



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K PATENTU

261202

(11) (B2)

(51) Int. Cl.⁴

F 01 D 5/28

(22) Přihlášeno 26 05 78
(21) PV 3431-78
(32) (31) (33) Právo přednosti od 27 06 77
(P 27 28 823.9) Německá spolková republika

(40) Zveřejněno 15 06 88

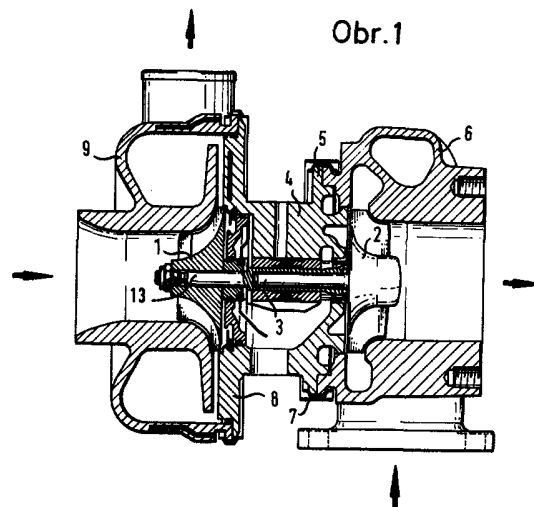
(45) Vydáno 15 06 89

(72) Autor vynálezu BROBECK HELMUT, HESSHEIM (NSR)

(73) Majitel patentu AKTIENGESELLSCHAFT KÜHNLE, KOPP & KAUSCH, FRANKENTHAL/PFALZ (NSR)

(54) Plynová turbína

Plynová turbína, zejména jako turbo-kompresor na výfukové plyny, má turbínové kolo spojené v jeden díl s nekovovým, zejména keramickým hřídelem, který je po celé délce, rovné alespoň trojnásobku největšího průměru, opláštěn kovovým dutým hřídelem.



Vynález se týká plynové turbíny, zejména jako turbokompresoru na výfukové plyny, s turbínovým kolem a hřídelem z tepelně odolného a nekovového materiálu, zejména z keramiky.

Podle německého spisu DOS č. 2 527 498 je známé vyrábět turbínové kolo společně s hřídelem turbíny z keramického materiálu. Samotné oběžné kolo turbíny však v tomto případě sestává ze dvou keramických kusů, které jsou spolu spojeny pevně slinováním. Při výrobě turbíny jako celku z keramického materiálu je nezbytné, aby vnější obrys hřídele byl opatřen všemi tvarovými prvky, jež jsou nutné pro utěsnění a uložení hřídele; to znamená, že vnější obrys keramického hřídele turbíny je třeba opatřit osazeními, drážkami a rovinnými ložiskovými plochami, kterých je třeba pro uložení a utěsnění. Tyto skokové změny průřezu mají za následek, že plynová turbína takového provedení může pracovat jen s poměrně nízkými otáčkami, protože při vyšších otáčkách by nezbytně došlo ke zlomení jejího hřídele.

U plynové turbíny podle německého spisu DOS č. 2 510 287, s oběžným kolem uloženým z obou stran, je oběžné kolo turbíny a na ně navazující ložiska vyrobena z keramického materiálu, přičemž kompresor je spojen s oběžným kolem turbíny objímkou přenášející krouticí moment. Spoj kov-keramika, který přitom vzniká, leží již na poměrně studené straně. I v tomto případě však je nebezpečí, že osazený konec keramického hřídele praskne v místě styku kovu s keramikou při vysokých otáčkách vlivem vrubového účinku a vlivem různé tepelné vodivosti obou materiálů.

Podle německého spisu DOS č. 2 514 699 je známé vyrobít turbínové kolo a krátký nástavec z keramického materiálu a opatřit je koaxiálním vrtáním, kterým prochází hřídel turbíny. Upínací maticí, která je našroubována na hřídel přecházející přes přední stranu oběžného kola, je turbínové kolo z keramického materiálu upevněno na kovovém hřídeli, přičemž toto upevnění slouží jak ke středění tak k přenosu krouticího momentu. Protože čep hřídele turbíny, který nese turbínové kolo, musí být tuhý v ohybu, má-li splňovat svou funkci, a poněvadž hřídele z kovového materiálu projevují silný pokles modulu pružnosti při vzrůstající teplotě, je nezbytné, aby hřídel pro vyskytující se vysoké teploty byl poměrně silný, aby se tím vyrovnala ztráta pevnosti v ohybu. To však vede k tomu, že v turbínovém kole musí být tak velké vrtání, že turbínové kolo nevydrží tahová napětí, která vznikají při vysokých teplotách a velkých rychlostech otáčení na okraji vrtání, protože zbývající objem náboje je poměrně malý. Tato zkušenost je vyjádřena i v citovaném německém spise DOS č. 2 510 287, kde se uvádí, že je velice obtížné splnit současně úkol spočívající v držení, středění a přenosu krouticího momentu, jsou-li turbínové kolo a hřídel turbíny z materiálu s různými fyzikálními vlastnostmi, například s různým součinitelem tepelné roztažnosti a různou křehkostí. Přitom se také připomíná, že tyto obtíže se nezmenší ani tím, že se místo spoje přemístí z horké do studené zóny.

