze ji zcela uzavřít. Proto se výrobci snaží co nejvíce zmenšit průtokový součinitel bezkontaktního těsnění. Typickými představiteli takových bezkontaktních těsnění jsou labyrinty různého typu – pravý labyrint, nepravý labyrint, těsnění typu břit proti břitu. Dále mezi bezkontaktní těsnění patří i voštinová těsnění, která pracují na podobném principu a lze je proto také považovat za labyrintové těsnění, jen břity labyrintu mají komplikovanější tvar. Bezkontaktní těsnění spolu s axiálními mezerami před ním a za ním, které je napojují na hlavní proudovou cestu, tvoří tzv. vedlejší proudovou cestu.

45

50

Bezkontaktním těsněním tedy protéká určité malé množství pracovního média, kterému se říká vedlejší proud (na rozdíl od hlavního proudu procházejícího přes lopatky). Vedlejší proudy jsou zdrojem ztrát. Ztráty jsou způsobeny jednak samotnou netěsností – médiem obcházející přes těsnění statorové lopatky se neurychlí na potřebnou rychlost, médiem obcházející rotorové lopatky na ně nemůže silově působit a pohánět tak rotor. Další ztráty vznikají v místě, kde se vedlejší proud média uniklého těsněním vrací zpět do hlavního proudu. Dochází zde totiž

55

k míchání proudů, které mají odlišný směr a velikost rychlosti. Navíc dochází k nepříznivé interakci obou proudů v citlivé oblasti před následující lopatkovou mříží. Zde se totiž utváří sekundární víry, které mohou být touto interakcí zesíleny.

- 5 Všechny tyto ztráty závisí na množství média tekoucího vedlejšími proudy. Proto jednou z cest pro snížení těchto ztrát je zmenšení průtoku bezkontaktním těsněním. Toto snížení má ale své limity dané nutností spolehlivého provozu v celém provozním rozsahu stroje.

10 Dosavadní stav techniky

Ve standardním provedení stupně obvykle ústí bezkontaktní těsnění do axiální mezery (tzv. „kavity“) mezi bandáží, popřípadě diskem, a upevňovací částí lopatek ve směru hlavního proudu následujícího kola. Vedlejší proud vystupuje z bezkontaktního těsnění poměrně vysokou rychlostí, setrvačností překoná axiální mezeru a narazí do čelní plochy upevňovací části následujícího kola, o kterou se ohne a axiální složka rychlosti se přemění na radiální, obvodová složka proudu se při tom jen trochu zmenší třením. Do hlavního proudu tak vedlejší proud vstupuje s vysokou radiální složkou a v souřadném systému spojeném s lopatkovou mříží následujícího kola i vysokou obvodovou složkou. Obě tyto složky se výrazně liší od složek rychlosti hlavního proudu a při interakci proudů kvůli tomu dochází k vysokým ztrátám.

Pro snížení ztrát vznikajících při interakci mezi vedlejším proudem vracejícím se z těsnění do hlavního proudu se používají různá řešení. Například v US 9476315 B2 se popisuje řešení, které maří obvodovou složku rychlosti vedlejšího proudu. Zmenší se tím rozdíl mezi obvodovou složkou hlavního proudu, která je velmi malá, a obvodovou složkou rychlosti vedlejšího proudu. Díky tomu se zmenší ztráty způsobené mícháním obou proudů a také ztráta zvýšením sekundárních ztrát v mříži následující dále po proudu. Nevýhodou je, že se tím ztratí část kinetické energie vedlejšího proudu, kterou by bylo možno využít.

30 Další možností, jak tyto ztráty snížit jsou kanálky v upevňovacích částech statoru nebo případně i rotoru, které umožňují vedlejšímu proudu obtéct následující lopatkovou mříž a za ní opět zaplnit těsnění po proudu následující lopatkové mříže (např. DE 4331779 A1, US 8147180 B2, US 5328326 nebo US 10041368 B2). Vedlejší proud se tak prakticky nevrací do hlavního proudu, neovlivňuje jej a prakticky nezvyšuje ztráty v mříži. Nevýhodou je, že kinetická energie obsažená ve vedlejším proudu se v tomto případě nevyužije vůbec.

Žádné z výše uvedených řešení tedy neřeší využití kinetické energie vedlejšího proudu. Přitom kinetická energie vedlejšího proudu v proudění relativním vůči následující mříži je větší než kinetická energie hlavního proudu. Využitím kinetické energie vycházející z ucpávky se zabývá např. patent US 5328326 (viz obr. 5 tohoto dokumentu), kde je zkosená upevňovací část rotorových lopatek, médium proudící z těsnění statorového kola díky tomu může naproudit mezi rotorové lopatky a jeho kinetická energie se alespoň částečně využije. Velkou nevýhodou však je, že v relativním souřadném systému má vedlejší proud velkou obvodovou složku ve směru proti rotaci rotorových lopatek a proud tak naráží na podtlakovou (hřbetní) stranu rotorových lopatek, což jednak způsobuje jejich brždění, jednak to je stejný směr v jakém se roztáčí sekundární vír. Vedlejší proud tak zintenzivňuje sekundární vír a zvětšuje sekundární ztráty.

Tento problém se snaží řešit dokument DE 2140720 A1, který má podobně tvarovanou upevňovací část na patě rotorových lopatek jako předchozí, navíc je zde ale výstupek z disku statorového kola, který překrývá tento tvar. Výstupek směřuje vedlejší proud do axiálního směru. Na jeho vnitřní straně obtékané vedlejším proudem jsou pak vytvořeny drážky, které směřují vedlejší proud do správného obvodového směru. Účinnost tohoto směřování je ale velmi malá a toto řešení je spojeno s velkými ztrátami kinetické energie vedlejšího proudu. Navíc tento výstupek disku prodlužuje axiální délku stupně, což vede při dané ložiskové vzdálenosti k menšímu počtu stupňů a k horší účinnosti turbíny.

Podstata vynálezu

Výše uvedené nedostatky dosavadního stavu techniky odstraňuje turbínová sestava podle tohoto vynálezu, tak jak je definována v nárocích 1 a 9, resp. axiální turbína podle nároku 20.

5

Tato zařízení snižují ztráty v axiální turbíně, které vznikají při návratu vedlejších proudů procházejících netěsnostmi do hlavního proudu.

10

V případě turbínové sestavy tvořené statorovým kolem a ve směru proudění pracovního média na něj navazujícím rotorovým kolem se pro takovou turbínovou sestavu (angl. „turbine assembly“) používá označení turbínový stupeň (angl. „turbine stage“). Pro účel popisu tohoto vynálezu budeme pod obecný termín turbínová sestava zahrnovat jak dvojici statorové kolo – rotorové kolo, tak dvojici rotorové kolo – statorové kolo, které za ním ve směru hlavního proudu pracovního média následuje.

15

U turbínové sestavy podle tohoto vynálezu jsou v upevňovací části (ve směru proudění pracovního média) druhého kola sestavy (tj. rotorového, resp. statorového kola) alespoň mezi některými sousedícími lopatkami vytvořeny kanálky pro odvádění pracovního média, které uniklo labyrintovým těsněním (ve směru proudění pracovního média) prvního kola sestavy (tj. statorového, resp. rotorového kola), a jeho zavedení zpět do hlavní proudové cesty.

