

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2020-548

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

F01D 25/16 (2006.01)

F16C 32/06 (2006.01)

F25B 9/06 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **08.10.2020**

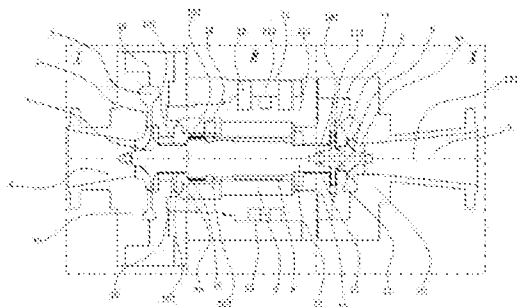
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **27.10.2021**

(Věstník č. 43/2021)

(71) Přihlašovatel:
MIRAI INTEX SAGL, Chiasso, CH

(72) Původce:
Vladyslav Tsyplakov, Versoix, CH

(74) Zástupce:
Ing. Dobroslav Musil, patentová kancelář, Ing.
Dobroslav Musil, patentový zástupce, Zábrdovická
801/11, 615 00 Brno, Zábrdovice



(54) Název přihlášky vynálezu:
Turbokompresorové soustrojí chladicího stroje

(57) Anotace:
Vynález se týká turbokompresorového soustrojí chladicího stroje obsahujícího kompresor (I), elektromotor (III) a turbodetandér (II) uspořádané ve společné skříni, která obsahuje těleso (19) kompresoru, těleso (21) elektromotoru a těleso (20) turbodetandéru, přičemž ve společné skříni je uložena hřídel (13), na které jsou pevně uloženy oběžné kolo (1) kompresoru, oběžné kolo (5) turbíny turbodetandéru a rotor (8) elektromotoru, přičemž oběžné kolo (1) kompresoru a oběžné kolo (5) turbíny jsou umístěny na protilehlých koncích společné hřídele a rotor (8) elektromotoru je umístěn mezi nimi. Mezi oběžným kolem (1) kompresoru a rotorem (8) elektromotoru je hřídel (13) uložena v prvním radiálním plynovém dynamickém ložisku (101) a mezi oběžným kolem (5) turbíny a rotorem (8) elektromotoru je hřídel (13) uložena v druhém radiálním plynovém dynamickém ložisku (102), přičemž mezi druhým radiálním plynovým dynamickým ložiskem (102) a oběžným kolem (5) turbíny je hřídel uložena v axiálním plynovém dynamickém ložisku (11), přičemž všechna plynová dynamická ložiska (101, 102, 11) používají pracovní plyn turbokompresorového soustrojí.

Turbokompresorové soustrojí chladicího stroje

Oblast techniky

5

Vynález se týká turbokompresorového soustrojí chladicího stroje obsahující kompresor, elektromotor a turbodetandér uspořádané ve společné skřini, která obsahuje těleso kompresoru, těleso elektromotoru, těleso turbodetandéru a hřídel uloženou ve společné skřini v plynových ložiskách, k nimž je vyústěn přívod pracovního plynu z turbokompresorového soustrojí, přičemž na hřídeli (13) jsou pevně uloženy oběžné kolo kompresoru, oběžné kolo turbíny turbodetandéru a rotor elektromotoru, přičemž oběžné kolo kompresoru a oběžné kolo turbíny jsou umístěny na protilehlých koncích společné hřídele a rotor elektromotoru je umístěn mezi nimi.

Dosavadní stav techniky

15

Průmyslové chladicí stroje, které disponují výkonem řádově v desítkách kW až v jednotkách MW, se obvykle skládají z kompresoru, elektromotoru a expanzní turbíny, kdy vzduch nebo jiné chladicí médium je nedřívě stlačen kompresorem, který je poháněn elektromotorem, poté je přiveden do turbíny, ve které expanduje a ochladí se, přičemž energie, kterou stlačené médium při svém rozpínání předá reakční turbíně je použita k pohonu kompresoru a snižuje tak energetickou náročnost chladicího stroje. Chladný vzduch z turbíny se pak ohřeje ve výměníku nebo v chladicí komoře, kterou ochladí, a je přiveden zpět na vstup do kompresoru. Takovýto chladicí stroj je znám např. z patentu CZ 308332 B6.

25

Spolu s tím, jak se v poslední době zvyšují nároky na energetickou úspornost, jednoduchost údržby a spolehlivost chladicích strojů, nacházejí stále častější uplatnění stroje, kdy zařízení pro výrobu chladu obsahuje kompresor, motor a expanzní turbínu umístěné na společné hřídeli ve společné skřini. Hřídel takového chladicího stroje je obvykle uvnitř skříně uložena ve dvou radiálních a jednom axiálním ložisku, kdy radiální ložiska poskytují podpěru otáčející se hřídeli a tlumí její vibrace, zatímco axiální ložisko fixuje hřídel vzhledem k tělesu stroje, tlumí nárazy hřídele způsobené změnou axiální síly působící na hřídel rotačního stroje a poskytuje jeden pevný bod hřídele vzhledem k tělesu stroje při relativním axiálním posunu částí hřídele k částem skříně, který je způsoben působením axiální síly a rozdílnou tepelnou roztažností různých částí stroje, zejména při jeho spouštění do provozu a odstavování z provozu.

35

Pro výše popsané účely se dříve používaly některé z běžně dostupných typů ložisek, např. ložiska valivá, kluzná, hydrodynamická nebo aerostatická. Použití těchto druhů ložisek však sebou nese nejružnější nevýhody. Z patentu US 8347648 B2 je známá turbína pro použití v chladicím cyklu, která ve společném turbínovém tělese obsahuje na společné hřídeli umístěný jednokolový kompresor, jednokolovou expanzní turbínu, elektromotor, axiální magnetické ložisko, radiální valivá ložiska, přičemž kolo kompresoru a kolo turbíny jsou přewisle umístěny na protilehlých koncích společné hřídele. Takovéto provedení turbíny pro výrobu chladu má tu nevýhodu, že valivá ložiska neumožňují provozovat stroj s energeticky efektivními vysokými otáčkami.

45

Použití hydrodynamických ložisek pro rotační stroje, které je známé z parních turbín, není pro výše popsané chladicí turbokompresory vhodné, protože hydrodynamická ložiska vyžadují instalaci samostatného olejového systému a jeho utěsnění od částí stroje, kterými protéká pracovní chladicí médium, kterým je obvykle vzduch nebo jiný plyn, což při uložení ložisek uvnitř společné skříně stroje lze jen složitě zajistit a celý stroj by se tak neúměrně prodražil. Podobně použití fluidních statických ložisek, používajících natlakované plynné nebo kapalně médium, vyžaduje samostatný systém pro dodávky média o vysokém tlaku, například vysokotlaký hydraulický systém, který je tlakován a poháněn externím zdrojem energie, zvyšuje cenu a snižuje spolehlivost stroje.