Žádné ze známých řešení pro spojení keramického oběžného kola s hřídelem nebo částí hřídele nebere dostatečně v úvahu specificky nízkou pevnost v tahu a krutu, kterou projevují keramické materiály. Jak bylo uvedeno, vznikají tahová napětí na okraji středového vrtání turbínového kola, a to ve formě tečných tahových napětí, která se se zvětšujícím průměrem vrtání zvyšují. Z tohoto důvodu může být vysoce namáhané turbínové kolo opatřeno pouze velice úzkým středovým vrtáním.

Ani talířové pružiny podle zmíněného německého spisu DOS č. 2 527 498 nemohou splňovat hledaný účinek, totiž kompenzaci tepelné roztažnosti, poněvadž při vysokých provozních teplotách plynových turbín dojde k jejich vyžhání, takže ztrácejí svou pružnost.

Pro provoz plynových turbín, zejména turbokompresorů na výfukové plyny, je použití turbínových kol z keramiky velice výhodné, protože totiž turbínová kola z keramického materiálu jsou nejen lehčí a mají tedy menší setrvačnost, takže se dají v kratší době urychlit, nýbrž jsou i podstatně tepelně odolnější, což dává možnost provozu plynové turbíny při vyšších teplotách a tedy s vyšší účinností. Proto je žádoucí odstranit nevýhody dosavadního stavu techniky a vytvořit vhodné spojení mezi keramickým a kovovým dílem turbíny.

Vynález splňuje tyto požadavky a jeho předmětem je plynová turbína, zejména jako turbo-kompresor na výfukové plyny, s turbínovým kolem a hřídelem z tepelně odolného a nekovového materiálu, zejména keramiky. Podstata vynálezu spočívá v tom, že nekovový hřídel, spojený s turbínovým kolem v jediný díl, je po celé délce opláštěn kovovým dutým hřídelem, přičemž délka nekovového hřídele je alespoň rovná trojnásobku jeho největšího průměru.

Takovým provedením se jednoduše odstraní všechny obtíže, které byly dosud běžné při použití turbínových kol z nekovového materiálu, protože spojení mezi nekovovým turbínovým kolem a jeho nekovovým hřídelem na jedné straně a kovovým hřídelem na druhé straně zajišťuje, že ani při vysokých otáčkách a vysokém tepelném zatížení nevznikají tahová napětí, která by ohrožovala pevnost keramických součástí. Kovový dutý hřídel, který tvoří plášť nekovového hřídele, sahá až k zadní straně oběžného kola a přiléhá na ně v oblasti mimo přechod zadní strany oběžného kola do nekovového hřídele. Následkem toho je možné provést místa těsnění i ložiska z kovu obvyklým způsobem, takže z této strany nevznikají nové problémy.

Podle výhodného provedení vynálezu je spojení mezi nekovovým hřídelem a dutým hřídelem tvořeno například lisovaným uložením zatepla, lisovaným uložením, kuželovým uložením, slepením nebo zalitím.

V turbíně podle vynálezu má nekovový hřídel konstantní nebo spojitě se měnící průřez, kterému odpovídá tvar vnitřního vrtání dutého hřídele. Při takovém tvaru nekovového hřídele nevznikají vrubová napětí, na která reaguje keramika obzvláště citlivě, takže spojení obou hřídelů lze bez obtíží provést jako lisované uložení zatepla nebo zastudena nebo kuželové uložení. Přitom působí v uzavřeném úseku nekovového hřídele, který leží uvnitř dutého hřídele, pouze napětí v tlaku, takže nekovová část hřídele turbíny přispívá ke zvýšení pevnosti v ohybu celého hřídele turbíny.