20

25

Vstup kanálku se podle tohoto vynálezu nachází na straně upevňovací části přivrácené labyrintovému těsnění předcházejícího kola radiálně mezi myšlenou kružnicí se středem v ose turbínové sestavy a poloměrem $R\delta_{in} - 0,6 \cdot A$ a myšlenou kružnicí se středem v ose turbínové sestavy a poloměrem $R\delta_{out} + 0,6 \cdot A$, kde $R\delta_{in}$ je vnitřní a $R\delta_{out}$ vnější poloměr radiální mezery (označovaná běžně jako radiální vůle, angl. „radial clearance“) u posledního břitu labyrintového těsnění, a A je axiální vzdálenost mezi posledním břitem labyrintového těsnění a stranou upevňovací části následujícího kola přivrácenou labyrintovému těsnění předcházejícího kola za provozu (axiální vzdálenost mezi radiální vůlí posledního břitu a upevňovací částí lopatky může u některých typů ucpávek být jiná za provozu a v klidovém stavu turbíny).

30

Výstup kanálku podle tohoto vynálezu ústí do hlavního proudového kanálu mezi lopatky v axiální vzdálenosti minimálně 1/5 celkové axiální šířky lopatkové mříže od náběžné strany lopatek.

35

40

Řešení podle tohoto vynálezu snižuje ztráty mícháním a interakcí vedlejších proudů s hlavním a zvyšuje celkovou účinnost turbínové sestavy a tím i celé turbíny. Toto řešení je založeno na vytvoření kanálků, které vhodným způsobem svádí vedlejší proud z bezkontaktního těsnění do lopatkové mříže, která následuje po proudu za daným bezkontaktním těsněním. Kanálky usměrňují vedlejší proud tak, aby nenarušoval hlavní proud a aby se využila jeho kinetická energie pro snížení ztrát a zvýšení práce konané stupněm. Kanálky jsou umístěny v upevňovacích částech kol následujících po proudu za danou ucpávkou, díky tomu nezvětšují axiální délku stupně. Při tom je zde dostatek místa na to, aby se vedlejší proud správně nasměroval, a až po tomto nasměrování je vedlejší proud zaveden do hlavního mezilopatkového kanálu. Kanálky lze vytvořit v upevňovacích částech rotorových lopatek i v upevňovacích částech statorových lopatek, a to u stupňů bubnového i kolového (diskového) typu.

45

Výhodná provedení jsou předmětem závislých patentových nároků. S výhodou u turbínové sestavy podle tohoto vynálezu:

50

- kanálky jsou vytvořeny mezi všemi lopatkami kola,
- vstup kanálku se nachází na straně upevňovací části přivrácené labyrintovému těsnění předcházejícího kola radiálně v úrovni mezery u posledního břitu labyrintového těsnění, tj. ve stejné radiální vzdálenosti od osy turbínové sestavy v jaké se nachází radiální mezera;

55

pracovní médium tak může proudit z radiální mezery u posledního břitu labyrintového těsnění přímo do vstupu kanálku,

- vstup kanálku se v obvodovém směru rozprostírá v podstatě přes celou šířku mezilopatkového kanálu v obvodovém směru mezi sousedícími lopatkami, tj. v podstatě přes celou rozteč mezi lopatkami,
- radiální výška kanálku na vstupu je větší nebo rovna radiální velikosti mezery u posledního břitu labyrintového těsnění ($R\delta_{out} - R\delta_{in}$), s výhodou leží mezi $(R\delta_{out} - R\delta_{in})$ a $4 \cdot (R\delta_{out} - R\delta_{in})$,
- výstup kanálku ústí do hlavního proudového kanálu mezi lopatky pod úhlem (měřeno v meridiální rovině od plochy omezující mezilopatkový kanál v místě vyústění kanálku) menším než 45° , přičemž s výhodou má tento úhel velikost menší než 26° ,
- na bandáži prvního kola sestavy je vytvořen ještě nejméně jeden další, přídavný břit labyrintového těsnění, a na upevňovací části druhého kola (nebo přímo na rotoru, resp. statoru) je před vstupem kanálku vytvořena válcová plocha tvořící s tímto přídavným břitem poslední radiální mezeru labyrintového těsnění a spojující tuto poslední radiální mezeru labyrintového těsnění se vstupem kanálku. U turbínové sestavy tvořené statorovým kolem a ve směru proudění pracovního média za ním uspořádaným rotorovým kolem (tj. pro kanálky vytvořené v rotoru) může být (zejména u kolového (diskového) typu turbínového stupně) přídavný břit vytvořen přímo na statorovém disku a válcová plocha přímo na rotorovém kole, zejména na rotorovém disku.
- výstupní průřez kanálku má plochu o velikosti mezi 20 % a 120 %, s výhodou 85 %, plochým mezery u posledního břitu labyrintového těsnění připadající na jednu lopatku druhého kola sestavy.

Pro plochu $F_{S_{seal}}$ mezery u posledního břitu labyrintového těsnění statoru připadající na jednu rotorovou lopatku v případě obvyklé kruhové mezery u posledního těsnícího břitu labyrintového těsnění statoru bude platit

$$F_{S_{seal}} = \frac{\pi \cdot (R\delta_{out}^2 - R\delta_{in}^2)}{Nr},$$

kde Nr je celkový počet rotorových lopatek v rotorovém kole.

Pro plochu $F_{r_{seal}}$ mezery u posledního břitu labyrintového těsnění rotoru připadající na jednu statorovou lopatku v případě obvyklé kruhové mezery u posledního těsnícího břitu labyrintového těsnění rotoru bude platit

$$F_{r_{seal}} = \frac{\pi \cdot (R\delta_{out}^2 - R\delta_{in}^2)}{Ns},$$

kde Ns je celkový počet statorových lopatek ve statorovém kole.

U turbínové sestavy tvořené rotorovým kolem a ve směru proudění pracovního média za ním uspořádaným statorovým kolem (tj. pro kanálky vytvořené ve statoru) dále s výhodou:

- výstup kanálku se v obvodovém směru rozprostírá v podstatě přes celou šířku mezilopatkového kanálu v obvodovém směru mezi sousedícími lopatkami statorového kola,
- radiální výška kanálku na výstupu do hlavního mezilopatkového kanálu je 0,25 až 1,1 násobek jeho radiální výšky na vstupu, s výhodou 70 % jeho radiální výšky na vstupu,

- výstup kanálku ústí do hlavního proudového kanálu mezi lopatky statorového kola v axiální vzdálenosti minimálně $1/2 \cdot Bs$, s výhodou mezi $0,64 \cdot Bs$ a $0,86 \cdot Bs$ od náběžné strany lopatek, kde Bs je celková axiální šířka statorové mříže v místě jejího napojení na upevňovací část.

5 Veškeré směry (radiální, obvodový, axiální, podélný apod.) jsou v celém textu pojmenovávány ve vztahu k hlavní ose turbíny. Jako „meridiální“ je označena rovina obsahující hlavní osu turbíny.

10 Objasnění výkresů

Vynález bude blíže vysvětlen prostřednictvím konkrétních příkladů provedení znázorněných na výkresech, na kterých představují:

15

Obr. 1 – podélný řez průtočnou částí s axiálními stupni bubnového typu s válcovými omezujícími plochami na patě a špičce a bezkontaktními těsněními statorového i rotorového kola typu pravý labyrint. Standardní provedení podle dosavadního stavu techniky.

20

Obr. 2 – podélný řez průtočnou částí s axiálními stupni bubnového typu s válcovými omezujícími plochami na patě a špičce a bezkontaktními těsněními statorového i rotorového kola typu pravý labyrint. Zobrazeny jsou kanálky v upevňovacích částech rotorových a statorových lopatek.

