



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0911341-0 B1



(22) Data do Depósito: 16/04/2009

(45) Data de Concessão: 03/12/2019

(54) Título: ROTOR DE COMPRESSOR DE UMA TURBOMÁQUINA E TURBOMÁQUINA, TAL COMO UM TURBORREATOR OU UM TURBOPROPULSOR DE AVIÃO

(51) Int.Cl.: F01D 5/08; F02C 6/08; F04D 27/02; F04D 29/32.

(30) Prioridade Unionista: 24/04/2008 FR 0802297.

(73) Titular(es): SNECMA.

(72) Inventor(es): LAURENT BEHAGHEL; LAURENT GILLE; BENJAMIN PEGOUET.

(86) Pedido PCT: PCT FR2009000446 de 16/04/2009

(87) Publicação PCT: WO 2009/133308 de 05/11/2009

(85) Data do Início da Fase Nacional: 22/10/2010

(57) Resumo: ROTOR DE TURBOMÁQUINA, TURBORREATOR E TAMPÃO FORMANDO UM MEIO ANTIDESGASTE, PARA UM ROTOR DE TURBOMÁQUINA A presente invenção tem como objeto um rotor de turbomáquina que compreende um disco (20) com um aro e alvéolos (21) axiais usinados no aro para o alojamento individual de pás, um anel (43) sendo adaptado em uma face do aro, o anel sendo perfurado com furos (44) no prolongamento axial dos alvéolos, pelo menos uma parte dos ditos furos (44) no prolongamento dos alvéolos compreendendo um tampão (50), caracterizado pelo fato de que o tampão é formado por um primeiro meio tampão (51) realizado em um primeiro material que resiste ao desgaste e por um segundo meio tampão (52) feito de um segundo material, os dois meio tampões se apoiando um de um lado do anel (43) e ou outro do outro lado do anel (43) e sendo ligados um com o outro através do furo (44). A invenção também tem como objeto um tampão adaptado para formar um dispositivo antidesgaste.

“ROTOR DE COMPRESSOR DE UMA TURBOMÁQUINA E TURBOMÁQUINA, TAL COMO UM TURBORREATOR OU UM TURBOPROPULSOR DE AVIÃO”

[0001] A presente invenção se refere a meios de retirada de ar centrípeto em um rotor de compressor de uma turbomáquina tal como um turborreator ou um turbopropulsor de avião.

[0002] Os discos com pás de um rotor de compressor são ligados entre si por uma parede coaxial de revolução substancialmente cilíndrica ou troncônica que se estende entre os discos. Essa parede de ligação dos discos pode ser formada de uma só peça com o primeiro disco ou ser adaptada e fixada, por exemplo por brasagem ou soldagem, em uma de suas extremidades axiais em uma face lateral desse primeiro disco, e sua extremidade axial oposta pode compreender um flange anular fixado por exemplo com o auxílio de meios de tipo parafuso/porca em um segundo disco.

[0003] É conhecido equipar esse rotor com meios de retirada de ar com escoamento centrípeto, para alimentar sistemas de ventilação e/ou de resfriamento de estágios a jusante do compressor e aros de turbina da turbomáquina, e para assegurar a limpeza da turbina.

[0004] Na técnica atual, esses meios de retirada de ar compreendem passagens transpassantes formadas na parede de ligação dos discos de rotor e que desembocam em uma câmara anular formada no interior da parede entre dois discos do rotor.

[0005] Uma parte do ar que escoar no percurso de escoamento do compressor é retirada pelas passagens transpassantes da parede do rotor e passa para a câmara anular onde ela escoar de maneira centrípeta ao longo dos discos de rotor, e depois circula de a montante para a jusante na turbomáquina, no exterior de uma bainha cilíndrica axial, para atingir a turbina. No entanto, as turbulências e as perdas de carga dentro da câmara anular entre os discos de rotor são grandes, o que leva a efetuar a retirada de ar em um estágio a jusante do compressor, e se traduz por um aumento do consumo específico da turbomáquina.

[0006] Além disso, o ar retirado esquenta por causa de sua velocidade de

rotação elevada em relação àquela dos discos. Quando o coeficiente K_e de arrastamento do ar (que é igual à relação da velocidade tangencial do ar retirado e que circula dentro da turbomáquina sobre a velocidade de rotação do rotor do compressor da turbomáquina) é superior a 1, é necessário aumentar a vazão de ar retirado para assegurar um bom resfriamento dos componentes da turbina. No entanto, em certas zonas, em especial na câmara interdiscos e na proximidade da bainha cilíndrica, o coeficiente K_e pode atingir 2,5 na técnica atual.