Podle dalšího provedení vynálezu je v nekovovém hřídeli upevněna tažná kotva, která prochází dutým hřídelem a na konci ležícím proti turbínovému kolu je zakotvena v dutém hřídeli. Umístěním tažné kotvy v nekovovém hřídeli se vytvoří předpětí, které udržuje nekovový hřídel a dutý kovový hřídel ve všech provozních stavech ve třecím spojení. K tomuto účelu se tepelná roztažnost dutého hřídele zvolí tak, aby při provozní teplotě vzrostlo napětí v tahu působící na tažnou kotvu. Napětí v tlaku, vyvolané v nekovovém hřídeli lisovaným uložením dutého hřídele, se přitom účelně volí tak vysoké, aby kompenzovalo napětí v tahu, která vznikají po délce zapuštěné tažné kotvy při pozdějším působení tažné síly.

Podle výhodného provedení vynálezu je turbínové kolo a nekovový hřídel opatřen středovým vrtáním, kterým prochází tažná kotva upevněná na konci dutého hřídele odvráceném od turbínového kola, přičemž hlavice tažné kotvy přiléhá ke spojitému zaoblení na přední straně náboje turbínového kola. Protože tažná kotva nemusí být pevná v ohybu, může mít při vhodné volbě materiálu malý průměr, takže v náboji turbínového kola a v nekovovém hřídeli stačí poměrně malé vrtání. Tažnou kotvou lze vytvářet v keramickém materiálu i axiální napětí v tahu a to i při záporném teplotním součiniteli roztažnosti tažné kotvy, takže ani v extrémních provozních podmínkách nevznikají tahová napětí v nekovovém hřídeli, například v oblasti přechodu mezi hřídelem a oběžným kolem, a tato přechodová oblast je prostá ohybových momentů.

Středové vrtání má v oblasti, kde vyúsťuje k průběžnému zaoblení, podle výhodného provedení vynálezu lehce kuželové rozšíření, kterému odpovídá kuželové zesílení kotvy v oblasti přechodu do hlavice. Toto vytvoření přispívá ke zlepšenému centrování, a to i při kolísajících teplotách, jsou-li součinitelé tepelné roztažnosti jednotlivých materiálů vhodně vzájemně zvoleny. Poněvadž se náboj roztahuje i vlivem odstředivých sil, lze vhodnou volbou materiálu tažné kotvy přizpůsobit její roztažnost velice jednoduše roztažnosti náboje.

Podle dalšího význaku vynálezu je mezi zadní stranou náboje turbínového kola a čelní stranou dutého hřídele upraveno radiální tvarové ozubení, například spojení na pero a drážku. Toto ozubení působí jako pomocný prostředek při centrování.

Vynález bude vysvětlen v souvislosti s příklady provedení znázorněnými na výkrese, kde značí obr. 1 schematický řez turbodmychadlem na výfukové plyny s turbínovým kolem a částí hřídele turbíny z nekovového materiálu, obr. 2 ve zvětšeném měřítku řez turbínovým kolem, jehož nekovový hřídel je zasazen do kovového dutého hřídele, obr. 3 příklad provedení s tažnou kotvou, obr. 4 další příklad provedení s průběžnou tažnou kotvou, obr. 5 ve zvětšeném měřítku detail z obr. 4 ukazující tvar hlavice tažné kotvy a náboje turbínového kola ke zlepšenému středění, a obr. 6 řez vedený rovinou 6-6 na obr. 2 a znázorňující tvarové spojení čelní strany dutého hřídele a zadní strany náboje oběžného kola, které zlepšuje středění.

Na obr. 1 je znázorněno turbodmychadlo na výfukové plyny v žezu, kde turbínové kolo 2 a kompresorové kolo 1 jsou upevněny na společném hřídeli. Tento společný hřídel sestává z nekovového hřídele 3, který je z jednoho kusu s turbínovým kolem 2, a z kovového dutého hřídele 3, který je pevně spojen s nekovovým hřídelem 3 a nese kompresorové kolo 1. Hřídel turbíny je obvyklým způsobem uložen v ložiskovém pouzdru 4, které je na turbínové straně spojeno přírubovým nákrůžkem 5 s turbínovým tělesem 6 pomocí upínacího prstence 7. Na kompresorové straně je ložiskové pouzdro 4 opatřeno kotoučovou přírubou 8, na které je upevněn nástavec 9 rovněž pomocí upínacího prstence.

Turbínové kolo 2 a nekovový hřídel 3, který má tvar čepu, jsou ze stejného nebo typově stejného nekovového materiálu, zejména z keramiky. Při výrobě lze nejprve vyrobít odděleně hřídel 3 a turbínové kolo 2 a před slinováním je zasunout do sebe. Při následujícím slinování se pak oba díly prakticky spojí do jednoho nerozebíratelného kusu. Tento způsob umožňuje vyrobít hřídel a turbínové kolo z keramického materiálu zvoleného optimálně podle provozních podmínek. Použije-li se takových materiálů, které mají stejný nebo v podstatě stejný součinitel tepelné roztažnosti, lze pro hřídel 3 použít keramického materiálu s vyšší pružností ve srovnání s turbínovým kolem 2, čímž se zvýší odolnost hřídele vůči ohybovému namáhání. Nezávisle na možnosti výroby nekovového turbínového kola a nekovového hřídele jako dvou oddělených dílů se v následujícím popise bude vycházet z toho, že hřídel a turbínové kolo tvoří jediný kus.