50

Výše zmíněné nedostatky běžných ložisek vedly některé výrobce chladicích strojů k tomu, že začali používat jak axiální, tak radiální ložiska magnetická. Z patentu US 7322207 B2 je známo vzduchové chladicí zařízení, které ve společné skříni obsahuje na společné hřídeli umístěný jednokolový kompresor, jednokolovou expanzní turbínu, elektromotor, axiální magnetické ložisko, dvě radiální magnetická ložiska, přičemž kolo kompresoru a kolo turbíny jsou převisele umístěny na protilehlých koncích společné hřídele. Stator i rotor elektromotoru soustrojí jsou chlazeny chladicím vzduchem, který cirkuluje v rámci samostatného chladicího systému, odděleně od pracovního plynu chladicího zařízení. Úniky pracovního média jsou odsávány dvěma samostatnými vývody, zvlášť jedním vývodem pro úniky z kompresoru a zvlášť druhým vývodem pro úniky z turbíny, a neprocházejí přes rotor elektromotoru. Funkčnost magnetických ložisek je závislá na dodávce elektrické energie, zdroj elektrické energie je nutné zálohovat, aby v případě náhlého výpadku elektřiny nedošlo k havárii zařízení. Další nezanedbatelnou nevýhodou magnetických ložisek je jejich nízká tuhost, která nezaručuje dostatečné tlumení vibrací, ke kterým dochází při rozjezdu/odstavování stroje a jeho přechodu přes kritické otáčky, které při otáčkách odpovídajících frekvenci, která je násobkem vlastní frekvence stroje, budí nežádoucí vibrace stroje. Pokud mají být magnetická ložiska použita pro větší, výkonnější stroj, je nutné je z výše uvedeného důvodu jejich nízké tuhosti zálohovat přidavnými kluznými ložisky. Přidání kluzných ložisek do společné skříně stroje však prodlužuje jeho axiální délku, zvyšuje výrobní náklady stroje, prodlužuje délku hřídele mezi ložisky a případně také délku převislých konců hřídele za ložisky a nepříznivě ovlivňuje dynamiku hřídele stroje.

Cílem předloženého vynálezu je odstranění nebo zmírnění výše uvedených nedostatků známých technických řešení díky turbokompresorovému soustrojí pro chladicí stroje, které obsahuje plynová dynamická ložiska, která používají pracovní plyn chladicího stroje.

25

Podstata vynálezu

Cíle vynálezu je dosaženo díky kombinovanému turbokompresorovému soustrojí chladicího stroje, které obsahuje tři stroje: kompresor, elektromotor a turbodetandér, které jsou uspořádány ve společné skříni turbokompresorového soustrojí, ve které je uložena společná hřídel.

Hřídel je uložena ve společné skříni/tělese soustrojí ve dvou radiálních plynových dynamických ložiscích a v jednom axiálním plynovém dynamickém ložisku, k nimž je vyústěn přívod pracovního plynu z turbokompresorového soustrojí. Výhodou plynových dynamických ložisek, oproti jiným typům ložisek, např. magnetickým, valivým, kluzným, hydraulickým nebo plynovým statickým ložiskům, je jejich malá zástavbová velikost, která zkracuje axiální délku soustrojí, dostatečná tuhost, která dokáže utlumit nežádoucí vibrace soustrojí, absence potřeby vnějšího zdroje energie, ať už elektrického proudu nebo tlaku, vysoká provozní spolehlivost, nízké nároky na údržbu a průchodnost pro pracovní plyn chladicího zařízení. Průchodnost pracovního plynu chladicího zařízení podél celé hřídele turbokompresorového soustrojí, včetně průchodnosti přes ložiska, umožňuje využít pracovní plyn k chlazení hřídele a vyrovnávání axiální síly turbíny kompresoru.

První radiální plynové dynamické ložisko, ve kterém je uložena hřídel soustrojí, je ve skříni soustrojí uloženo mezi difuzorem kompresoru a statorem elektromotoru, hřídel je v prvním radiálním ložisku uložena mezi oběžným kolem kompresoru a rotorem elektromotoru. Druhé radiální plynové dynamické ložisko, je ve skříni soustrojí uloženo mezi spirálovou komorou vstupu plynu do turbodetandéru a statorem elektromotoru, hřídel je ve druhém radiálním ložisku uložena mezi oběžným kolem turbíny turbodetandéru a rotorem elektromotoru. Axiální plynové dynamické ložisko, ve kterém je uložena hřídel soustrojí, je ve skříni soustrojí uloženo mezi spirálovou komorou vstupu plynu do turbodetandéru a druhým radiálním plynovým dynamickým ložiskem, disk ložiska, který je součástí hřídele, je v axiálním ložisku uložen mezi oběžným kolem turbíny turbodetandéru a druhým radiálním ložiskem. Mezi vnitřní stěnou tělesa kompresoru a hřídelí je zformován přívod vedlejšího proudu pracovního plynu turbokompresorového soustrojí do prvního

55

radiálního ložiska a mezi vnitřní stěnou tělesa turbodetandéru a hřídelí je zformován přívod vedlejšího proudu pracovního plynu do druhého radiálního ložiska a do axiálního ložiska.

5 Umístění radiálních ložisek co nejbližší k oběžným kolům kompresoru a turbíny turbodetandéru je výhodné při tlumení nežádoucích vibrací společné hřídele soustrojí, ke kterým dochází při přechodu spouštěného/odstavovaného soustrojí přes kritické otáčky stroje, kdy frekvence otáčení stroje je násobkem vlastní frekvence společné hřídele.

10 Soustrojí předloženého vynálezu turbokompresoru pro chladicí stroj funguje, za plného provozu, s teplotním rozdílem až 300 °C, kdy teplota plynu na výstupu z difuzoru turboexpandéru klesá až na minus 150 °C a teplota stlačeného vzduchu v difusoru kompresoru dosahuje až plus 150 °C. Axiální ložisko je v axiálním směru pevným bodem vzájemné polohy hřídele a tělesa soustrojí. Umístění axiálního ložiska co nejbližší chladné straně soustrojí, kde dochází k nejmenší tepelné roztažnosti materiálu, a tomu odpovídající umístění disku axiálního ložiska na hřídeli co nejbližší oběžnému kolu expanzní turbíny turbodetandéru, je výhodné z pohledu navrhování vzájemné polohy jednotlivých dílů skříně soustrojí a hřídele soustrojí a vůlí mezi nimi, které musí při provozu stroje při měnící se teplotě a kolísajícím teplotním gradientu zohledňovat různou tepelnou roztažnost jednotlivých částí soustrojí. Další výhodou umístění axiálního ložiska na chladné straně soustrojí v blízkosti oběžného kola turbíny turbodetandéru je, že jako pracovní plyn plynového dynamického axiálního ložiska se v takovémto případě použije relativně chladný vzduch z turbodetandéru, který má větší hustotu než relativně teplejší vzduch z jiných částí turbokompresorového soustrojí. Použití chladnějšího hustšího plynu přispívá k větší tuhosti a lepší provozní spolehlivosti plynového dynamického axiálního ložiska.