[0007] Para reduzir esse inconveniente, já foi proposto montar na câmara entre os discos uma fileira anular de tubos radiais que são fixados nesses discos em torno da bainha por meios apropriados (ver o documento EP-A1-1 262 630). O ar retirado pelas passagens transpassantes da parede de ligação é forçado a passar nos tubos radiais que giram na mesma velocidade que os discos. O ar na saída desses tubos chega ao nível da bainha cilíndrica com uma velocidade equivalente àquela dos discos ($K_e = 1$), o que permite limitar as perdas de carga e o aumento de temperatura do ar retirado.

[0008] No entanto, as perdas de carga na entrada na câmara anular permanecem grandes. Além disso, os meios de fixação desses tubos radiais são complexos pois eles devem limitar as vibrações dos tubos em funcionamento, o que se traduz por um custo relativamente grande e por um aumento de massa.

[0009] A invenção tem notadamente como objetivo trazer uma solução mais simples, mais eficaz e mais econômica a esses problemas da técnica atual.

[0010] Ela propõe para isso um rotor de compressor de uma turbomáquina, que compreende pelo menos dois discos coaxiais que levam pás e que são ligados entre si por uma parede de revolução coaxial substancialmente cilíndrica, e meios de retirada de ar centrípeto que compreendem passagens de ar que atravessam a parede e que desembocam em uma câmara formada no interior da parede de revolução entre os dois discos, caracterizado pelo fato de que uma parede de guia de ar é montada dentro da câmara e compreende uma parte substancialmente cilíndrica que se estende ao longo da parede de revolução e a pequena distância radial dessa última para definir com essa parede uma passagem anular de

escoamento axial do fluxo de ar que sai das passagens, até um dos discos do rotor.

[0011] Assim, de acordo com a invenção, o ar que sai das passagens que atravessam a parede de revolução é canalizado ao longo dessa parede até um dos discos de rotor e não pode mais chegar ao espaço central da câmara entre os discos. Evita-se assim a explosão dos jatos de ar na saída das passagens transpassantes e a formação de turbilhões geradores de perdas de carga. O ar guida ao longo da parede de revolução escoando em seguida de modo natural ao longo dos discos na direção do eixo de rotação formando assim sobre esses discos camadas nas quais as velocidades do ar são essencialmente radiais. Essas camadas se aparentam a fenômenos atmosféricos ou oceânicos e são chamadas camadas de Ekman.

[0012] A distância radial entre a parede de guia e a parede de revolução que liga os discos é notadamente determinada em função da vazão de ar retirado pelas passagens precisadas. Um compromisso deve ser estabelecido de modo a guiar da melhor forma possível o ar retirado sem gerar turbilhão nem recirculação, e sem prejudicar o escoamento desse ar. Cálculos numéricos de dinâmica dos fluidos podem ser utilizados para calcular essa distância radial. Ela é por exemplo da ordem de alguns milímetros, e mesmo de alguns centímetros.

[0013] Em um exemplo de realização, o ganho em perdas de carga do fluxo de ar retirado pode atingir 50 % em relação à técnica anterior. Devido a essa diminuição das perdas de carga, pode ser considerado retirar o ar em um estágio do compressor mais a montante, o que permite diminuir o consumo específico da turbomáquina, assim como a temperatura do ar retirado.

[0014] As passagens de ar da parede podem ser inclinadas em relação ao eixo de rotação do rotor. Essas passagens de ar são por exemplo inclinadas de a montante para a jusante na direção do interior ou na direção do exterior para dar uma componente axial ao fluido na saída das passagens de ar e assim facilitar o escoamento desse fluido ao longo da parede de revolução. Essas passagens de ar podem ser formadas em uma parte de extremidade a jusante da parede de revolução, a jusante de uma junta de labirinto destinada a operar junto com um

retificador montado entre os dois discos do rotor.

[0015] De acordo com uma outra característica da invenção, a parede de guia é adaptada e fixada em um dos discos, no interior da câmara anular.

[0016] Essa parede de guia pode ser setorizada para facilitar sua montagem, e é por exemplo realizada em material metálico leve ou em material compósito. Ela pode ser projetada para poder se integrar em um ambiente existente, e pode por exemplo compreender em uma extremidade um flange anular de união em um flange anular de fixação da parede de revolução em um dos discos.