Kovový dutý hřídel 13 sestává v provedení podle obr. 2 z masivního kusu nesoucího kompresorové kolo 1, a z objímkového úseku, který probíhá v oblasti ložiskového pouzdra 4. Vnější obrys kovového dutého hřídele 13 je opatřen všemi tvarovými prvky nezbytnými pro těsnění a uložení hřídele, přičemž tyto tvarové prvky jsou provedeny dosavadním obvyklým způsobem a nejsou tedy podrobně znázorněny.

Vnitřní rozměry objímkové části dutého hřídele 13 jsou přitom přizpůsobeny rozměrům nekovového hřídele 3. Přitom se musí vycházet z toho, aby nekovový hřídel 3 měl délku odpovídající nejméně trojnásobku svého průměru. Obrys vnitřního vrtání dutého hřídele 13 je přitom co nejpřesněji přizpůsoben obrysu nekovového hřídele 3; ve znázorněném provedení podle obr. 2 je vnitřní vrtání dutého hřídele hladké a má buď konstantní průřez nebo nepatrně se kuželově zužující průřez. Při mírně kuželovém zmenšujícím se průřezu mohou být úhly stoupání kuželového nekovového hřídele 3 a vnitřního vrtání dutého hřídele 13 nepatrně vzájemně odlišné. Takový tvar je obzvlášť výhodný tehdy, když je spojení mezi nekovovým hřídelem 3 a kovovým dutým hřídelem 13 tvořeno lisovaným spojem zatepla nebo zastudena, přičemž se nekovový hřídel 3 spojí s dutým hřídelem 13 po celé délce neuvolnitelným spojením. Mírně kuželový průběh spolupracujících ploch, se stejným nebo nepatrně odlišným úhlem stoupání, může být velice vhodný při použití lisovaného uložení za tepla ke spojení obou dílů, a to zejména k regulaci tlaku působícího na nekovový hřídel 3.

Rovněž však je možné, aby nekovový hřídel 3 a vnitřní vrtání v dutém hřídeli 13 měly měnicí se průřez, přičemž při použití vyrovnávacích poloměrů mohou být na obou plochách vytvořeny osazené i zvětšené úseky.

Pomocí lepidel odolávajících vysokým teplotám se může dutý hřídel 13, nasazený na

nekovovém hřídeli 3, na tento nekovový hřídel 3 přilepit, přičemž však je třeba dbát o to, aby se tvar hladkého povrchu nekovového hřídele 3 nezhoršil nanesenou vrstvou lepidla.

Nezávisle na způsobu spojení nekovového hřídele 3 a dutého hřídele 13 je vždycky třeba dbát na to, aby nekovový materiál, zejména keramický, byl namáhán pouze na tlak, poněvadž keramický materiál má velkou pevnost v tlaku, ale malou pevnost v tahu.

V provedení podle obr. 3 je uvnitř obou hřídelů uložena tažná kotva 15 s malou pevností v ohybu, která se již při výrobě nekovového hřídele 31 uloží do tohoto hřídele a pevně se s ním spojí. Délka zapuštění tažné kotvy 15 v nekovovém hřídeli 31 se volí podle tahové síly působící během provozu. Kovový dutý hřídel 131 má průběžné souosé vrtání 12, kterým prochází tažná kotva 15, upevněná na kompresorové straně s výhodou svařením nebo spájením. Nekovový hřídel 31 je zatížen ve vnitřním vrtání 12 dutého hřídele 131 tlakem z lisovaného spoje zastudena nebo zatepla, takže tahové napětí, které vzniká v zapuštěné délce tažné kotvy 15 při provozních teplotách, je kompenzováno napětím v tlaku a na nekovový hřídel 31 nepůsobí žádná napětí v tahu.

V provedení podle obr. 4, kde je turbínové kolo 2 s nekovovým hřídelem 32 vyrobeno například z keramického materiálu, je kovový dutý hřídel 132 opatřen rovněž souosým vrtáním 12. Stejným způsobem probíhá i nábojem turbínového kola 2 a nekovovým hřídelem 32 souosé středové vrtání 21, které má poměrně malý průměr.