25 Na otáčející se radiální oběžné kolo kompresoru, které nasává plyn v podstatě v axiálním směru a vytlačuje plyn do difuzoru kompresoru v podstatě v radiálním směru, působí stlačovaný plyn reaktivní silou, jejíž axiální složka působí na společnou hřídel soustrojí ve směru osy hřídele proti směru proudění pracovního plynu do konfuzoru kompresoru. Takováto axiální síla a její náhlé změny mohou poškodit axiální ložisko a vést až k zadření stroje. Pro vyrovnání této nežádoucí axiální síly slouží píst, který je vytvořen na hřídeli. Tlak pracovního plynu působí na plochu pístu, která je kolmá k ose hřídele, axiální silou, která vyrovnává nežádoucí axiální sílu způsobovanou tlakem plynu na oběžné kolo kompresoru. Píst je s výhodou umístěn mezi prvním radiálním ložiskem a rotorem elektromotoru, takže lze zachovat výhodné umístění prvního radiálního ložiska co nejbližší oběžného kola kompresoru. Výhodou radiálního plynového dynamického ložiska je, že pracovní plyn, který působí tlakem na píst, může přes toto ložisko volně procházet a nemusí být k pístu přiváděn jinými prostředky. Prostor mezi hřídelí a skříní, který se nachází mezi pístem a rotorem elektromotoru je utěsněn hřídelovým těsněním, které omezuje průchod proudu pracovního plynu dále ve směru k rotoru elektromotoru a drží v prostoru pístu dostatečně vysoký tlak plynu, který působí na píst dostatečně velikou silou.

40 V předloženém vynálezu turbokompresorového soustrojí pro chladicí stroj je pro utěsnění prostoru za pístem, který slouží k vyrovnávání axiální síly, použito labyrintové těsnění typu tzv. nepravého labyrintu, kdy několik za sebou radiálně uložených břitů těsní oproti v podstatě hladké protilehlé ploše. Pro efektivní těsnění a dosažení většího tlakového spádu, s tím spojených minimálních úniků pracovního média a s tím spojené vyšší účinnosti chladicího stroje, je vhodné použít alespoň pět břitů těsnících oproti protilehlé v podstatě hladké válcové ploše.

Těsnění typu tzv. nepravého labyrintu, kdy jedna z těsnících válcových ploch je v podstatě hladká, je u předloženého vynálezu s výhodou použito pro usnadnění montáže hmcového typu tělesa soustrojí. V hmcovém uspořádání tělesa skříně soustrojí se jednotlivé díly soustrojí, včetně hřídele zasunují do skříně/tělesa soustrojí, které má tvar hrnce a je sestaveno z dílčích těles, které mají také tvar hrnce nebo v podstatě dutého válce, a jsou k sobě pospojovány a utěsněny. Takováto skříně/těleso turbokompresorového soustrojí nemá spoj v dělicí rovině rovnoběžné s osou rotačního stroje. Soustrojí, který má za provozu vysoký rozdíl teplot v různých za sebou axiálně uspořádaných částech soustrojí a je ohříváno/ochlazováno pracovním médiem, které je

přiváděno/odváděno do/ze stroje v podstatě v radiálním směru, má relativně vysoký rozdíl teplot také mezi vrchní a spodní částí stroje, dochází k rozdílné teplotní deformaci vrchní a spodní části stroje, a pokud je v dělicí rovině rovnoběžné s osou soustrojí spoj částí tělesa, je tento spoj deformován a ztrácí těsnost.

5

Pro dosažení dostatečně malé radiální vůle mezi těsnicími břity a jim protilehlou v podstatě válcovou těsnicí plochou a pro dosažení dostatečné těsnosti výše popsané hřídelové ucpávky bez toho, že by bylo nutné použít více než 10 těsnicích břitů, což by nežádoucím způsobem prodloužilo axiální délku hřídele a celého stroje, je výhodné, pokud je válcová těsnicí plocha součástí dílu skříně soustrojí, který zároveň slouží jako nosič radiálního plynového dynamického ložiska. Provedení nosiče ložiska integrované s dílem skříně, který vytváří plochu, která je součástí hřídelového těsnění a s dílem, který vytváří plochu, která leží proti pístu a spojuje nosič ložiska a část těsnění, redukuje počet dílů tělesa, které by jinak byly vyráběny samostatně a samostatně by se také upevňovaly do tělesa soustrojí. Tím dochází nejenom k úspoře času, ale zejména také ke zmenšení výrobních tolerancí a tolerancí při montáži, takže lze s větší přesností dosáhnout menší těsnicí mezery mezi břity labyrintového ložiska a jim protilehlou těsnicí plochou. První radiální plynové ložisko je pak v takovémto výhodném provedení uloženo v nosiči, který obsahuje první vnitřní válcovou plochu pro uložení pouzdra ložiska, druhou vnitřní válcovou plochu, která je součástí hřídelového těsnění, obě tyto válcové plochy jsou v podstatě rovnoběžné s osou hřídele, a nosič obsahuje také třetí plochu ve tvaru mezikruží, která je umístěna mezi výše popsanými dvěma válcovými plochami, je na ně v podstatě kolmá a ve smontovaném stavu soustrojí je umístěna naproti pístu.

15

20

Ve výše popsaném výhodném provedení nosiče radiálního ložiska integrovaného s těsněním, tvoří nosič ložiska společný díl skříně kompresoru a skříně elektromotoru tak, že nosič z části zasahuje do skříně kompresoru, kde je v něm uloženo radiální plynové dynamické ložisko, a z části zasahuje do skříně elektromotoru, kde je součástí těsnění. V části zasahující do skříně kompresoru je nosič obklopen tělesem kompresoru, ve kterém je uložen, v části zasahující do skříně elektromotoru je nosič obklopen vnitřním tělesem elektromotoru, ve kterém je uložen.