25

Obr. 3 – řez U-U z obr. 2 zobrazující pohled radiálním dostředivým směrem na upevňovací část rotorových lopatek s tvarem kanálku a jeho výstupu.

30

Obr. 4a – řez Y-Y z obr. 2 zobrazující pohled radiálním odstředivým směrem na upevňovací části statorových lopatek s tvarem kanálku. Provedení se samostatným deflektorem 9s pro provedení skládaných statorových kol s taženými profily listů lopatek.

35

Obr. 4b – řez Y-Y z obr. 2 zobrazující pohled radiálním odstředivým směrem na upevňovací části statorových lopatek s tvarem kanálku. Tvar kanálku pro provedení statorových kol s listy lopatek frézovanými vcelku s upevňovacími částmi.

40

Obr. 5 – řez Z-Z z obr. 4a zobrazující řez kanálkem vytvořeným mezi samostatným deflektorem 9s a upevňovací částí 2s pro provedení skládaných statorových kol s taženými profily listů lopatek.

Obr. 6 – detail čelního pohledu V na rotorové kolo z obr. 2 zobrazující vstupy do kanálků v upevňovacích částech rotorových lopatek.

45

Obr. 7 – čelní řez X-X rotorovým kolem z obr. 2 zobrazující průřezy kanálků v upevňovacích částech rotorových lopatek.

50

Obr. 8 – podélný řez průtočnou částí s axiálními stupni bubnového typu s kuželovými omezujícími plochami na patě a špičce a bezkontaktními těsněními statorového i rotorového kola typu pravý labyrint. Zobrazeny jsou kanálky v upevňovacích částech rotorových a statorových lopatek.

Obr. 10 – podélný řez průtočnou částí s axiálními stupni bubnového typu s kuželovými omezujícími plochami na patě a špičce a bezkontaktními těsněními statorového i rotorového kola typu břit-břit. Zobrazeny jsou kanálky v upevňovacích částech rotorových a statorových lopatek.

5 Obr. 11 – podélný řez průtočnou částí s axiálními stupni bubnového typu s válcovými omezujícími plochami na patě a špičce a bezkontaktními těsněními statorového i rotorového kola voštinového typu. Zobrazeny jsou kanálky v upevňovacích částech rotorových a statorových lopatek.

10 Obr. 12 – podélný řez průtočnou částí s axiálními stupni bubnového typu s kuželovými omezujícími plochami na patě a špičce a bezkontaktními těsněními statorového i rotorového kola typu pravý labyrint s přidavnými břitmi ve výstupních částech těsnění 10s a 10r. Zobrazeny jsou kanálky v upevňovacích částech rotorových a statorových lopatek a válcové plochy 11r a 11s těsnící proti přidavným břitům a navádějící pracovní médium do vstupu kanálku.

15 Obr. 13 – podélný řez průtočnou částí s axiálními stupni kolového (diskového) typu s kuželovými omezujícími plochami na patě a špičce a bezkontaktními těsněními statorového i rotorového kola typu pravý labyrint s přidavnými břitmi ve výstupních částech těsnění 10s a 10r. Zobrazeny jsou kanálky v upevňovacích částech rotorových a statorových lopatek a válcové plochy 11r a 11s těsnící proti přidavným břitům a navádějící pracovní médium do vstupu kanálku.

20

Příklady uskutečnění vynálezu

25 Příklad 1

Na obr. 2 v dolní části je zobrazena turbínová sestava axiální turbíny, tvořená statorovým kolem a ve směru proudění pracovního média za ním uspořádaným rotorovým kolem neboli turbínový stupeň, v tomto případě bubnového typu, kdy lopatky tvořící rotorové kolo jsou připevněny
30 přímo na tělo rotoru. Statorové kolo se skládá z listů lopatek 1s umístěných po obvodu statorového kola jedna vedle druhé a vytvářejících tak statorovou lopatkovou mříž, z upevňovací části 2s, kterou jsou lopatky 1s připevněny ke statoru a která zároveň těsní lopatkovou mříž na vnějším obvodu, přičemž na vnitřním obvodu je lopatková mříž utěsněna vůči rotoru bandáží 3s s bezkontaktním labyrintovým těsněním 4s. Rotorové kolo se skládá z listů lopatek 1r umístěných
35 po obvodu rotorového kola jedna vedle druhé a vytvářejících tak rotorovou lopatkovou mříž, z upevňovací části 2r, kterou jsou lopatky 1r připevněny k rotoru a která zároveň těsní lopatkovou mříž na vnitřním obvodu, přičemž na vnějším obvodu je lopatková mříž utěsněna vůči statoru bandáží 3r s bezkontaktním labyrintovým těsněním 4r.

40 V tomto příkladu provedení se jedná o tzv. pravý labyrint.

V upevňovací části 2r rotorového kola jsou alespoň mezi některými sousedícími lopatkami 1r vytvořeny kanálky 7r pro odvádění pracovního média, které uniklo labyrintovým těsněním 4s, z axiální mezery (tzv. „kavity“) 6s a jeho zavedení zpět do hlavní proudové cesty. Vstup kanálku
45 7r se nachází na straně upevňovací části 2r přivrácené labyrintovému těsnění 4s předcházejícího statorového kola.

Vedlejší proud vystupující z bezkontaktního těsnění statoru 4s vstupuje do kanálku 7r jednak proto, že kanálek je naproti výstupu z bezkontaktního těsnění a proud do něj směřuje setrvačností, jednak kanálek ústí do zadní části hlavního rotorového kanálu, kde je nižší tlak než
50 na vstupu do kanálku a vedlejší proud je tedy odsáván do výstupu z kanálku. Jen velmi malá nebo žádná část vedlejšího proudu tedy vstoupí do hlavního kanálu axiální mezerou, jak by tomu bylo u standardního provedení stupně podle obr. 1. Narušení proudu a intenzifikace sekundárního víru je tak minimální.

55

Ačkoliv je výhodné, když se vstup kanálku nachází přímo naproti výstupu z bezkontaktního těsnění, bylo zjištěno, že kanálek dobře funguje, nachází-li se jeho vstup v poměrně širokém rozmezí úhlů ($-\alpha$, $+\alpha$), určitě pro α od 0° do přibližně 30° , i více, měřeno v meridiální rovině. Tvar kanálku je takový, aby nasměroval vedlejší proud v meridiální rovině pod ostrým úhlem β_r do hlavního proudu tak, aby radiální složka byla malá. V obvodovém směru je kanálek tvarován tak, aby vedlejší proud byl s co nejmenšími ztrátami sveden k podtlakové (hřbetní) straně lopatky. Zde vedlejší proud po vstupu do hlavního kanálu vzhledem ke své vyšší relativní kinetické energii urychlí mezní vrstvu, která se jinak vytvoří na obtékaném povrchu upevňovací části $2r$, a dále tak sníží ztráty rotorových lopatek.

Kanálek může být vytvořen například frézováním tak, že jeho stěny, které ho vymezují v obvodovém směru, jsou tvarovány na upevňovacích částech sousedních lopatek a jeho stěna omezující jej radiálně na straně bližší k hlavnímu kanálu je vytvořena na jedné lopatce a jeho stěna omezující jej radiálně na straně vzdálenější od hlavního kanálu na druhé lopatce. Kanálek tak vznikne přiložením lopatek k sobě, jak je vidět na obr. 6 a obr. 7. To je ale jen jedna z možností vytvoření kanálků. Dalším možností je například vrtání nebo připevnění další součástky (součástek) k upevňovací části $2r$ nebo listům lopatek tak, aby uzavírala kanálek vůči hlavnímu kanálu.