Nekovový hřídel 32 je uložen třecím spojením uvnitř vnitřního vrtání dutého hřídele 132, které má větší průměr. Tažná kotva 16, která je na konci přivráceném k turbínovému kolu 2 opatřena hlavicí 17, prochází nábojem turbínového kola 2 a nekovovým hřídelem 32 a souosým vrtáním 12 dutého hřídele 132. Na kompresorové straně je tažná kotva 16 pevně spojena s dutým hřídelem 132 turbíny. Hlavicí 17 přiléhá tažná kotva 16 na průběžné zaoblení 22 na přední straně náboje turbínového kola 2, jak je patrné podrobně z obr. 5. Tvar zaoblení 22 je přitom zvolen tak, aby se obě součásti mohly bez překážky různě roztahovat v radiálním směru. V oblasti přechodu tažné kotvy 16 do hlavice 17 se průměr tažné kotvy 16 postupně poněkud zvětšuje, takže vzniká kuželové zesílení, které zapadá do kuželového rozšíření středového vrtání 21 v turbínovém kole 2.

Rozdílná roztažnost, vznikající v důsledku odlišného součinitele tepelné roztažnosti, a v důsledku roztahování vyvolané namáháním se volí pro náboj turbínového kola 2 a pro tažnou kotvu 16 ve vzájemné závislosti tak, aby v celém provozním rozsahu zůstávalo spolehlivě zachováno středění. Vhodnou volbou materiálu tažné kotvy 16 lze dosáhnout, toho, že rozdílný součinitele tepelné roztažnosti oproti keramickému materiálu turbínového kola 2 zůstane bez nepříznivého vlivu, poněvadž náboj se rovněž vlivem vysoké odstředivé síly během provozu mírně roztahuje a tím se přizpůsobuje roztažení tažné kotvy 16. Vhodným rozložením tlakových sil, které vyvolává tažná kotva 16 v náboji turbínového kola 2, lze alespoň částečně kompenzovat namáhání turbínového kola 2 v oblasti vrtání v náboji.

Poněvadž tažná kotva 16 je vytvořena jako prvek měkký v ohybu, takže ztráta pevnosti v ohybu při vzrůstajících provozních teplotách nemá žádný vliv, může mít tažná kotva 16 poměrně malý průřez, takže i středové vrtání 21 může být malého průměru; tím se podstatně sníží tahová napětí, která vznikají na okrajích tohoto vrtání. Tím se dosáhne oproti řešení podle zmíněného německého spisu DOS č. 2 514 699 podstatné výhody; podle tohoto spisu je totiž turbínové kolo z keramického materiálu nasazeno na část hřídele, která je pevná v ohybu, a v důsledku ztráty pevnosti v ohybu, ke které dochází značným poklesem modulu pružnosti při vzrůstajících teplotách, musí být tento úsek hřídele poměrně silný, což vede nezbytně k velkým průměrům vrtání v turbínovém kole a tedy k vysokému namáhání na okraji středového vrtání turbínového kola.

V provedení podle obr. 4 může být tažná kotva 16 upnuta tak silně, že nekovový hřídel 32 je uvnitř vnitřního vrtání dutého hřídele 132 zatížen tlakovým namáháním zvoleným co do

velikosti tak, že ani v provozu nevznikají v nekovovém hřídeli 32 tahová namáhání. Tím, že zadní strana turbínového kola 2 je opřena o čelní stranu kovového dutého hřídele 132, se odstraní ohybové momenty v oblasti přechodu hřídele 32 do turbínového kola 2. Roztažení dutého hřídele 132 působením provozní teploty se přitom zvolí tak, aby se předpětí tažné kotvy 16 v provozu zvýšilo a aby tímto způsobem bylo ve všech provozních rozsazích zajištěno tlakové namáhání nekovového hřídele. Předpětí tažné kotvy 16 při montáži lze nejlépe realizovat definovaným zahřátím tažné kotvy 16.

Na obr. 6 je znázorněn detail přídatného středicího ústrojí, které je upraveno mezi zadní stranou náboje turbínového kola 2 a čelní stranou dutého hřídele 13. Toto pomocné středicí ústrojí sestává z radiálního ozubení s tvarovým záběrem, například ze spoje 25 na pero a drážku, který je opakován několikrát za sebou po celém obvodu.

P Ř E D M Ě T V Y N Á L E Z U

1. Plynová turbína, zejména jako turbokompresor na výfukové plyny, s turbínovým kolem a hřídelem z tepelně odolného a nekovového materiálu, zejména keramiky, vyznačená tím, že nekovový hřídel (3, 31, 32), spojený s turbínovým kolem (2) v jediný díl, je po celé délce opláštěn kovovým dutým hřídelem (13, 131, 132), přičemž délka nekovového hřídele (3, 31, 32) je alespoň rovná trojnásobku jeho největšího průměru.

