



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

(11) PI 0912036-0 B1



(22) Data do Depósito: 27/03/2009

(45) Data de Concessão: 03/12/2019

(54) Título: ROTOR DE VENTONHA PARA UMA TURBOMÁQUINA, TURBOMÁQUINA, TAL COMO UM TURBORREATOR OU UM TURBOPROPULSOR DE AVIÃO E CALÇO DE PÉ DE PÁ PARA UM ROTOR DE VENTONHA

(51) Int.Cl.: F01D 5/30.

(30) Prioridade Unionista: 29/05/2008 FR 08/02925.

(73) Titular(es): SNECMA.

(72) Inventor(es): XAVIER LOUIS BARTHÉLÈMY MILLIER; RÉGIS EUGÈNE HENRI SERVANT; PHILIPPE VERSEUX.

(86) Pedido PCT: PCT FR2009000347 de 27/03/2009

(87) Publicação PCT: WO 2009/144401 de 03/12/2009

(85) Data do Início da Fase Nacional: 26/11/2010

(57) Resumo: ROTOR DE VENTONHA PARA UMA TURBOMÁQUINA, TURBOMÁQUINA, TAL COMO UM TURBORREATOR OU UM TURBOPROPULSOR DE AVIÃO E CALÇO DE PÉ DE PÁ PARA UM ROTOR DE VENTONHA Rotor de ventoinha (10) para uma turbomáquina, que compreende um disco (14) que leva pás (12) das quais os pés (18) são introduzidos em ranhuras axiais (20) do disco, um calço (22) sendo interposto entre o fundo de cada ranhura e o pé de pá correspondente e compreendendo em sua extremidade a montante um spoiler (24) de retenção do pé de pá, esse spoiler compreendendo uma face a jusante de batente sobre a qual se apóia a extremidade a montante do pé de pá em caso de esforço violento, essa face de batente sendo oblíqua em relação ao eixo (A) de rotação do rotor.

“ROTOR DE VENTONHA PARA UMA TURBOMÁQUINA, TURBOMÁQUINA, TAL COMO UM TURBORREATOR OU UM TURBOPROPULSOR DE AVIÃO E CALÇO DE PÉ DE PÁ PARA UM ROTOR DE VENTONHA”

[0001] O presente pedido se refere a um rotor de ventoinha para uma turbomáquina tal como um turborreator ou um turbopropulsor de avião.

[0002] Uma ventoinha de turbomáquina compreende um disco que leva em sua periferia externa pás das quais os pés são introduzidos em ranhuras substancialmente axiais da periferia externa do disco. As pás são mantidas radialmente sobre o disco por operação conjunta de formas de seus pés com as ranhuras do disco, os pés de pá sendo por exemplo do tipo cauda de andorinha.

[0003] Um calço é interposto entre o pé de cada pá e o fundo da ranhura correspondente do disco para imobilizar radialmente a pá na ranhura e compreende em sua extremidade a montante um spoiler que se estende radialmente para o exterior e que apresenta uma face radial a jusante que forma um apoio axial de uma face radial a montante do pé de pá para reter a pá axialmente na direção de a montante. Os calços asseguram uma mesma posição axial das pás sobre o disco para evitar a criação de um desequilíbrio e são suscetíveis de se apoiarem axialmente sobre um flange anular fixado na extremidade a montante do disco.

[0004] No caso felizmente pouco frequente da perda ou da ruptura de uma pá de ventoinha, essa pá é projetada sobre uma pá adjacente que é então submetida a um esforço axial na direção de a montante muito violento, esse esforço sendo transmitido ao flange a montante pelo calço correspondente. Esse calço vem se apoiar axialmente sobre o flange que é projetado para se deformar elasticamente a fim de amortecer uma parte desse esforço e assim evitar a perda das outras pás de ventoinha. Meios de retenção axial das pás na direção de a montante são por outro lado montados no disco, a jusante das pás, para retomar uma parte desse esforço axial quando a deformação do flange atinge um certo limite.

[0005] Na técnica atual, o spoiler de cada calço é projetado para transmitir qualquer esforço axial precitado ao flange a montante e é submetido a forças de cisalhamento grandes na direção axial durante a transmissão desse esforço. É

portanto necessário superdimensionar o spoiler na direção axial para que ele possa resistir a essas forças, o que se traduz por um volume axial grande de cada spoiler, e um aumento da massa do rotor da ventoinha.