25

30

Disk axiálního plynového dynamického ložiska, který je na hřídeli pevně uložen mezi částí hřídele uložené ve druhém axiálním plynovém dynamickém ložisku a oběžným lopatkovým kolem turbíny turbodetandéru, obsahuje první v podstatě plochou stranu disku, která je v axiálním směru orientována směrem k rotoru elektromotoru a druhou v podstatě plochou stranu disku, která je první straně disku v ose hřídele axiálně protilehlá. Disk přiléhá první stranou k hřídeli a je k ní pevně připojen, např. tak, že první strana disku obsahuje čep, který je zasunut do dutiny vytvořené v hřídeli a/nebo tak, že je disk k hřídeli upevněn šroubem a disk a hřídel jsou zajištěny proti vzájemnému otočení v radiálním směru šrouby nebo kolíky, které jsou upevněny v otvorech v disku a v hřídeli. Oběžné kolo turbíny turbodetandéru přiléhá stranou, která je v axiálním směru protilehlá ke straně, na níž jsou umístěny lopatky kola, a která je v podstatě plochá, ke v podstatě ploché druhé straně disku a je s ní pevně spojena, např. tak, že jedna z přiléhajících stran obsahuje čep, který je zasunut do protilehlého dílu a/nebo tak, že oběžné kolo je k disku připevněno šroubem a oběžné kolo a disk jsou zajištěny proti vzájemnému otočení v radiálním směru šrouby nebo kolíky, které jsou uloženy v otvorech v disku a v hřídeli. Mezi druhou stranou disku a stranou oběžného kola turbíny turbodetandéru, která je s ní spojena, je s výhodou vytvořena axiální mezera ve tvaru radiální drážky vytvořené na povrchu hřídele mezi diskem a oběžným kolem turbodetandéru. Tato axiální mezera zmenšuje kontaktní plochu mezi diskem a relativně studeným kolem turbodetandéru a přerušuje tak z části tepelný most, kterým je přes společnou hřídel předáváno teplo z teplého rotoru elektromotoru studenému oběžnému kolu turbodetandéru. Další výhodou výše popsaného technického řešení, kdy disk axiálního ložiska a hřídel soustrojí nejsou vytvořeny z jednoho kusu materiálu, ale jsou spolu spojeny výše popsaným způsobem, je použití tenčí hřídele v části radiálního ložiska a s tím spojená úspora materiálu hřídele a tělesa turbodetandéru, ve kterém je uložena. Pro montáž hřídele do hmotového tělesa bez horizontální dělicí roviny se použije hřídel, která má, v části, která je uložena v radiálním plynovém dynamickém ložisku, které je uloženo v tělese turbodetandéru, a které se nachází mezi rotorem

50

55

elektromotoru a oběžným kolem turbodetandéru, menší průměr než hřídel, na které je upevněn rotor elektromotoru. Při montáži se hřídel částí uloženou v radiálním ložisku prostrčí vnitřní dutinou válcového tělesa turbodetandéru, případně se prostrčí vnitřní dutinou válcového tělesa nosiče ložiska, které se uloží do tělesa turbodetandéru, a disk axiálního ložiska se upevní na hřídel.

5 Část hřídele, na které je uložen rotor elektromotoru, a která má průměr větší než část hřídele uložené v radiálním ložisku, se válcovým tělesem turbodetandéru při montáži neprostrkává.

Stator elektromotoru se při provozu soustrojí nežádoucím způsobem zahřívá a je výhodné, pokud je chlazen chladicím médiem, které je odlišné od pracovního plynu chladicího stroje, jehož úniky sice proudí přes rotor elektromotoru, ale který ve vnitřní části elektromotoru nemá dostatečný průtok ani dostatečně nízkou teplotu, aby celý elektromotor dostatečně ochladil. Ve výhodném provedení turbokompresorového soustrojí chladicího stroje těleso elektromotoru obsahuje vnitřní těleso, ve kterém je uložen stator elektromotoru a vnější těleso, ve kterém je uloženo vnitřní těleso elektromotoru. Vnitřní i vnější těleso jsou tělesa výše popsaného hrncového typu, vnitřní těleso je vsunuto do vnějšího tělesa, které jej radiálně zcela a axiálně alespoň částečně obklopuje. Pro efektivní proudění chladicího média v blízkosti statoru elektromotoru je ve vnitřním a vnějším tělese vytvořen společný kanál pro proudění chladicího média elektromotoru. Provedení chladicího kanálu využívá hrncového uspořádání těles elektromotoru a kanál je v tělese elektromotoru s výhodou vytvořen tak, že jeho část, která prochází vnitřním tělesem, je vytvořena jako alespoň jedna spirálovitá drážka na vnějším povrchu vnitřního tělesa a je po celé své délce, mimo dvou průchodů do vnějšího tělesa, kterými médium proudí dovnitř do drážky a ven z drážky, uzavřena přiloženým vnějším tělesem.

10
15
20

Turbokompresorové soustrojí podle předloženého vynálezu je vhodné pro použití ve známých chladicích strojích, např. v chladicím stroji podle patentu CZ 308332 B6, a je vhodné zejména pro průmyslovou výrobu chladu.

25

Objasnění výkresů

Předložený vynález bude vysvětlen na základě příkladného provedení turbokompresorového soustrojí chladicího stroje, které je schematicky znázorněno na obrázcích. Na obr. 1 je znázorněn axiální řez turbokompresorovým soustrojím s vyznačením součástí podstatných pro vysvětlení podstaty vynálezu; na obr. 2 je znázorněn axiální řez turbosoustrojím znázorněným na obr. 1 s vyznačením proudění média chladicího stroje soustrojím turbokompresoru; a na obr. 3 je schematicky znázorněn detail provedení části turbodetandéru.

30
35

Příklady uskutečnění vynálezu

Turbokompresorové soustrojí pro výrobu chladu pro chladicí zařízení (obr. 1, 2) obsahuje kompresor I, turbodetandér II a elektromotor III umístěný mezi kompresorem I a turbodetandérem II. Turbokompresorové soustrojí obsahuje společnou skříň soustrojí, která obsahuje těleso 19 kompresoru I, těleso 20 turbodetandéru II a těleso 21 elektromotoru III, společnou hřídel 13 kompresoru I, turbodetandéru II a elektromotoru III, na které je v ose 131, která je zároveň osou soustrojí, umístěno radiální oběžné lopatkové kolo 1 kompresoru I, rotor 8 elektromotoru s trvalými magnety a radiální oběžné lopatkové kolo 5 turbodetandéru II tak, že rotor 8 elektromotoru III je umístěn mezi kolem 1 kompresoru I a kolem 5 turbodetandéru II, která jsou připevněna na protilehlých koncích hřídele 13, ve znázorněném provedení jsou připevněna k jeho čelům. Hřídel 13 je uložena ve společné skříni turbosoustrojí, ve dvou radiálních plynových dynamických ložiscích 10, 101, 102 a jednom axiálním plynovém dynamickém ložisku 11.