2. Plynová turbína podle bodu 1, vyznačená tím, že nekovový hřídel (3, 31, 32) je spojen s dutým hřídelem (13, 131, 132) lisovaným uložením zatepla.

3. Plynová turbína podle bodu 1, vyznačená tím, že nekovový hřídel (3, 31, 32) je spojen s dutým hřídelem (13, 131, 132) lisovaným uložením.

4. Plynová turbína podle bodu 1, vyznačená tím, že nekovový hřídel (3, 31, 32) je spojen s dutým hřídelem (13, 131, 132) kuželovým uložením.

5. Plynová turbína podle bodu 1, vyznačená tím, že nekovový hřídel (3, 31, 32) je spojen s dutým hřídelem (13, 131, 132) slepením.

6. Plynová turbína podle bodu 1, vyznačená tím, že nekovový hřídel (3, 31, 32) je spojen s dutým hřídelem (13, 131, 132) zalitím.

7. Plynová turbína podle bodů 1 až 6, vyznačená tím, že nekovový hřídel (3, 31, 32) má konstantní průřez, kterému odpovídá tvar vnitřního vrtání dutého hřídele (13, 131, 132).

8. Plynová turbína podle bodů 1 až 6, vyznačená tím, že nekovový hřídel (3, 31, 32) má spojitě se měnící průřez, kterému odpovídá tvar vnitřního vrtání dutého hřídele (13, 131, 132).

9. Plynová turbína podle bodů 1 až 6, vyznačená tím, že v nekovovém hřídeli (31) je upevněna tažná kotva (15), která prochází dutým hřídelem (131) a na jeho konci odvráceném od turbínového kola (2) je zakotvena v dutém hřídeli (131).

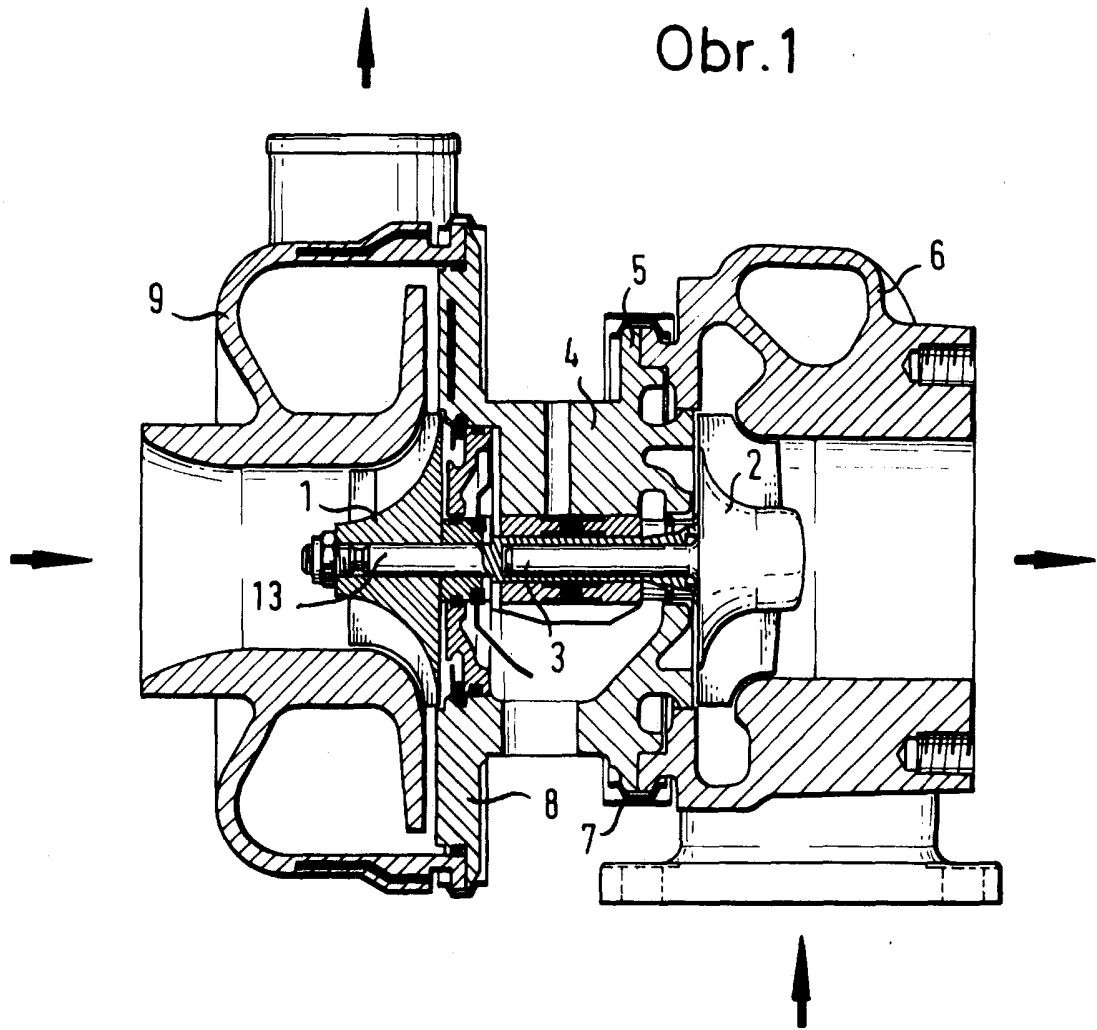
10. Plynová turbína podle bodů 1 až 6, vyznačená tím, že nekovový hřídel (32) a turbínové kolo (2) jsou opatřeny středovým vrtáním (21), kterým prochází tažná kotva (16) upevněná na konci dutého hřídele (132) odvráceném od turbínového kola (2), přičemž hlavice (17) tažné kotvy (16) přiléhá ke spojitému zaoblení (22) na přední straně náboje turbínového kola (2).