[0006] Para compensar o superdimensionamento na direção axial do spoiler de um calço, é possível encurtar na mesma proporção a extremidade a montante do pé de pá correspondente. No entanto, essa solução não é satisfatória pois nesse caso o pé de pá tem uma dimensão axial mais curta do que aquela da ranhura do disco e vem exercer forças de contato grandes nas paredes laterais da ranhura que podem acarretar um desgaste prematuro dessas últimas.

[0007] A invenção tem notadamente como objetivo trazer uma solução simples, eficaz e econômica para o problema precitado da técnica anterior, graças a meios de retenção axial das pás de ventoinha que são mais eficazes, menos volumosas e mais leves do que aqueles da técnica anterior.

[0008] Ela propõe para isso um rotor de ventoinha para uma turbomáquina, que compreende um disco que leva pás das quais os pés são introduzidos em ranhuras substancialmente axiais da periferia externa do disco, e calços que são cada um deles interposto entre o fundo de uma ranhura do disco e um pé de pá correspondente, a extremidade a montante de cada calço sendo destinada a se aplicar sobre um flange de retenção solidário do disco e compreendendo um spoiler que se estende radialmente para o exterior e que é destinado a reter a extremidade a montante do pé de pá, caracterizado pelo fato de que o spoiler de cada calço compreende uma face a jusante de batente sobre a qual se apóia a extremidade a montante do pé de pá em caso de esforço violento, essa face a jusante de batente sendo oblíqua em relação ao eixo de rotação do rotor.

[0009] Em caso de perda ou de ruptura de uma pá de ventoinha, a pá adjacente à pá perdida ou quebrada é empurrada violentamente para a montante e vem se apoiar pela extremidade a montante de seu pé sobre o spoiler do calço que é deslocado para a montante até vir em batente sobre o flange. Para continuar a avançar, a pá deveria subir sobre o spoiler do calço deslizando para isso sobre a face oblíqua desse último. No entanto, a pá já está apoiada por seu pé sobre as paredes da ranhura do disco e

ela não pode se deslocar radialmente para o exterior. A face oblíqua do spoiler do calço cria assim um efeito de cunha, o que vai carregar o apoio já existente entre o pé de pá e as paredes da ranhura do disco. Esse carregamento suplementar permite absorver, por atrito entre o pé de pá e as paredes da ranhura do disco, uma parte do esforço axial exercido sobre a pá. O resto do esforço axial é transmitido pelo calço e pelo flange a montante ao disco de rotor.

[0010] A invenção permite portanto reduzir as forças de cisalhamento aplicadas sobre o spoiler do calço em caso de perda de uma pá de ventoinha. Isso permite reduzir a dimensão axial e portanto o volume do spoiler de cada calço, o que se traduz por uma diminuição de peso dos calços e do conjunto do rotor da ventoinha. Em um caso especial, foi por exemplo constatado um ganho de massa de 600-770 g em um módulo de ventoinha completo, ou seja um pouco menos de 1 % da massa desse módulo.

[0011] Como na técnica anterior, o calço sobre o qual a pá submetida ao esforço axial precitado empurra vem se apoiar sobre o flange que se deforma para amortecer esse esforço axial. O fato de diminuir o esforço axial exercido sobre o calço e portanto sobre o flange permite que o flange amortença a quase totalidade desse esforço, e considerar a supressão dos meios de retenção axial das pás montados no disco, a jusante das pás.

[0012] A face a jusante de batente do spoiler pode formar um ângulo α compreendido entre 10 e 80°, e por exemplo entre cerca de 20 e 70°, com o eixo do rotor. Em um caso especial, foi constatado que o esforço axial transmitido ao spoiler do calço representa somente 75 % da carga inicial quando α é igual a 60°, e 50 % dessa carga quando α é igual a 45°.

[0013] De acordo com uma outra característica da invenção, a face a jusante de batente do spoiler está situada em frente a uma face a montante do pé de pá que se estende também de maneira oblíqua em relação ao eixo de rotação do rotor e que é substancialmente paralela à face a jusante oblíqua do spoiler. A face oblíqua do pé de pá é destinada a se aplicar sobre a face oblíqua do spoiler do calço.