40
45
50

Motor soustrojí, kterým je v provedení vynálezu znázorněném na obr. 1 a 2 synchronní elektromotor III připojený ke známé neznázorněné řídicí jednotce, ale kterým může být v jiných provedeních vynálezu jiný typ motoru, např. asynchronní elektromotor, obsahuje rotor 8

55

elektromotoru III uložený na společné hřídeli 13 soustrojí, stator 9 a těleso 21, které obsahuje vnitřní těleso 211 a vnější těleso 212. Stator 9 je uložen ve vnitřním tělese 211, vnitřní těleso 211 je uloženo ve vnějším tělese 212 tak, že vnější těleso 212 je uloženo na vnější cylindrické ploše vnitřního tělesa 211. Vnitřní válcovité těleso 211 je tak zasunuto do hrnce vnějšího válcovitého tělesa 211 a vnější těleso 212 je vnitřním tělesem 211 v axiálním směru částečně obklopeno. Vnitřní a vnější těleso 211, 212 elektromotoru III obsahují kanál 12 pro průtok proudu S5 chladicího média pro chlazení statoru 9 elektromotoru III. Chladicí kanál 12 obsahuje vnitřní chladicí kanál 121 vytvořený ve vnitřním tělese 211 a vnější chladicí kanál 122 vytvořený ve vnějším tělese 212. Vnitřní chladicí kanál 122 je v tomto provedení vynálezu proveden tak, že na vnější válcové ploše vnitřního tělesa 211 je vyfrézována drážka vnitřního kanálu 121 ve tvaru šroubovice, která je ve smontovaném stavu tělesa 21 elektromotoru III uzavřena vnitřní válcovou plochou vnějšího tělesa 212. Vnější chladicí kanál 122 je proveden ve vnějším tělese 212 tak, že na dvou místech prochází vnějším tělesem 212 a spojuje vnitřní válcovou plochu vnějšího tělesa 212 a vnější válcovou plochu vnějšího tělesa 211, takže propojuje vnitřní chladicí kanál 121 s neznázorněným potrubím pro přívod/odvod chladicího média statoru elektromotoru. Proud chladicího média S5 (obr. 2), např. plynu nebo kapaliny, proudí prvním z vnějších kanálů 122 dovnitř tělesa 9 elektromotoru III a druhým z vnějších kanálů 122 je odváděn ven z tělesa 9.

Kompresor I (obr. 1, 2) obsahuje na vstupu do kompresoru I konfuzor 4, dále obsahuje oběžné lopatkové radiální kolo 1 připevněné na společnou hřídel 13 soustrojí a těleso 19 kompresoru I. V tělese 19 je vytvořen difuzor 2, na který navazuje spirálová výstupní komora 3.

První radiální ložisko 101, kterým je v tomto provedení vynálezu plynové dynamické ložisko, např. fóliové ložisko s ohýbanou fólií nebo jiné známé plynové dynamické ložisko, je uloženo v nosiči 16, který je zčásti obklopen tělesem 19 kompresoru I a zčásti přesahuje do elektromotoru III a je obklopen vnitřním tělesem 211 elektromotoru III. Nosič 16 prvního radiálního ložiska 101, obsahuje tři vnitřní plochy. První vnitřní válcová plocha 161 nosiče 16 je v podstatě rovnoběžná s válcovým povrchem hřídele 13, a tedy i s osou 131 hřídele 13, a je na ní umístěno první radiální ložisko 101, jehož pouzdro je vloženo do této části nosiče 16. Druhá vnitřní válcová plocha 163 je, stejně jako první vnitřní válcová plocha 161, v podstatě rovnoběžná s osou hřídele 131. Druhá válcová plocha 163 má větší vnitřní průměr než první válcová plocha 161 a je součástí hřídelového těsnění 14. První válcová plocha 161 je na nosiči 16 ložiska 101, ve smontovaném stavu soustrojí, umístěna mezi druhou vnitřní válcovou plochou 163 a oběžným kolem 1 kompresoru I. Mezi první vnitřní válcovou plochou 161 a druhou vnitřní válcovou plochou 163 nosiče 16 se nachází třetí vnitřní plocha 162 ve tvaru mezikruží, která je v podstatě kolmá na osu hřídele 131 a ve smontovaném soustrojí je umístěna v axiálním směru proti pístu 15, který je vytvarován na hřídeli 13 a slouží pro vyrovnávání axiální síly, kterou kolo 1 kompresoru I působí na společnou hřídel 13 soustrojí.

Hřídelové těsnění 14 je v příkladném provedení vynálezu labyrintové těsnění s nepravým labyrintem, kdy na válcové ploše hřídele 13 je umístěno 7 až 9 kruhových těsnících břitů uložených kolmo na osu hřídele 131, které těsní oproti v podstatě rovné druhé vnitřní ploše 163 nosiče 16, které se nedotýkají. Počet břitů těsnění je závislý na tlaku pracovního média před vstupem do těsnění 14 a na požadovaném tlakovém spádu těsnění 14, přičemž optimální počet břitů se podle charakteristik chladicího stroje, pro který je turbokompresor použit, pohybuje v rozmezí 5 až 10 břitů.

Za hřídelovým těsněním 14 je ve směru k rotoru 8 elektromotoru III umístěn ve vnitřním tělese 211 elektromotoru III společný odsávací kanál 22, kterým jsou odsávány úniky plynného pracovního média, např. vzduchu, který z kompresoru I projde přes hřídelové těsnění 14 a také úniky pracovního média, které z turbíny turbodetandéru II projdou přes elektromotor III. Úniky pracovního média jsou ze společného odsávacího kanálu 22 odváděny potrubím 23 (obr. 2) do konfuzoru 4 na vstupu do kompresoru I.

Břity hřídelového těsnění 14 jsou v tomto provedení pevně umístěny na otočné hřídeli 13 soustrojí a ve smontovaném stavu soustrojí jsou umístěny naproti druhé vnitřní ploše 163 nosiče 16 ložiska 101, která je nepohyblivou součástí skříně soustrojí. Břity těsnění 14 jsou v tomto provedení vyfrézovány přímo do materiálu hřídele 13, ale v jiném provedení mohou být místo vyfrézovaných břitů použity plechy zatemované v drážkách. V dalším provedení těsnění 14 je plocha 163 opatřena nástřikem materiálu, který je měkčí než materiál nosiče 16 a/nebo kovovou plstí, ve kterých zuby labyrintu za provozu stroje vytvoří těsnící drážky. V dalším provedení těsnění 14 je použito labyrintové těsnění s břity na druhé vnitřní ploše 163 nosiče 16, které těsní oproti v podstatě hladké válcové ploše hřídele 13. V ještě jiných dalších provedeních těsnění 14 jsou použity jiné známé druhy vhodných těsnění, např. kartáčové těsnění nebo plátkové těsnění, případně kombinace těchto druhů těsnění s výše popsáním labyrintovým těsněním.