[0017] A parede de guia de acordo com a invenção é menos custosa e mais fácil de montar que os tubos radiais utilizados na técnica anterior. Ela é também mais compacta e mais simples, o que se traduz notadamente por um ganho de massa e em duração de vida dos meios de retirada de ar de acordo com a invenção.

[0018] A passagem anular axial de escoamento do fluxo de ar definido entre a parede de guia e a parede de revolução pode ter uma seção substancialmente constante. A parte cilíndrica da parede de guia pode ser ligada em uma extremidade a um rebordo anular substancialmente radial que se estende na direção do eixo de rotação substancialmente paralelamente e a pequena distância de um dos discos para definir com esse disco uma passagem anular radial de escoamento do fluxo de ar na direção da bainha precitada. Esse rebordo se estende preferencialmente em uma fração da dimensão radial da câmara. A parede de guia tem nesse caso uma forma substancialmente em L em seção.

[0019] A distância radial entre a parede de guia e a parede de revolução e a distância axial entre o rebordo anular radial e o disco são notadamente determinadas para impedir recirculações e turbilhões de ar dentro da câmara interdiscos. Graças a esse controle do escoamento do ar dentro da câmara, as perdas de carga podem ser notavelmente reduzidas.

[0020] Preferencialmente, a parte cilíndrica da parede de guia compreende contatos de apoio sobre a parede de revolução para limitar as vibrações e as flexões dessa parede de guia em funcionamento.

[0021] O rebordo radial da parede de guia pode levar aletas de guia e/ou de

retificação do fluxo de ar na passagem radial. As aletas permitem arrastar o ar ao longo do disco, de modo a que sua velocidade seja próxima daquela do disco ($K_e = 1$). As aletas podem ser inclinadas de modo a produzir em funcionamento um efeito de aspiração do fluxo de ar. Essas aletas são de preferência aplicadas em um dos discos.

[0022] Vantajosamente, a extremidade da parede de guia, oposta ao rebordo radial, é aplicada sobre a parede de revolução e impede que o ar que sai das passagens transpassantes escoe ao longo do outro disco.

[0023] A presente invenção se refere também a uma turbomáquina, tal como um turboreator ou um turbopropulsor de avião, caracterizada pelo fato de que ela compreende um rotor de compressor tal como descrito acima.

[0024] A presente invenção será melhor compreendida e outros detalhes, características e vantagens da presente invenção aparecerão mais claramente com a leitura da descrição seguinte feita a título de exemplo não limitativo e em referência aos desenhos anexos, nos quais:

- a figura 1 é uma meia vista esquemática parcial em corte axial de uma turbomáquina que compreende notadamente um compressor, uma câmara de combustão e uma turbina;

- a figura 2 é uma meia vista esquemática parcial em corte axial de um rotor de compressor equipado com meios de retirada de ar centrípeto de acordo com a invenção, em maior escala que a figura 1;

- a figura 3 é uma vista esquemática em perspectiva de uma parede cilíndrica de guia dos meios de retirada de ar da figura 2;

- a figura 4 é uma vista que corresponde à figura 2 e que representa uma variante de realização dos meios de retirada de ar de acordo com a invenção; e

- a figura 5 é uma vista em corte de acordo com alinha A-A da figura 4.

[0025] Faz-se primeiro referência à figura 1 que representa uma parte de uma turbomáquina 10 equipada com meios 12 de retirada de ar centrípeto de acordo com a técnica anterior.

[0026] A turbomáquina compreende notadamente um compressor, uma câmara

de combustão e uma turbina. O compressor 14, 16 parcialmente representado compreende um módulo a montante que compreende vários estágios axiais 14 de compressão e um módulo a jusante que compreende um estágio centrífugo 16 de compressão. Cada estágio axial 14 do compressor compreende uma roda de rotor formada por um disco 18, 20 que leva em sua periferia externa pás 22, e um retificador 24 situado a jusante da roda e formado por uma fileira anular de pás fixas de retificação.

[0027] Os discos de rotor 18, 20 são fixados coaxialmente uns aos outros e ao rotor 26 do estágio centrífugo 16 que é ele próprio fixado por um cárter cilíndrico interno 28 da câmara de combustão a uma roda de rotor da turbina. Essa roda de turbina é formada por um aro 30 que leva em sua periferia externa pás 32.

[0028] Os discos 18, 20 do rotor do compressor são ligados entre si e ao rotor 26 por paredes 34, 36 e 38 de revolução substancialmente cilíndricas ou troncocônicas que se estendem em torno do eixo de rotação do rotor.