Příklad 2

Další možnou aplikací patentovaného principu jsou kanálky vytvořené v upevňovací části statorových lopatek $2s$, které jsou zobrazeny v horní části obr. 2. Zde je využití omezeno na stupně, které mají bezprostředně před sebou jiný stupeň s bezkontaktním těsněním $4r$ na bandáži rotoru $3r$. Použití kanálků u prvních stupňů průtočných částí nebo u stupňů, které následují za odběry pracovního média z průtočné části, nemá žádný přínos.

Provedení kanálků lze popsat takto – v upevňovací části $2s$ statorového kola jsou alespoň mezi některými sousedícími lopatkami $1s$ vytvořeny kanálky $7s$ pro odvádění pracovního média, které uniklo labyrintovým těsněním $4r$ z axiální mezery (tzv. „kavity“) $6r$ do hlavní proudové cesty. Vstup kanálku $7s$ se nachází na straně upevňovací části $2s$ přivrácené labyrintovému těsnění $4r$ předcházejícího rotorového kola.

Kanálek může být vytvořen frézováním podobně, jak je popsáno výše pro kanálky v upevňovacích částech rotoru a pak je jeho funkce analogická k popsanému. Tato technologie je vhodná pro lopatky vyráběné frézováním, kdy je list lopatky i jeho upevňovací část vyrobena z jednoho kusu. Kanálek je pak možno natvarovat aerodynamicky optimálně, jak je vidět na obr. 4b. Kanálek by měl klást co nejmenší odpor a na výstupu by měl mít dostatečnou průtočnou plochu pro vyproudění média.

Příklad 3

Pro listy statorových lopatek $1s$ vyráběné z tažených profilů a skládané pak s věncem tvořícím upevňovací část $2s$ je vhodná jiná technologie. Věncem upevňovací části $2s$ se tvarově upraví, tak, aby měl tvar vnější omezující plochy kanálku, a vnitřní omezující plochu pak vytvoří deflektor $9s$, který je zde samostatnou součástí s výřezy pro lopatky $1s$, která se vloží mezi lopatky $1s$. Kanálek $7s$ má pak podobu štěrbin mezi deflektorem $9s$ a upevňovací částí $2s$, viz obr. 5. Štěrbínou $7s$ prochází listy lopatek $1s$ a vymezují tak tvar kanálku $7s$ v obvodovém směru. Výstup kanálku $7s$ má pak tvar štěrbin přes celou šířku hlavního mezilopátkového kanálu viz obr. 4a. Vedlejší proud procházející štěrbinou se sice při proudění okolo profilu odtrhne od jeho povrchu, což je spojeno se ztrátami, ale důležité je, že je mu deflektorem $9s$ zabráněno v proudění v radiálním směru podél listu lopatky a zesilování sekundárního víru. Přes zmíněné ztráty si větší část vedlejšího proudu udrží vysokou kinetickou energii a na výstupu z kanálku opět urychlí mezní vrstvu a sníží tak ztráty ve statorové lopátkové mříži $1s$. Dalším přínosným efektem je to, že vedlejší proud média, který má vyšší energii než hlavní proud je nasměrován

dostředivě šikmo pod bandáž následujícího rotorového kola 1r a neuniká tak do rotorového těsnění 4r. Jím vykonaná práce je větší oproti práci, kterou by vykonalo stejné průtočné množství hlavního proudu.

5 Příklad 4

Obr. 8 ukazuje obdobné řešení jako předchozí příklady 1 až 3, ale zobrazené stupně se odlišují kuželovými plochami na omezujících plochách upevňovacích částí 2s a 2r a na bandážích 3s a 3r.

10 Příklad 5

Obr. 9 ukazuje obdobné řešení jako předchozí příklady 1 až 3, ale liší se bezkontaktními těsněními typu nepravý labyrint.

15 Příklad 6

Obr. 10 ukazuje obdobné řešení jako předchozí příklady 1 až 3, ale liší se bezkontaktními těsněními typu břit-břit (angl. „fin-fin“).

20 Příklad 7

Obr. 11 ukazuje obdobné řešení jako předchozí příklady 1 až 3, ale liší se bezkontaktními těsněními typu voština (angl. „honeycomb“) 12s, 12r.

25 Příklad 8

Podle obr. 12 je stejný jako předchozí příklady 1 až 3, ale liší se přídavnými břity 10s a 10r ve výstupních částech bezkontaktních těsnění 4s a 4r. Přídavné břity zlepšují těsnění a spolu s protilehlými válcovými plochami 11r a 11s lépe směřují proud do kanálků 7r a 7s.

30

Příklad 9

Podle obr. 13 je uspořádání pro stupně kolového (diskového) typu. Na rozdíl od stupňů bubnového typu (předchozí příklady 1 až 8) statorová lopatková mříž v tomto příkladu provedení na vnitřním průměru není těsněna bandáží, ale diskem 13s, který na svém vnitřním průměru nese bezkontaktní těsnění 4s. Na rotoru jsou vytvořeny disky 13r, ke kterým jsou připevněny upevňovací části 2r rotorových lopatek 1r. Protože radiální vzdálenost mezi těsněním statorového kola 4s a kanálkem 7r v upevňovací části 2r je příliš velká, kinetická energie vedlejšího proudu vystupujícího ze 4s se na této trase ztratí. Na vnějším průměru statorového disku 13s je proto vytvořen ještě nejméně jeden přídavný břit 10s, který spolu s válcovou plochou 11r vytvořenou na rotorovém disku 13r nebo na upevňovací části 2r znovu urychlí vedlejší proud a nasměruje jej do kanálku 7r. Tento přídavný břit potom v tomto provedení představuje poslední břit labyrintového těsnění ve smyslu definice uvedené v patentových nárocích.

45 Poznámka ke značení:

Přidané malé písmenko „r“, resp. „s“, u vztahových značek a označení jednotlivých rozměrů označuje příslušný prvek/rozměr vztahující se k rotoru („r“) resp. statoru („s“), přičemž v popisu se v některých případech vyskytují i označení bez těchto „indexů“, v případě, kdy není rozlišeno, zda se příslušný prvek/rozměr vztahuje k rotoru nebo statoru. Díky tomu by měla být jasnější analogie řešení pro kanálky v rotorovém kole, resp. statorovém kole.