Turbodetandér II obsahuje oběžné lopatkové kolo 5 expanzní turbíny turbodetandéru II, které je připevněno na společné hřídeli 13 soustrojí, těleso 20 turbodetandéru II, ve kterém je vytvořena vstupní spirálová komora 6 a výstupní difuzor 7. V tělese 20 je uloženo druhé radiální plynové dynamické ložisko 102 a axiální plynové dynamické ložisko 11, kterými jsou např. fóliová ložiska s ohýbanou fólií nebo jiná známá vhodná plynová dynamická ložiska.

Axiální ložisko 11 je v tomto provedení turbokompresorového soustrojí uloženo mezi druhým radiálním ložiskem 102 a lopatkovým kolem 5 turbíny turbodetandéru II, nachází se tak v relativně chladné části hřídele 13 soustrojí. V jiném provedení může být druhé radiální ložisko 102 uloženo mezi axiálním ložiskem 11 a lopatkovým kolem 5. Axiální ložisko 11 tvoří pevný bod, ve kterém je hřídel 13 zajištěna v axiálním směru proti posunu ve skříně soustrojí. Disk 111 axiálního ložiska 11 obsahuje první stranu disku a druhou stranu disku, které spolu ohraničují tělo disku 111 pevně uloženého na hřídeli 13. Disk 111 připevněný na hřídel 13 je orientován tak, že první strana disku je na hřídeli 13 umístěna blíže rotoru 8 než druhá strana disku 111. První i druhá strana disku 111 mají v podstatě kruhový tvar. Disk 111 (obr. 3) dále obsahuje vnitřní část 111b, která je v podstatě koncentrická s osou 131 a slouží zejména pro upevnění disku 111 na hřídeli 13, a vnější část 111a, která v radiálním směru obklopuje vnitřní část 111b, a je uložena v axiálním ložisku 11. Na obou stranách vnitřní části 111b disku 111 jsou čepy 112, 113, které jsou pevně spojeny s vnitřní částí 111a disku ložiska 11. Disk 111 axiálního ložiska 11, je upevněn na hřídeli 13 tak, že je svojí první stranou, na které je umístěn čep 112, zapuštěn čepem 112 do hřídele 13, je připevněn šroubem 18 a je zajištěn upevňovacími prostředky, např. šrouby nebo kolíky, které jsou v axiálním směru upevněny v hřídeli 13 a v disku 111.

Oběžné kolo 5 je připevněno k hřídeli 13 tak, že je svojí stranou, která je v axiálním směru protilehlá ke straně kola 5, na které jsou umístěny lopatky 51, připevněno ke druhé straně disku 111, která je v ose 131 hřídele 13 axiálně protilehlá první straně disku 111. Kolo 5 je nasazeno na čep 113, je k disku 111 připevněno šroubem 18 a je zajištěno upevňovacími prostředky, např. šrouby nebo kolíky, které jsou v axiálním směru upevněny v kole 5 a v disku 111. Oběžné kolo 5 připevněné k disku 111 přiléhá k disku 111 tak, že se dotýká pouze čepu 113, takže mezi vnitřní částí 111b disku 111 a kolem 5 je vytvořena radiální drážka 17. Takovýmto provedením pevného uložení kola 5 na hřídeli 13 je zmenšena plocha, kterou se dotýká kolo 5 hřídele 13 s diskem 111 a je zmenšen přenos tepla mezi studenou a teplou částí turbokompresorového soustrojí. Navíc je drážka 17 ochlazována proudem S3 unikajícího pracovního média.

Proudění pracovního média chladicího stroje v předloženém vynálezu turbokompresoru chladicího stroje, za provozu stroje, je schematicky znázorněno na obr. 2, kde jsou vyznačeny hlavní proud S1 pracovního média, proudy S2, S3 a S4 úniků pracovního média a proud S5 chladicího média tělesa 21 elektromotoru III. Proud S1 plynu o tlaku 1 Bar až 5 Bar se přivede vstupním hrdlem konfuzoru 4 do jednokolového radiálního kompresoru I, kde se v difuzoru 2 stlačí v kompresním poměru 1,6 až 2,2. Hlavní proud S1 stlačeného pracovního plynu o tlaku 1,6 Bar až 11 Bar a teplotě až 150 °C se dále přivede do neznázorněného známého výměníku a odtud se přivede do vstupní spirálové komory 6 turbodetandéru II, odkud se proud S1 přivede do oběžného kola 5

jednostupňové radiální expanzní turbíny, ve které se expanduje v expanzním poměru 1,5 až 2,1 a zároveň se ochladí na zadanou teplotu do -150 °C. Ochlazený proud S1 pracovního plynu se z difuzoru 7 přivede do neznázorněného známého výměníku a/nebo chladicí komory, kde se ohřeje a odtud se přivede zpět do konfuzoru 4 na vstupu kompresoru I. Vedlejší proud S2 stlačeného pracovního plynu o tlaku, který je menší než tlak plynu v difuzoru 2 a za provozu stroje nabývá hodnot tlaku 1,5 Bar až 10 Bar, se přivede z kompresoru I přes první radiální plynové dynamické ložisko 101 k pístu 15, na jehož pracovní plochu, která je protilehlá ploše 162, se působí axiální silou, která je orientována opačně k axiální složce síly, kterou na hřídel 13 působí oběžné kolo 1 kompresoru I, působení axiálních sil opačného směru se vyrovná a axiální ložisko 11 se odlehčí.

10 Proud S2 se poté přivede z pístu 15 přes hřídelové těsnění 14 do sběrného kanálu 22 odsávání úniků pracovního média, odkud se vede v proudu S4 společně s úniky pracovního plynu, které se přivedou proudem S3 z turbodetandéru II přes axiální ložisko 11, radiální ložisko 102 a rotor 8 elektromotoru III, potrubím 23 do vstupního hrdla konfuzoru 4 kompresoru I. Proudem S3, kterým se vedou úniky relativně chladného pracovního média z turbodetandéru II, se ochladí hřídel 13 a

15 rotor 8 elektromotoru II. Stator 9 elektromotoru II uložený v tělese 21, 211 se ochladí chladicím médiem, např. kapalinou nebo plynem, tak, že se chladicí médium přivede proudem S5 z neznázorněného známého zdroje do vnějšího chladicího kanálu 122, přes který se vede do vnitřního kanálu 121, těleso 21 se statorem 9 se ochladí, a proud S5 se vede do vnějšího kanálu 122, ze kterého se vede do neznázorněného známého zdroje chladicího média. Proud S5 chladicího