[0029] A figura 1 mostra somente dois discos 18, 20 do rotor do compressor. O disco a jusante 20 é formado de uma só peça com uma parede a montante 36 substancialmente cilíndrica de fixação no disco a montante 18, e com uma parede a jusante 38 substancialmente troncocônica de fixação no rotor 26. A extremidade a montante da parede cilíndrica 36 leva um flange anular 40 que é aplicado sobre uma face radial a jusante do disco 18 e fixado nesse disco por meios 42 do tipo parafuso/porca. As paredes 36, 38 poderiam também ser adaptadas e fixadas, por exemplo por soldagem ou brasagem, no disco 20.

[0030] O disco a montante 18 é ele próprio fixado a um disco (não visível) situado mais a montante por uma outra parede cilíndrica 34. Essa parede 34 se estende para a jusante a partir do disco não visível e sua extremidade a jusante compreende um flange anular 44 de fixação no disco 18. Esse flange 44 é aplicado em uma face radial a montante do disco 18 e é fixado nesse disco pelos meios 42 precisados.

[0031] De modo conhecido, as paredes 34, 36 e 38 do rotor do compressor compreendem tirinhas anulares externas 46 que operam junto por atrito com

elementos feitos de material abrasivo levados pelos retificadores 24 para formar juntas de estanqueidade do tipo de labirinto.

[0032] Os meios de retirada de ar centrípeto são montados entre os discos de rotor de dois estágios consecutivos do compressor da turbomáquina. No exemplo representado, os meios 12 são previstos entre os discos 18 e 20 e compreendem passagens radiais 48 formadas na parede 36 do disco 20, e que desembocam em uma câmara anular 50 definida pelos discos 18, 20 e pela parede 36 de ligação desses discos. Os meios de retirada 12 compreendem também uma fileira anular de tubos radiais 51 que são dispostos na câmara 50 e que são fixados por meios apropriados nos discos 18 e 20.

[0033] Uma parte do ar que circula no percurso de escoamento do compressor passa radialmente do exterior para o interior através das passagens 48 da parede 36 e penetra na câmara anular 50. Esse ar é em seguida forçado a passar através dos tubos radiais 51 para sair dessa câmara 50. O ar que sai dos tubos escoaxialmente para a jusante em torno de uma bainha cilíndrica 52 que se estende coaxialmente no interior dos discos 18, 20, dos tubos 51 e do rotor 26 do compressor, e do aro 30 da turbina. O ar escoaxialmente até a turbina e pode alimentar sistemas de resfriamento e/ou de ventilação de componentes dessa turbina.

[0034] No entanto, os tubos radiais 51 apresentam os inconvenientes descritos mais acima, e não permitem reduzir as perdas de carga do fluxo de ar na saída das passagens 48 da parede 36 e na câmara anular 50.

[0035] A invenção permite corrigir pelo menos em parte esses problemas graças a meios de guia do fluxo de ar até um dos discos do rotor do compressor, situado a montante ou a jusante das passagens da parede 36.

[0036] A invenção permite diminuir de maneira significativa as perdas de carga do fluxo de ar retirado e considerar a retirada de ar mais a montante no compressor a fim de limitar o consumo específico da turbomáquina.

[0037] No exemplo representado na figura 2, os elementos já descritos em referência à figura 1 são designados pelos mesmos números aumentado de uma

centena. Os meios de retirada de ar foram aqui dispostos a montante do disco 118 (que corresponde ao disco 18 da figura 1), entre esse disco 118 e um disco 117 de um estágio a montante do compressor.

[0038] Os meios de guia do fluxo de ar de acordo com a invenção compreendem uma parede 154 de seção substancialmente em L que é adaptada e fixada na câmara 150 ao longo da parede 134 de ligação dos discos 117 e 118, essa parede 154 sendo representada em perspectiva na figura 3.

[0039] A parede de guia 154 é realizada em chapa e se estende de modo contínuo em 360°. Em variante, ela pode ser setorizada para facilitar sua montagem dentro da câmara 150.

[0040] Essa parede de guia 154 compreende uma parte mediana 156 substancialmente cilíndrica que se estende paralelamente à parede 134 e a pequena distância radial dessa última, em uma maior parte de sua dimensão axial. Essa parte cilíndrica 156 delimita com a superfície cilíndrica interna da parede 134 uma passagem anular cilíndrica 158 de escoamento axial do fluxo de ar retirado, de seção substancialmente constante. No exemplo representado, o fluxo de ar retirado circula axialmente de a jusante para a montante na passagem 158 (flecha 159).