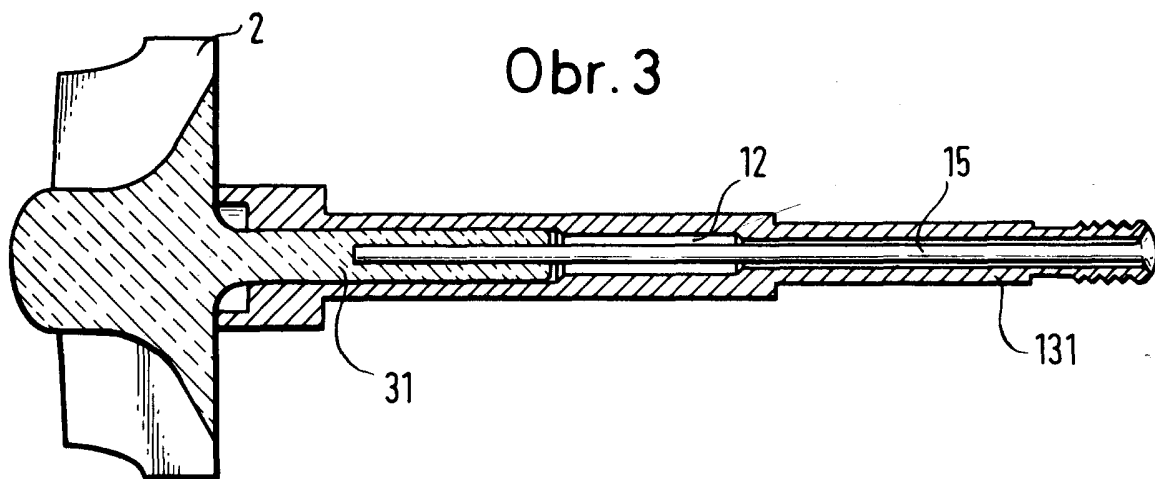
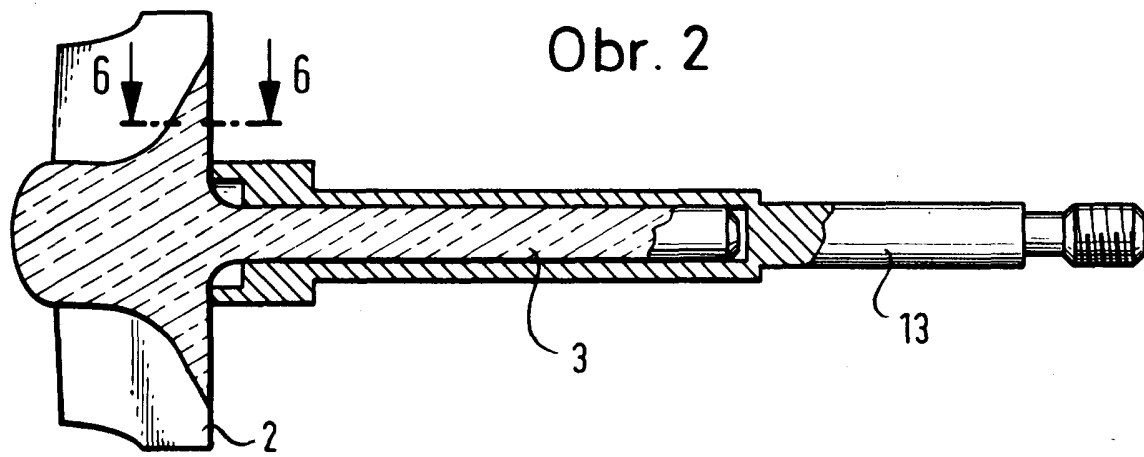
11. Plynová turbína podle bodu 10, vyznačená tím, že středové vrtání (21) má v oblasti vyústění do průběžného zaoblení (22) kuželové rozšíření, k němuž je přiřazeno kuželové zesílení kotvy (16) v oblasti přechodu do hlavice (17).