20 média statoru 9 elektromotoru III není ve fluidní komunikaci s žádným z proudů S1, S2, S3, S4 pracovního média chladicího stroje.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Turbokompresorové soustrojí chladicího stroje obsahující kompresor (I), elektromotor (III) a
 5 turbodetandér (II) uspořádané ve společné skříni, která obsahuje těleso (19) kompresoru, těleso
 (21) elektromotoru, těleso (20) turbodetandéru a hřídel (13) uloženou ve společné skříni v
 plynových ložiskách, k nimž je vyústěn přívod pracovního plynu z turbokompresorového soustrojí,
 přičemž na hřídeli (13) jsou pevně uloženy oběžné kolo (1) kompresoru, oběžné kolo (5) turbíny
 10 turbodetandéru a rotor (8) elektromotoru, přičemž oběžné kolo (1) kompresoru a oběžné kolo (5)
 turbíny jsou umístěny na protilehlých koncích společné hřídele a rotor (8) elektromotoru je umístěn
 mezi nimi, **vyznačující se tím**, že mezi oběžným kolem (1) kompresoru a rotorem (8)
 elektromotoru je hřídel (13) uložena v prvním radiálním plynovém dynamickém ložisku (101) a
 mezi oběžným kolem (5) turbíny a rotorem (8) elektromotoru je hřídel (13) uložena v druhém
 15 radiálním plynovém dynamickém ložisku (102), přičemž mezi druhým radiálním plynovým
 dynamickým ložiskem (102) a oběžným kolem (5) turbíny je hřídel uložena v axiálním plynovém
 dynamickém ložisku (11), přičemž mezi vnitřní stěnou tělesa (19) kompresoru (I) a hřídeli (13) je
 zformován přívod vedlejšího proudu (S2) pracovního plynu turbokompresorového soustrojí do
 prvního radiálního ložiska (101) a mezi vnitřní stěnou tělesa (20) turbodetandéru (II) a hřídeli (13)
 20 je zformován přívod vedlejšího proudu (S3) pracovního plynu do druhého radiálního ložiska (102)
 a do axiálního ložiska (11).
2. Turbokompresorové soustrojí podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že první radiální plynové
 dynamické ložisko (101) je směrem k rotoru (8) elektromotoru (III) utěsněno hřídelovým těsněním
 (14) a mezi prvním radiálním ložiskem (101) a hřídelovým těsněním (14) je na hřídeli vytvořena
 25 plocha ve tvaru mezikruží, která je kolmá k ose (131) hřídele (13), a která slouží jako píst (15) pro
 vyrovnávání axiální síly působící na hřídel (13).
3. Turbokompresorové soustrojí podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že hřídelové těsnění (14)
 mezi prvním radiálním plynovým dynamickým ložiskem (101) a rotorem (8) je nepravý labyrint
 30 tvořený alespoň pěti břity, které těsní oproti v podstatě rovné válcové ploše.
4. Turbokompresorové soustrojí podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se**
tím, že první radiální plynové dynamické ložisko (101) je uloženo v nosiči (16), který obsahuje
 první vnitřní válcovou plochu (161) pro uložení pouzdra radiálního ložiska (101), která je
 35 v podstatě rovnoběžná s osou (131) hřídele (13), druhou vnitřní válcovou plochu (163), která je
 v podstatě rovnoběžná s osou (131) hřídele (13), a která je součástí hřídelového těsnění (14) a třetí
 vnitřní plochu (162) ve tvaru mezikruží, která je v podstatě kolmá na osu (131) hřídele (13) a je
 umístěna mezi první válcovou plochou (161) a druhou válcovou plochou (163), přičemž průměr
 válcové dutiny ohraničené druhou válcovou plochou (163) je větší než průměr válcové dutiny
 40 ohraničené první válcovou plochou (161).
5. Turbokompresorové soustrojí podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že nosič (16) ložiska (101)
 je vytvořen z jednoho kusu materiálu a je ve své první části obklopen tělesem (19) kompresoru (I),
 ve kterém je uložen, a ve své druhé části je obklopen vnitřním tělesem (211) elektromotoru (III),
 45 ve kterém je uloženo.
6. Turbokompresorové soustrojí podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se**
tím, že na hřídeli (13) je uložen disk (111) axiálního plynového dynamického ložiska (11), který
 je první stranou disku (11) orientován směrem k rotoru (8) a druhou stranou disku je orientován
 50 směrem k oběžnému kolu (5) turbíny turbodetandéru (II), přičemž v hřídeli (13) je mezi
 diskem (11) a oběžným kolem (5) vytvořena radiální drážka (17).

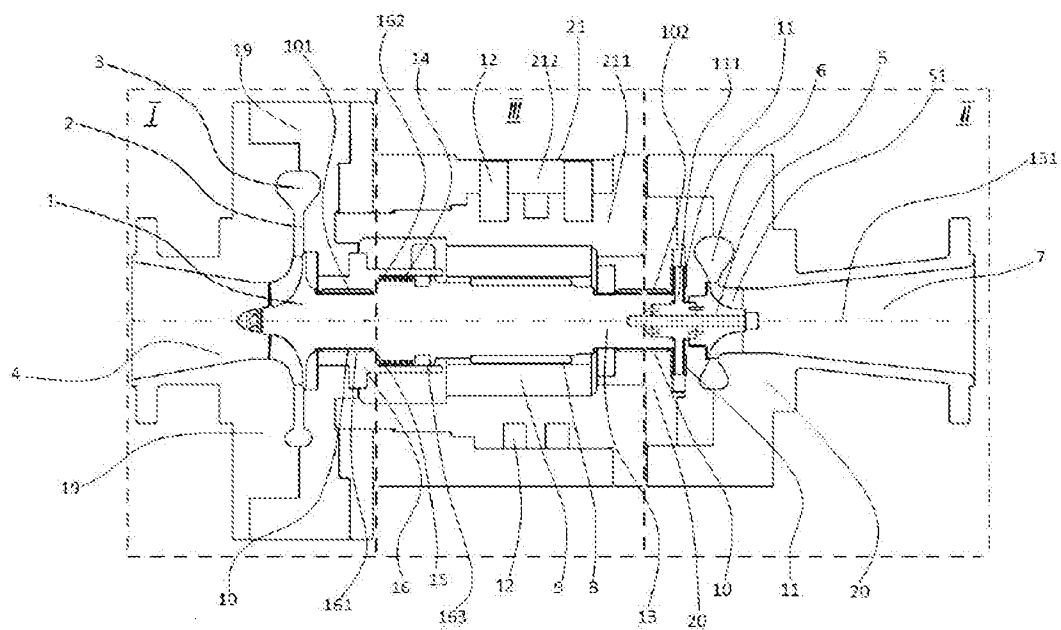
7. Turbokompresorové soustrojí podle kteréhokoliv z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že těleso (21) elektromotoru (III) obsahuje vnitřní těleso (211), ve kterém je uložen stator (9) elektromotoru (III), vnější těleso (212), ve kterém je uloženo vnitřní těleso (211), a že ve vnitřním a ve vnějším tělese (211, 212) je vytvořen společný chladicí kanál (12), který slouží průtoku chladicího média pro chlazení statoru (9) elektromotoru.