50

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Turbínová sestava axiální turbíny, tvořená statorovým kolem a ve směru proudění pracovního média za ním uspořádaným rotorovým kolem, neboli turbínový stupeň,

– přičemž statorové kolo se skládá z listů lopatek (1s) umístěných po obvodu statorového kola jedna vedle druhé a vytvářejících tak statorovou lopatkovou mříž, z upevňovací části (2s), kterou jsou lopatky (1s) připevněny ke statoru a která zároveň těsní lopatkovou mříž na vnějším obvodu, přičemž na vnitřním obvodu je lopatková mříž utěsněna vůči rotoru bandáží (3s) nebo statorovým diskem (13s) s bezkontaktním těsněním (4s), a

– rotorové kolo se skládá z listů lopatek (1r) umístěných po obvodu rotorového kola jedna vedle druhé a vytvářejících tak rotorovou lopatkovou mříž, z upevňovací části (2r), kterou jsou lopatky (1r) připevněny k rotoru nebo k rotorovému disku (13r) a která zároveň těsní lopatkovou mříž na vnitřním obvodu, přičemž na vnějším obvodu je lopatková mříž utěsněna vůči statoru bandáží (3r) s bezkontaktním těsněním (4r),

vyznačující se tím, že

v upevňovací části (2r) rotorového kola jsou alespoň mezi některými sousedícími lopatkami (1r) vytvořeny kanálky (7r) pro odvádění pracovního média, které uniklo bezkontaktním těsněním (4s), z axiální mezery (6s) do hlavní proudové cesty, přičemž

– vstup kanálku (7r) se nachází na straně upevňovací části (2r) přivrácené bezkontaktnímu těsnění (4s) předcházejícího statorového kola radiálně mezi

– myšlenou kružnicí se středem v ose turbínové sestavy a poloměrem $R\delta s_{in} - 0,6 * Ar$

– a myšlenou kružnicí se středem v ose turbínové sestavy a poloměrem $R\delta s_{out} + 0,6 * Ar$

kde

$R\delta s_{in}$ je vnitřní poloměr radiální mezery (8s) u posledního břitu bezkontaktního těsnění (4s),

$R\delta s_{out}$ je vnější poloměr radiální mezery (8s) u posledního břitu bezkontaktního těsnění (4s), a

Ar je axiální vzdálenost mezi posledním břitem bezkontaktního těsnění (4s) a stranou upevňovací části (2r) následujícího rotorového kola přivrácenou bezkontaktnímu těsnění (4s) předcházejícího statorového kola za provozu,

– výstup kanálku (7r) ústí do hlavního proudového kanálu mezi lopatky (1r) v axiální vzdálenosti minimálně $1/5 * Br$ od náběžné strany lopatek (1r), kde (Br) je celková axiální šířka rotorové mříže v místě jejího napojení na upevňovací část (2r).

2. Turbínová sestava podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že kanálky (7r) jsou vytvořeny mezi každými dvěma sousedícími lopatkami (1r) rotorového kola.

3. Turbínová sestava podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že vstup kanálku (7r) se nachází na straně upevňovací části (2r) přivrácené bezkontaktnímu těsnění (4s) předcházejícího statorového kola radiálně v úrovni mezery (8s) u posledního břitu bezkontaktního těsnění (4s).

4. Turbínová sestava podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že vstup kanálku (7r) se v obvodovém směru rozprostírá přes celou šířku mezilopatkového kanálu v obvodovém směru mezi sousedícími lopatkami (1r) rotorového kola.

5. Turbínová sestava podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že radiální výška kanálku (7r) na vstupu je větší nebo rovna radiální velikosti mezery (8s) u posledního břitu bezkontaktního těsnění (4s) $R8s_{out} - R8s_{in}$, s výhodou leží mezi $(R8s_{out} - R8s_{in})$ a $4 \cdot (R8s_{out} - R8s_{in})$.

6. Turbínová sestava podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že výstupní průřez kanálku (7r) má plochu o velikosti mezi 20 % a 120 %, s výhodou 85 %, plochy F_{seal} mezery (8s) u posledního břitu bezkontaktního těsnění (4s) připadající na jednu rotorovou lopatku.

7. Turbínová sestava podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že výstup kanálku (7r) ústí do hlavního proudového kanálu mezi lopatky (1r) pod úhlem (βr), měřeno v meridiální rovině od plochy omezující mezilopatkový kanál v místě vyústění kanálku (7r), menším než 45° , přičemž s výhodou má úhel (βr) velikost menší než 26° .

8. Turbínová sestava podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že

na bandáži (3s) statorového kola nebo na statorovém disku (13s) je vytvořen ještě nejméně jeden další, přídavný břit (10s) bezkontaktního těsnění (4s), a

na upevňovací části (2r) nebo přímo na rotoru nebo na rotorovém disku (13r) je vytvořena válcová plocha (11r), tvořící s tímto přídavným břitem poslední radiální mezeru (8s) bezkontaktního těsnění (4s) a spojující radiálně vnitřní stranu této poslední radiální mezery (8s) bezkontaktního těsnění (4s) s radiálně vnitřní stranou vstupu kanálku (7r).

9. Turbínová sestava axiální turbíny, tvořená rotorovým kolem a ve směru proudění pracovního média za ním uspořádaným statorovým kolem,

– přičemž rotorové kolo se skládá z listů lopatek (1r) umístěných po obvodu rotorového kola jedna vedle druhé a vytvářejících tak rotorovou lopatkovou mříž, z upevňovací části (2r), kterou jsou lopatky (1r) připevněny k rotoru nebo k rotorovému disku (13r) a která zároveň těsní lopatkovou mříž na vnitřním obvodu, přičemž na vnějším obvodu je lopatková mříž utěsněna vůči statoru bandáží (3r) s bezkontaktním těsněním (4r), a

– statorové kolo se skládá z listů lopatek (1s) umístěných po obvodu statorového kola jedna vedle druhé a vytvářejících tak statorovou lopatkovou mříž, z upevňovací části (2s), kterou jsou lopatky (1s) připevněny ke statoru a která zároveň těsní lopatkovou mříž na vnějším obvodu, přičemž na vnitřním obvodu je lopatková mříž utěsněna vůči rotoru bandáží (3s) nebo statorovým diskem (13s) s bezkontaktním těsněním (4s),

vyznačující se tím, že

v upevňovací části (2s) statorového kola jsou alespoň mezi některými sousedícími lopatkami (1s) vytvořeny kanálky (7s) pro odvádění pracovního média, které uniklo bezkontaktním těsněním (4r), z axiální mezery (6r) do hlavní proudové cesty, přičemž

– vstup kanálku (7s) se nachází na straně upevňovací části (2s) přivrácené bezkontaktnímu těsnění (4r) předcházejícího rotorového kola radiálně mezi

– myšlenou kružnicí se středem v ose turbínové sestavy a poloměrem $R8r_{in} - 0,6 \cdot As$

– myšlenou kružnicí se středem v ose turbínové sestavy a poloměrem $R8r_{out} + 0,6 \cdot As$

kde

$R8r_{in}$ je vnitřní poloměr radiální mezery (8r) u posledního břitu bezkontaktního těsnění (4r),

$R8r_{out}$ je vnější poloměr radiální mezery (8r) u posledního břitu bezkontaktního těsnění (4r), a

A_s je axiální vzdálenost mezi posledním břitem bezkontaktního těsnění (4r) a stranou upevňovací části (2s) následujícího statorového kola přivrácenou bezkontaktnímu těsnění (4r) předcházejícího rotorového kola za provozu,

– výstup kanálku (7s) ústí do hlavního proudového kanálu mezi lopatky (1s) v axiální vzdálenosti minimálně $1/5 \cdot B_s$ od náběžné strany lopatek (1s), kde B_s je celková axiální šířka statorové mříže v místě jejího napojení na upevňovací část (2s).

10. Turbínová sestava podle nároku 9, **vyznačující se tím**, že kanálky (7s) jsou vytvořeny mezi každými dvěma sousedícími lopatkami (1s) statorového kola.

11. Turbínová sestava podle nároku 9, **vyznačující se tím**, že vstup kanálku (7s) se nachází na straně upevňovací části (2s) přivrácené bezkontaktnímu těsnění (4r) předcházejícího rotorového kola radiálně v úrovni mezery (8r) u posledního břitu bezkontaktního těsnění (4r).

12. Turbínová sestava podle nároku 9, **vyznačující se tím**, že vstup kanálku (7s) se v obvodovém směru rozprostírá přes celou šířku mezilopatkového kanálu v obvodovém směru mezi sousedícími lopatkami (1s) statorového kola.