[0041] As passagens 148 de retirada de ar são formadas em uma parte de extremidade a jusante da parede 134, a jusante das tirinhas 146, e desembocam em uma parte de extremidade a jusante da passagem anular 158. Essas passagens 148 são inclinadas em relação ao eixo de rotação do rotor, de a montante para a jusante na direção do exterior. O ar que passa através dessas passagens 148 é assim orientado axialmente para a montante de modo a facilitar seu escoamento axial de a jusante para a montante na passagem 148.

[0042] A parte cilíndrica 156 da parede de guia é ligada em sua extremidade a jusante por uma porção cilíndrica 161 de maior diâmetro a um flange anular 160 de fixação no disco a jusante 118. Esse flange 160 é aplicado sobre a face a montante do flange 144 da parede 134 que é nesse caso comprimida axialmente com o auxílio dos meios de fixação 142 entre o flange 160 e o disco 118. A porção cilíndrica a

jusante 161 da parede de guia 154 está em apoio radial sobre a superfície cilíndrica interna da parede 134, a jusante das passagens 148 dessa parede, para impedir que o ar que sai dessas passagens escoe ao longo do disco 118.

[0043] A parte cilíndrica 156 da parede de guia 156 é por outro lado ligada em sua extremidade a montante a um rebordo anular 162 que se estende substancialmente radialmente para o interior a partir da parte cilíndrica. Esse rebordo 162 se estende paralelamente ao disco 117 e a pequena distância axial desse último de modo a criar uma passagem radial 164 de escoamento centrípeto do fluxo de ar retirado (flecha 165). O rebordo 162 se estende radialmente em uma parte radialmente externa somente do disco 117 por o fluxo de ar retirado escoar naturalmente em funcionamento ao longo do disco 117 e até a bainha 152 formando assim camadas de Ekman (flecha 166). Essa bainha 152 tem uma dimensão axial superior àquela da bainha da figura 1 e se estende axialmente no interior dos discos 117 e 118.

[0044] No exemplo representado, meios que formam batente são adaptados e fixados na superfície externa da parte cilíndrica 156 da parede de guia 154. Esses meios de batente compreendem contatos 166 regularmente distribuídos em torno do eixo de rotação do rotor. Esses contatos 166 têm suas extremidades radialmente externas em apoio radial sobre a superfície cilíndrica interna da parede 134 de modo a limitar as vibrações e as deformações em flexão da parede de guia 154 em funcionamento.

[0045] Na variante representada nas figuras 4 e 5, os elementos já descritos na figura 2 são designados pelos mesmos números aumentados de uma centena. A parede de guia 254 compreende aqui aletas 268 suplementares que são adaptadas e fixadas na face anular a montante do rebordo 262 da parede.

[0046] Essas aletas 268 são regularmente distribuídas em torno do eixo de rotação do rotor e estão em apoio axial em suas extremidades a montante sobre o disco 117.

[0047] Como está visível na figura 5, essas aletas são inclinadas para retificar o ar que circula através da passagem radial 264 e para reduzir a velocidade desse ar

a fim de que essa última não exceda a velocidade do disco 217 ($Ke = 1$). A inclinação das aletas é aqui tal que ela acarreta um fenômeno de aspiração do ar por ocasião de seu escoamento centrípeto.

[0048] Em mais uma outra variante não representada, as passagens 148, 248 de retirada de ar são formadas em uma parte de extremidade a montante da parede 134, 234, e o ar retirado é destinado a ser guiado pela parede cilíndrica 154, 254 axialmente de a montante para a jusante até o disco 118, 218 situado a jusante das passagens. A parede de guia 154, 254 é nesse caso montada na câmara interdiscos 150, 250 de modo a que seu flange de fixação 160, 260 esteja situado a montante e não mais a jusante, e as passagens 148, 248 da parede 134, 234 podem se estender de a montante para a jusante na direção do interior.

[0049] A temperatura do ar retirado é da ordem de 500K e a vazão de ar retirado é da ordem de 100 g/s.