3 výkresy

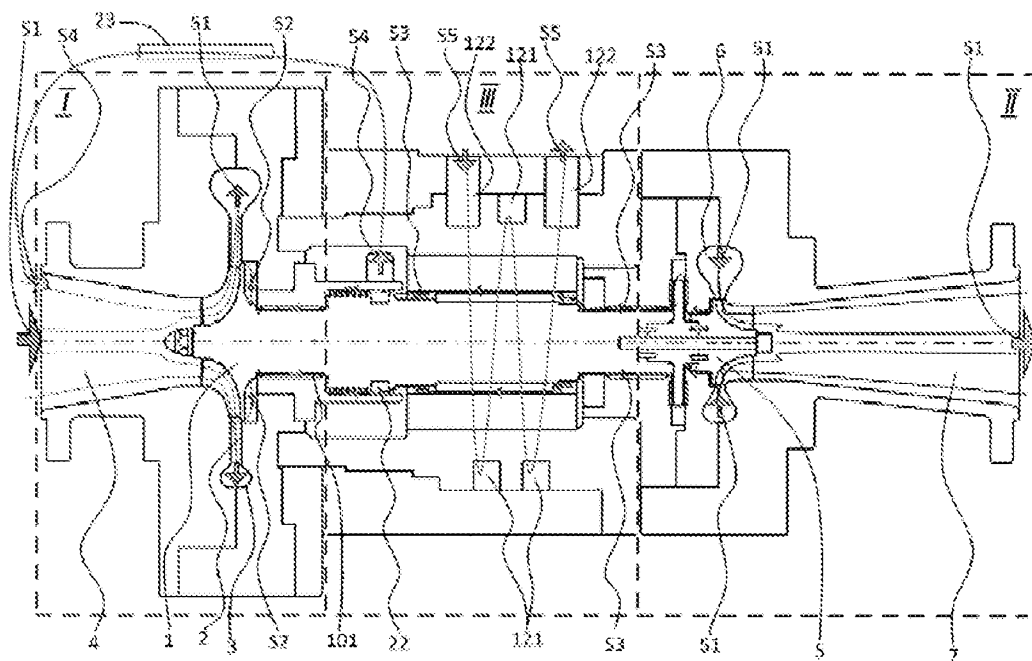
Seznam vztahových značek

I	kompresor
II	turbodetandér
III	elektromotor
1	lopatkové kolo kompresoru
2	difuzor kompresoru
3	spirálová komora kompresoru
4	konfuzor na vstupu kompresoru
5	lopatkové kolo turbíny turbodetandéru
51	lopatka lopatkového kola turbíny turbodetandéru
6	spirálová komora turbodetandéru
7	difuzor na výstupu turbodetandéru
8	rotor elektromotoru s trvalými magnety
9	stator elektromotoru
10	radiální plynová dynamická ložiska
101	první radiální plynové dynamické ložisko
102	druhé radiální plynové dynamické ložisko
11	axiální plynové dynamické ložisko
111	disk axiálního plynového dynamického ložiska
111a	vnější část disku axiálního plynového dynamického ložiska
111b	vnitřní část disku axiálního plynového dynamického ložiska
112	první čep disku axiálního plynového dynamického ložiska
113	druhý čep disku axiálního plynového dynamického ložiska
12	kanál pro chladicí médium elektromotoru
121	vnitřní kanál pro chladicí médium elektromotoru
122	vnější kanál pro chladicí médium elektromotoru
13	hřídel
131	osa hřídele
14	hřídelové těsnění
15	píst pro vyrovnávání axiální síly
16	nosič radiálního ložiska
161	první vnitřní válcová plocha nosiče radiálního ložiska
162	třetí vnitřní plocha nosiče radiálního ložiska
163	druhá válcová plocha nosiče radiálního ložiska
17	radiální drážka mezi diskem axiálního ložiska a lopatkovým kolem turbíny turbodetandéru
18	šroub pro upevnění lopatkového kola turbíny turbodetandéru
19	těleso kompresoru
20	těleso turbodetandéru
21	těleso elektromotoru
211	vnitřní těleso elektromotoru
212	vnější těleso elektromotoru
22	kanál společného odsávání úniků pracovního média
23	potrubí společného odsávání úniků pracovního média

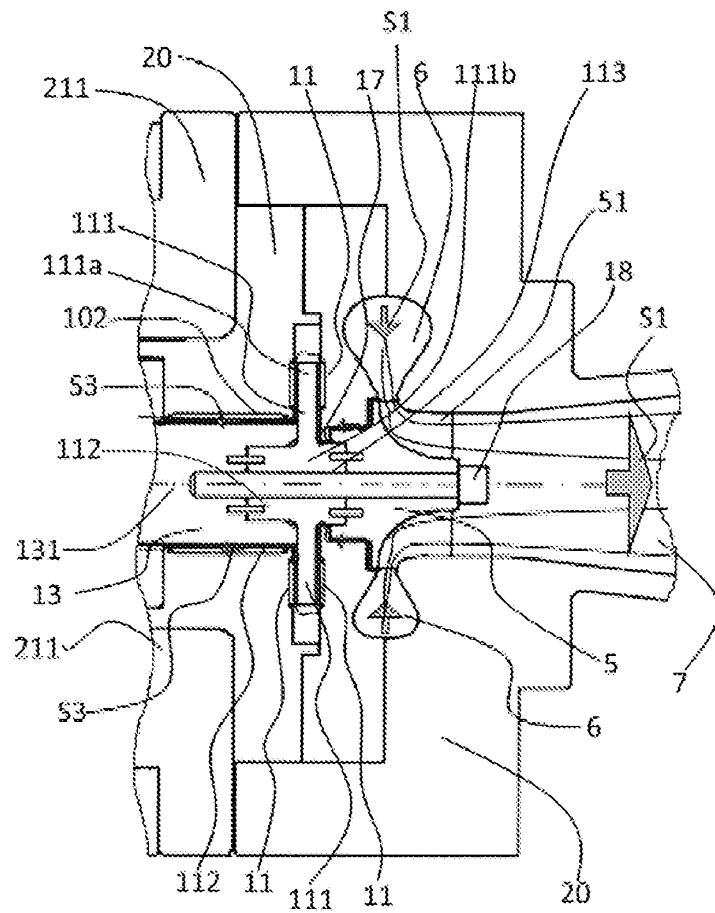
- S1 hlavní proud pracovního plynu
- S2 vedlejší proud pracovního plynu z kompresoru
- S3 vedlejší proud pracovního plynu z turbodetandéru
- S4 společný proud úniků pracovního plynu z kompresoru a turbodetandéru
- S5 proud chladicího média tělesa elektromotoru



Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3