13. Turbínová sestava podle nároku 9, **vyznačující se tím**, že radiální výška kanálku (7s) na vstupu je větší nebo rovna radiální velikosti mezery (8r) u posledního břitu bezkontaktního těsnění (4r) ($R8r_{out} - R8r_{in}$), s výhodou leží mezi ($R8r_{out} - R8r_{in}$) a $4 \cdot (R8r_{out} - R8r_{in})$.

14. Turbínová sestava podle nároku 9, **vyznačující se tím**, že výstup kanálku (7s) se v obvodovém směru rozprostírá přes celou šířku mezilopatkového kanálu v obvodovém směru mezi sousedícími lopatkami (1s) statorového kola.

15. Turbínová sestava podle nároku 14, **vyznačující se tím**, že radiální výška kanálku (7s) na výstupu do hlavního mezilopatkového kanálu je 0,25 až 1,1 násobek jeho radiální výšky na vstupu, s výhodou 70 % jeho radiální výšky na vstupu.

16. Turbínová sestava podle nároku 9, **vyznačující se tím**, že výstup kanálku (7s) ústí do hlavního proudového kanálu mezi lopatky (1s) v axiální vzdálenosti minimálně $1/2 \cdot B_s$ od náběžné strany lopatek (1s), s výhodou mezi $0,64 \cdot B_s$ a $0,86 \cdot B_s$ od náběžné strany lopatek (1s), kde B_s je celková axiální šířka statorové mříže v místě jejího napojení na upevňovací část (2s).

17. Turbínová sestava podle nároku 9, **vyznačující se tím**, že výstupní průřez kanálku (7s) má plochu o velikosti mezi 20 % a 120 %, s výhodou 85 %, plochy Fr_{seal} mezery (8r) u posledního břitu bezkontaktního těsnění (4r) připadající na jednu statorovou lopatku.

18. Turbínová sestava podle nároku 9, **vyznačující se tím**, že výstup kanálku (7s) ústí do hlavního proudového kanálu mezi lopatky (1s) pod úhlem (β_s), měřeno v meridiální rovině od plochy omezující mezilopatkový kanál v místě vyústění kanálku (7s), menším než 45° , přičemž s výhodou má úhel (β_s) velikost menší než 26° .

19. Turbínová sestava podle nároku 9, **vyznačující se tím**, že

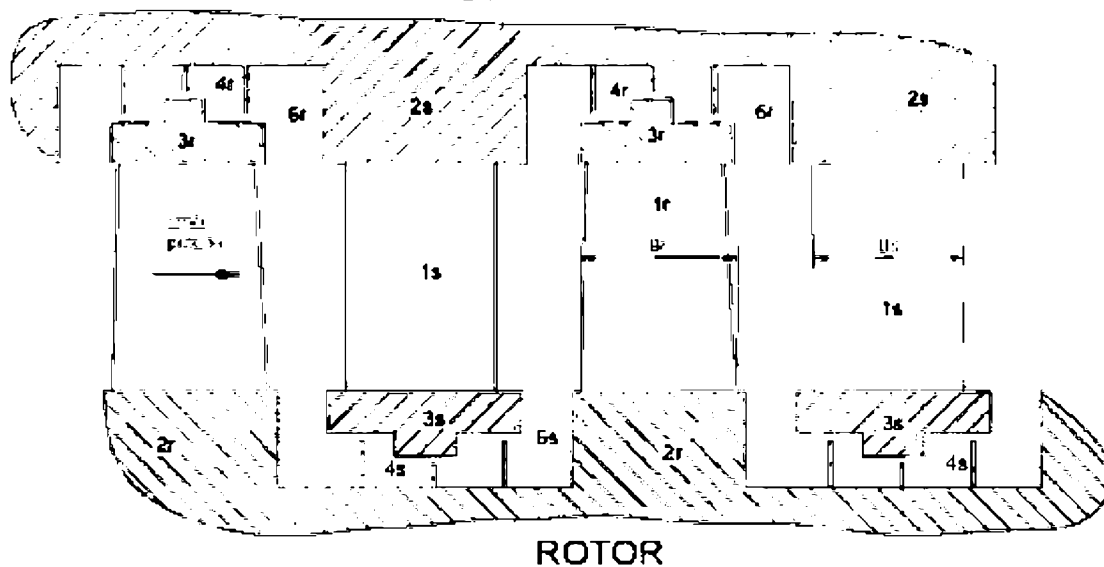
na bandáži (3r) rotorového kola je vytvořen ještě nejméně jeden další, přídavný břit (10r) bezkontaktního těsnění (4r), a

na upevňovací části (2s) nebo přímo na statoru je vytvořena válcová plocha (11s), tvořící s tímto přídavným břitem poslední radiální mezeru (8r) bezkontaktního těsnění (4r) a spojující radiálně vnější stranu této poslední radiální mezery (8r) bezkontaktního těsnění (4r) s radiálně vnější stranou vstupu kanálku (7s).

20. Axiální turbína, **vyznačující se tím**, že zahrnuje alespoň jednu turbínovou sestavu podle nároku 1 a/nebo alespoň jednu turbínovou sestavu podle nároku 9.