REIVINDICAÇÕES

1. Rotor de compressor de uma turbomáquina compreendendo pelo menos dois discos coaxiais (117, 118) que portam pás e que são ligados entre si por uma parede de revolução coaxial (134) substancialmente cilíndrica, e meios de retirada de ar centrípeto que compreendem passagens de ar (148) que atravessam a parede e que desembocam em uma câmara (150) formada no interior da parede de revolução e definida entre a dita parede de revolução e entre os dois discos, caracterizado pelo fato de que uma parede (154) de guia de ar é montada dentro da câmara e compreende uma parte (156) substancialmente cilíndrica que se estende ao longo da parede de revolução (134) para definir com essa parede uma passagem anular (158) de escoamento axial do fluxo de ar que sai das passagens, até um dos discos do rotor, a parede de guia (154) compreendendo em uma extremidade um rebordo radial (162) que se estende ao longo de um dos discos (177) na direção do eixo de rotação.

2. Rotor de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que as passagens de ar (148) da parede são inclinadas em relação ao eixo do rotor.

3. Rotor de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que as passagens de ar (148) são formadas em uma parte de extremidade a jusante da parede (134), a jusante de uma junta de labirinto (146) destinada a cooperar com um retificador montado entre os dois discos (117, 118) do rotor.

4. Rotor de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que a parede de guia (154) é adaptada e fixada em um dos discos (177, 118), no interior da câmara (150).

5. Rotor de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que a parede de guia (154) é setorizada.

6. Rotor de acordo com a reivindicação 4 ou 5, caracterizado pelo fato de que a parede de guia (154) compreende em uma extremidade um flange anular (160) de fixação em um flange anular (144) da parede de revolução (134) e em um dos discos (117, 118).

7. Rotor de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6,

caracterizado pelo fato de que a passagem anular axial (158) de escoamento do fluxo de ar tem uma seção substancialmente constante.

8. Rotor de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que a parte cilíndrica (156) da parede de guia compreende contatos (166) de apoio sobre a parede de revolução (134) para limitar as vibrações e a flexão da parede de guia (154) em funcionamento.

9. Rotor de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que o rebordo radial (262) porta aletas (266) de retificação e/ou de desaceleração do fluxo de ar que são aplicadas sobre o disco (217).

10. Rotor de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que as aletas (266) são inclinadas de modo a produzir em funcionamento um efeito de aspiração do fluxo de ar.

11. Rotor de acordo com a reivindicação 8 ou 9, caracterizado pelo fato de que a extremidade da parede de guia (154), oposta ao rebordo radial (162), é aplicada sobre a parede de revolução (134) e impede que o ar que sai das passagens transpassantes (148) escoe ao longo do outro disco (118).

12. Rotor de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, caracterizado pelo fato de que a parede de guia (154) é feita de material metálico leve ou de material compósito.

13. Turbomáquina, tal como um turborreator ou um turbopropulsor de avião, caracterizada pelo fato de que compreende um rotor de compressor como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 12.