12. Plynová turbína podle některého z bodů 1 až 11, vyznačená tím, že mezi zadní stranou náboje turbínového kola (2) a čelní stranou dutého hřídele (13, 131, 132) je upraveno radiální tvarové ozubení, zejména spojení (25) na pero a drážku.

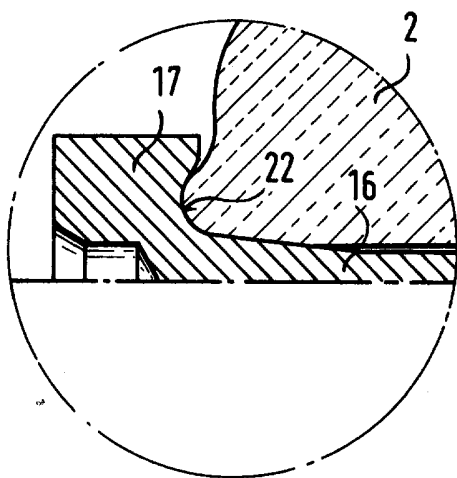
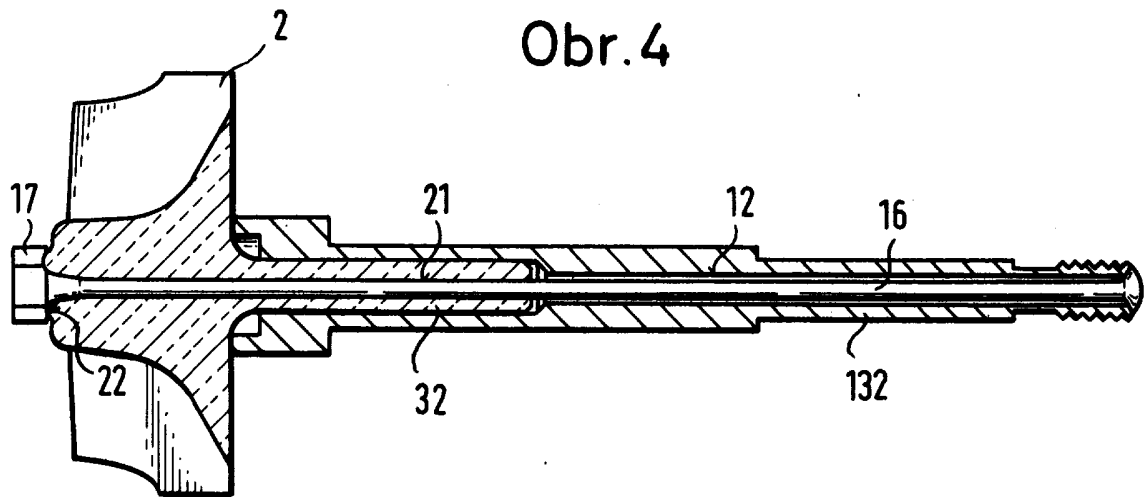
3 výkresy

Obr. 1

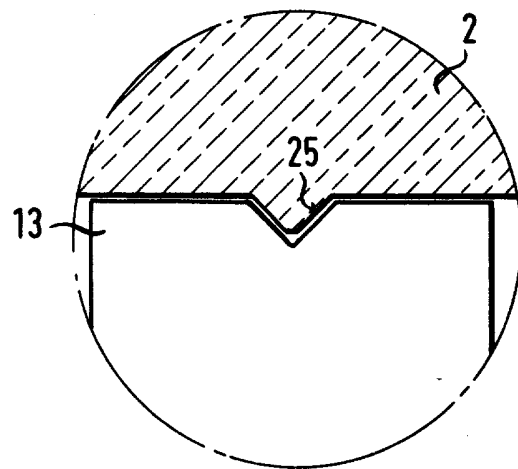




Obr.4



Obr.5



Obr.6