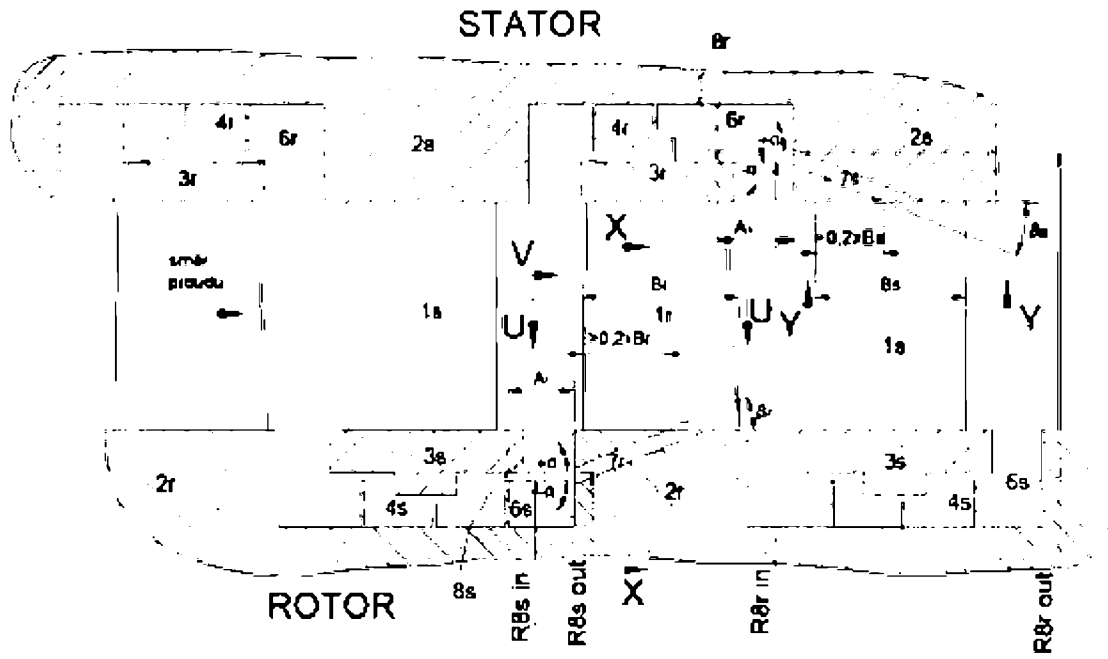
10 výkresů

STATOR

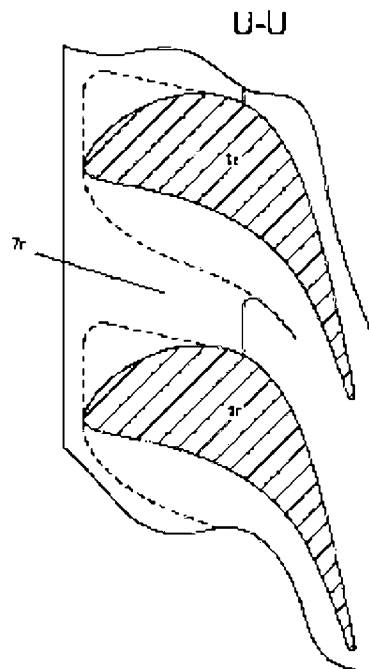


ROTOR

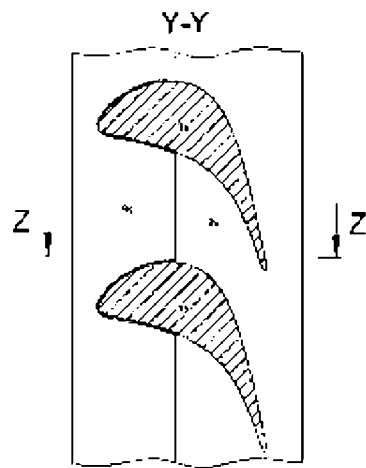
Obr. 1 (dosavadní stav techniky)