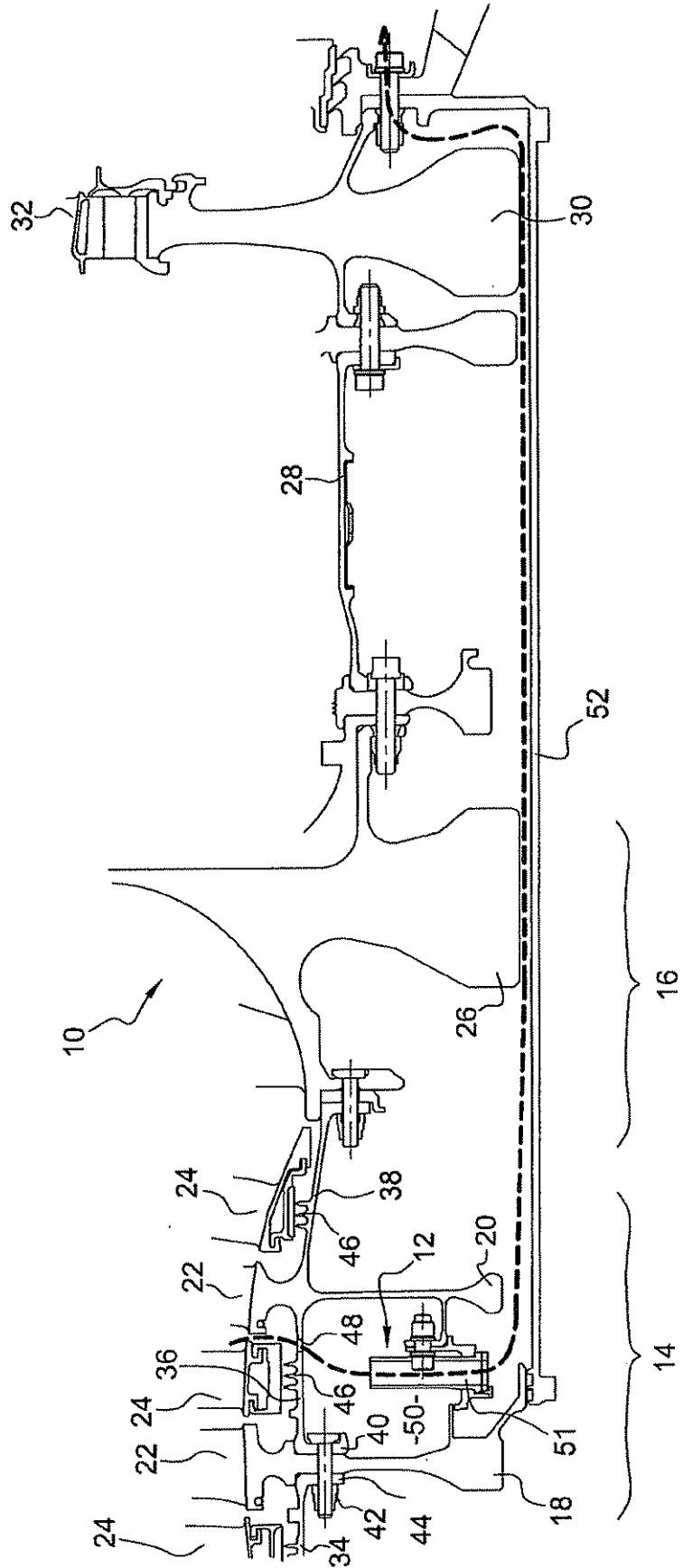


Fig. 1

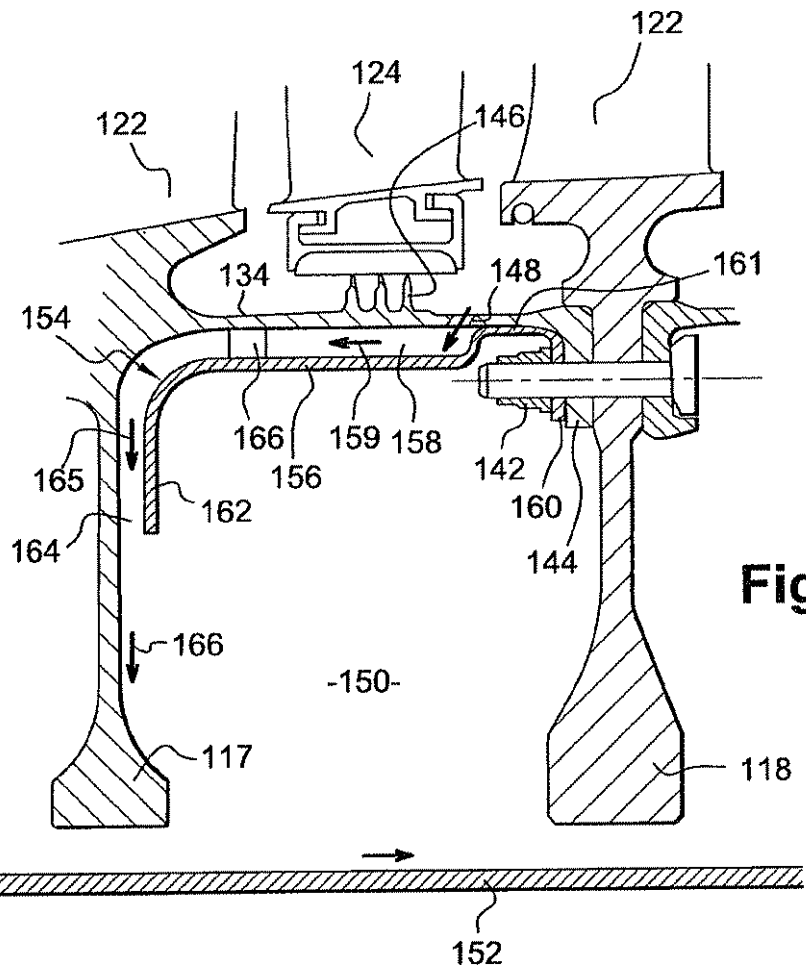


Fig. 2

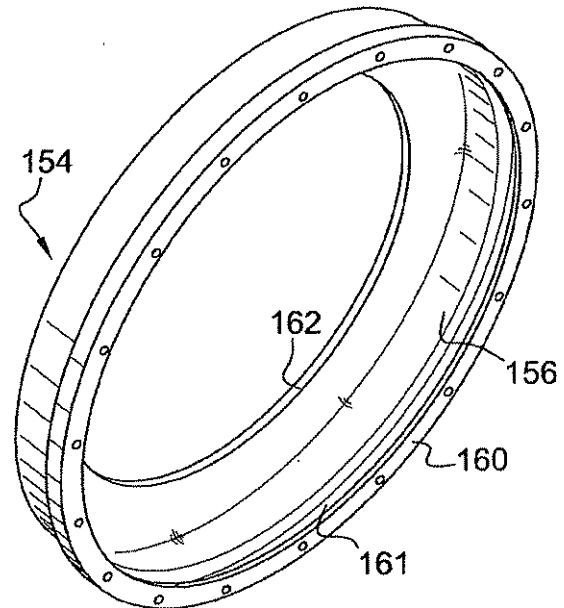


Fig. 3

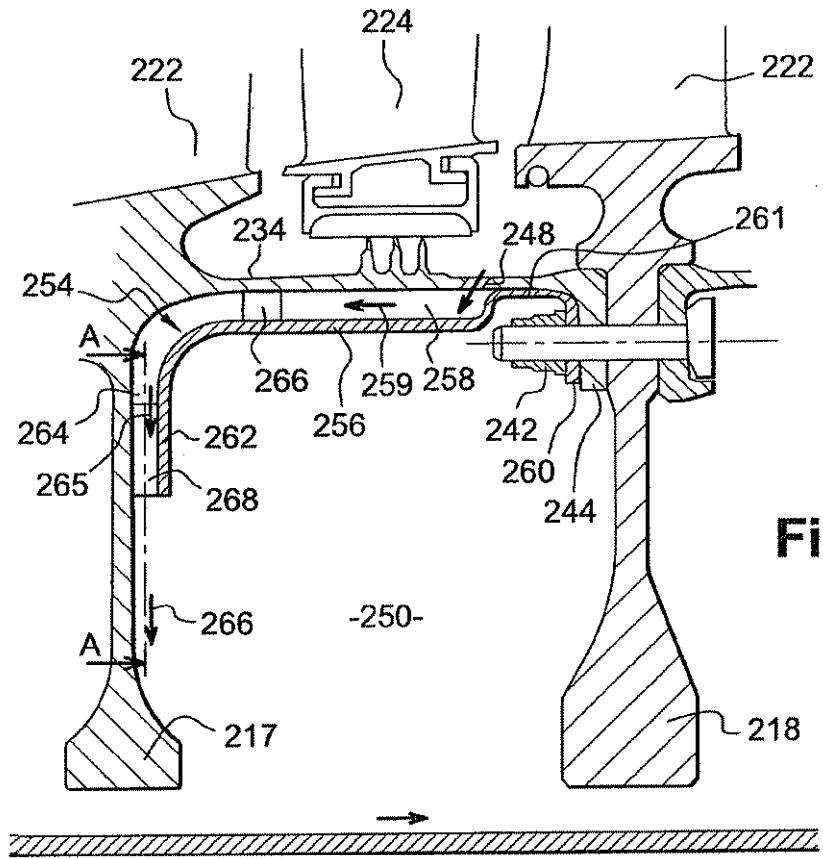


Fig. 4

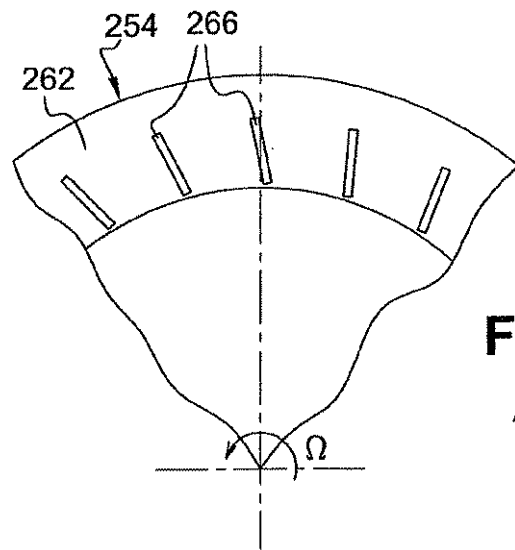


Fig. 5

A-A