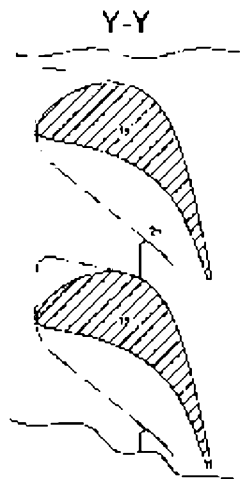
Obr. 2



Obr. 3

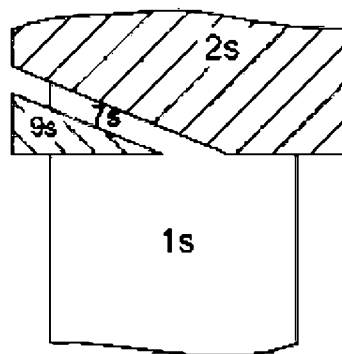


Obr. 4a

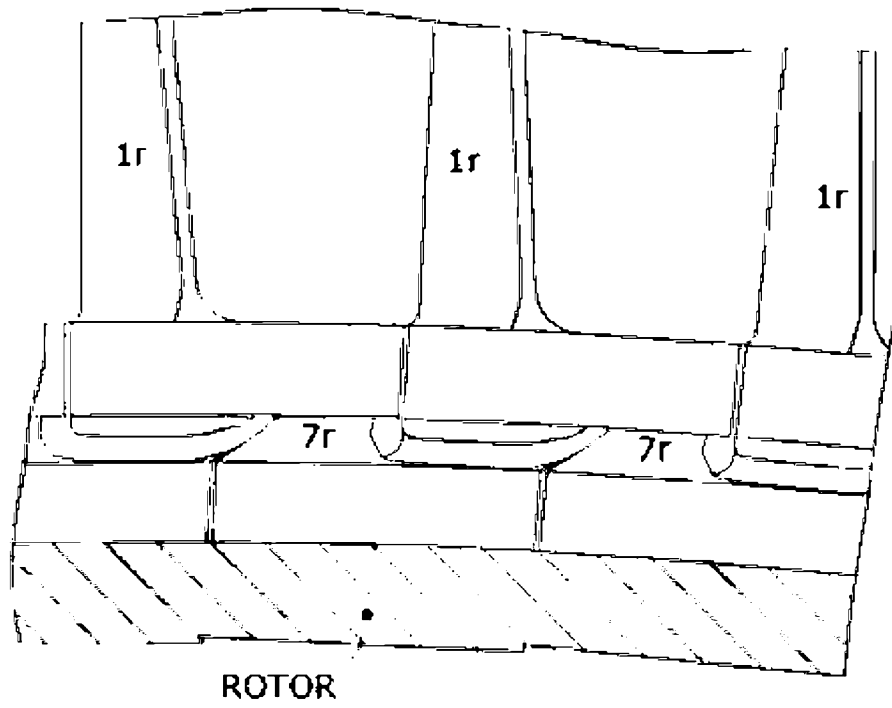


Obr. 4b

Z-Z

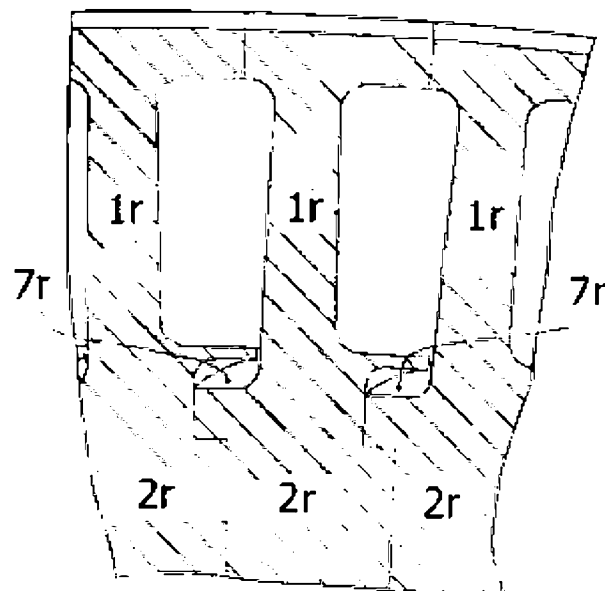


Obr. 5

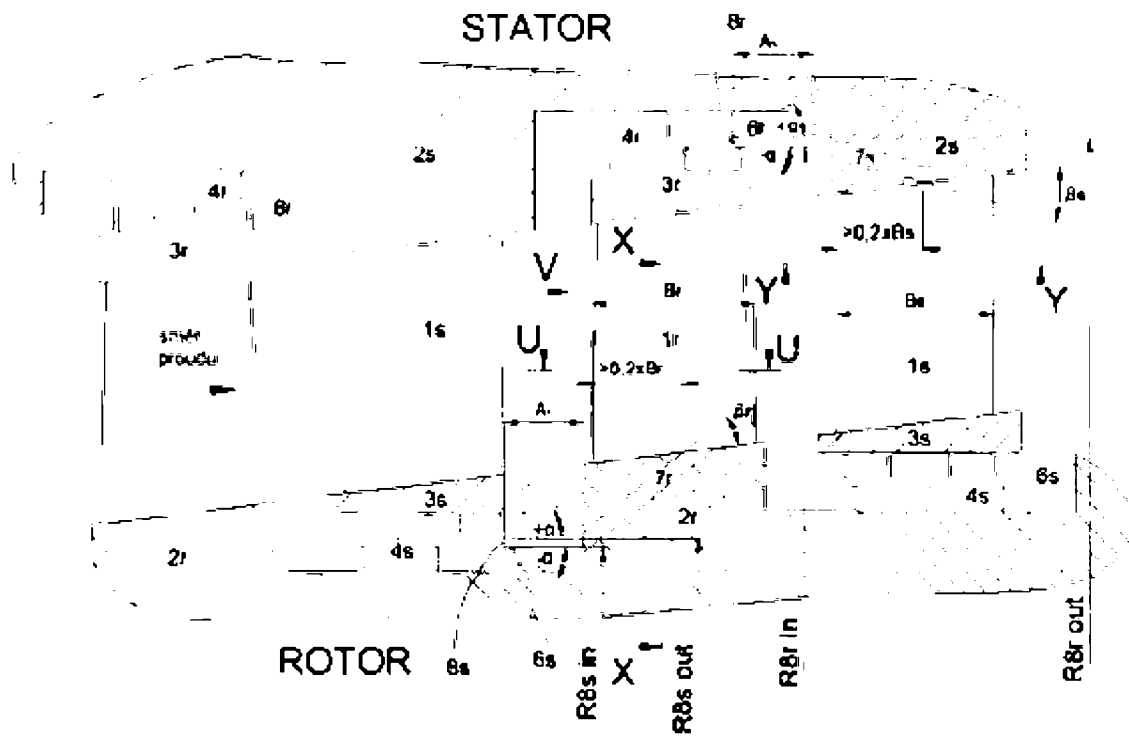


Obr. 6

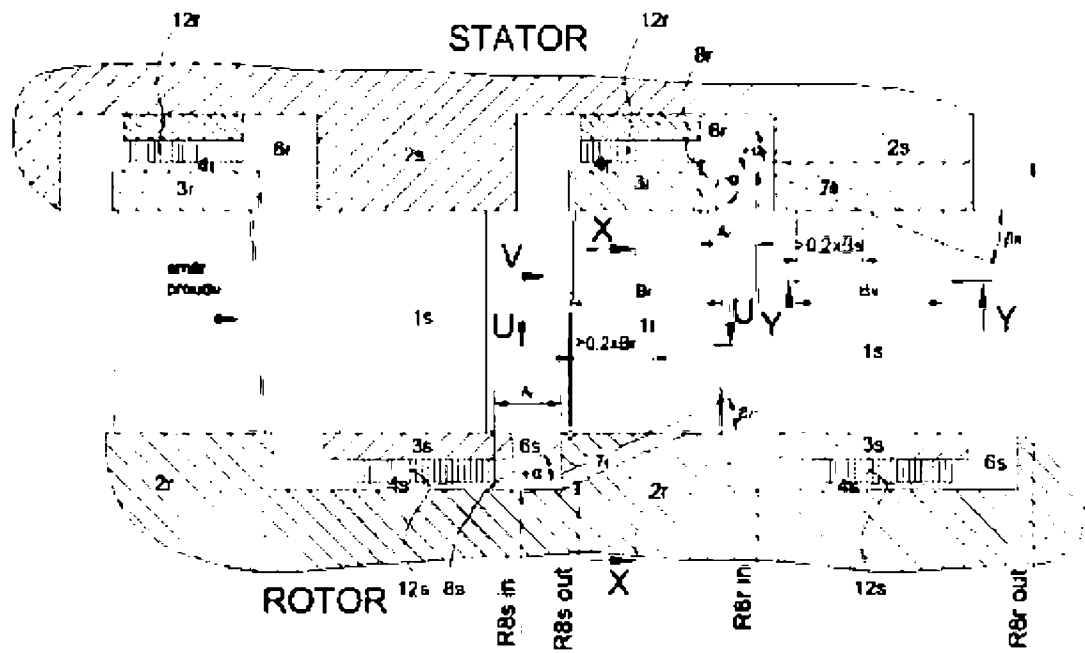
X-X



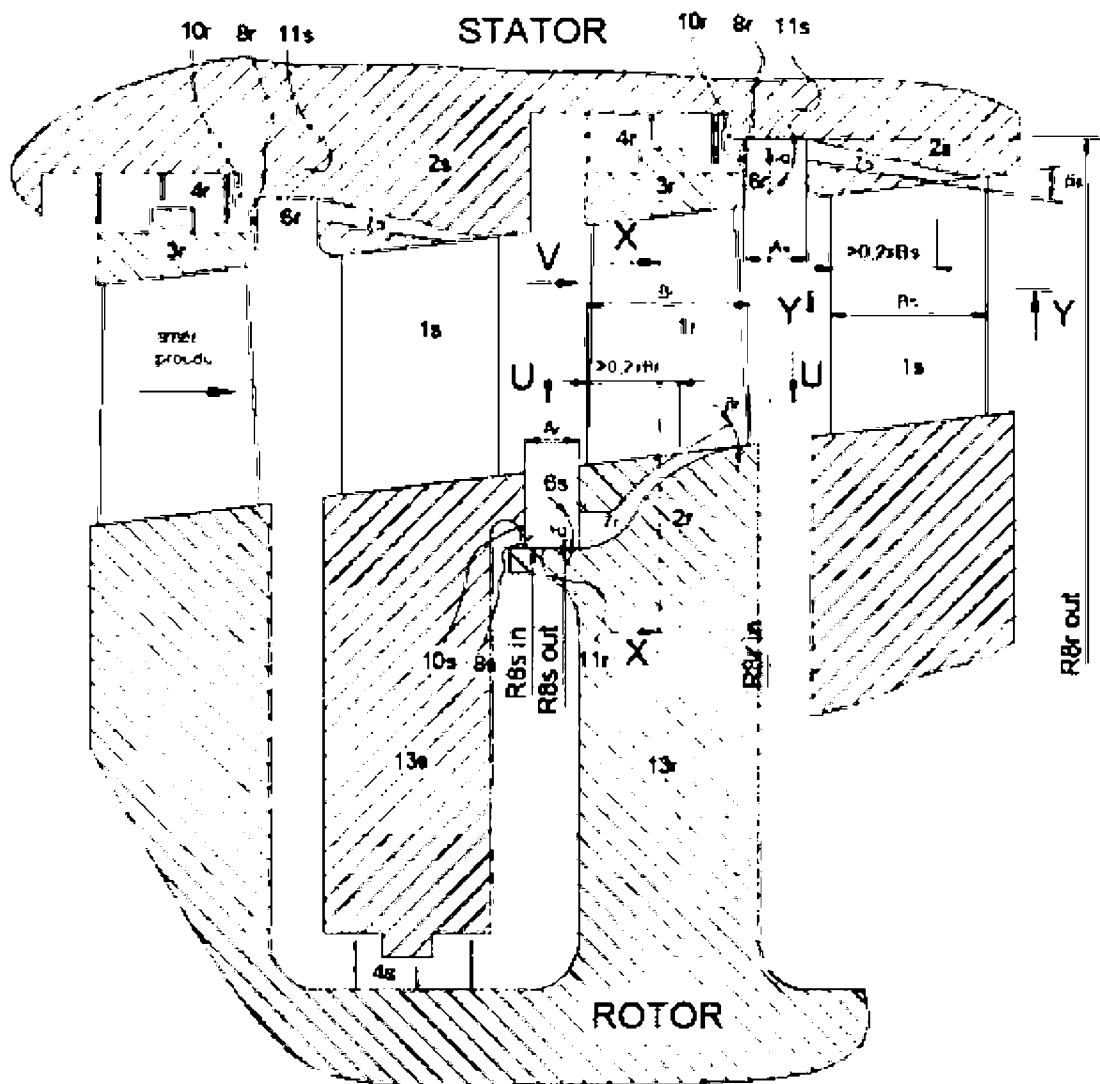
Obr. 7



Obr. 10



Obr. 11



Obr. 13