[0014] No estado sem tensão, as faces oblíquas em frente ao spoiler e ao pé de

pá são vantajosamente inclinadas uma em relação à outra de um ângulo inferior a 10° , e por exemplo compreendido entre cerca de 2° e 5° , esse ângulo tendo tendência a se anular por deformação elástica do spoiler em caso de esforço violento sobre a pá. Nesse estado, as faces oblíquas em frente ao spoiler e ao pé de pá são além disso preferencialmente espaçadas uma da outra. Em funcionamento normal da ventoinha, as faces oblíquas do pé de pá e do calço são assim separadas por uma pequena folga. Por ocasião da perda ou da ruptura de uma pá de ventoinha, essa folga é destinada a desaparecer e as faces oblíquas precitadas são destinadas a virem em apoio uma sobre a outra. Por ocasião do apoio do pé de pá sobre o spoiler do calço, esse spoiler é destinado a se deformar de modo a que sua face oblíqua se torne paralela à face oblíqua correspondente do pé de pá, que se aplica então sobre toda a superfície da face oblíqua do spoiler.

[0015] O spoiler compreende em sua extremidade radialmente externa uma face radial a jusante de posicionamento axial da extremidade a montante do pé de pá no estado sem tensão. Em funcionamento normal, o pé de pá está portanto em apoio axial sobre a extremidade radialmente externa do spoiler e as faces oblíquas do spoiler e do pé de pá são mantidas espaçadas uma da outra por esse apoio. Por ocasião da perda de uma pá, o pé de pá exerce um impulso axial sobre a extremidade do spoiler que se deforma até que as faces oblíquas confrontantes do spoiler e do pé de pá venham se apoiar uma sobre a outra.

[0016] A face radial a jusante do spoiler é de preferência ligada à face oblíqua desse spoiler por uma canelura transversal destinada a facilitar uma deformação elástica do spoiler por ocasião da ruptura ou da perda de uma pá, a canelura pode ter em seção uma forma arredondada côncava. Essa canelura transversal pode por outro lado formar uma zona de fraqueza do spoiler destinada a fragilizar a parte radialmente externa do spoiler que pode nesse caso se separar do resto do spoiler quando o esforço axial transmitido pela pá atinge um certo limite.

[0017] A face oblíqua do spoiler e/ou a face oblíqua do pé de pá podem ser lisas. Em variante, ranhuras ou dentados são formados na face oblíqua do spoiler e/ou na face oblíqua do pé de pá e são destinados a absorver uma energia suplementar por

atrito e por esmagamento quando essas faces oblíquas vêm se apoiar uma contra a outra.

[0018] A invenção se refere também a uma turbomáquina, tal como um turborreator ou um turbopropulsor de avião, caracterizada pelo fato de que ela compreende um rotor de ventoinha tal como descrito acima.

[0019] A invenção se refere finalmente a um calço de pé de pá para um rotor de ventoinha do tipo precitado, caracterizado pelo fato de que ele compreende em uma extremidade um spoiler que compreende duas faces de apoio do pé de pá, formadas por uma primeira face radial de posicionamento do pé de pá e por uma segunda face oblíqua de retenção do pé de pá. Essas duas faces são ligadas entre si por uma canelura transversal que tem em seção uma forma arredondada côncava.

[0020] A invenção será melhor compreendida e outros detalhes, características e vantagens da presente invenção aparecerão mais claramente com a leitura da descrição que se segue 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 um rotor de ventoinha de uma turbomáquina de acordo com a técnica anterior,
- a figura 2 é uma meia vista esquemática parcial em corte axial de um rotor de ventoinha de uma turbomáquina de acordo com a presente invenção,
- a figura 3 é uma vista em escala ampliada de uma parte da figura 2.

[0021] É feito primeiro referência à figura 1 que representa um rotor de ventoinha 10 de uma turbomáquina de acordo com a técnica anterior à presente invenção.

[0022] O rotor de ventinha 10 compreende pás 12 levadas por um disco 14 e entre as quais são intercaladas plataformas interpás 16, o disco 14 sendo fixado na extremidade a montante de uma árvore não representada da turbomáquina.

[0023] Cada pá de ventoinha 12 compreende uma pá conectada em sua extremidade radialmente interna a um pé 18 que é introduzido em uma ranhura 20 substancialmente axial de forma complementar do disco 14 que permite reter radialmente essa pá sobre o disco.

[0024] As plataformas interpás 16 formam uma parede que delimita interiormente

a corrente do fluxo de ar 21 que entra na turbomáquina, e compreendem meios que operam junto com meios correspondentes previstos no disco 14, entre as ranhuras 20, para fixar as plataformas no disco.

[0025] Um calço 22 é interposto entre o pé 18 de cada pá e o fundo da ranhura 20 correspondente do disco para imobilizar radialmente a pá na ranhura. Cada calço 22 é formado por uma barra alongada que leva em sua extremidade a montante um spoiler 24 que se estende radialmente para o exterior.

[0026] O spoiler 24 compreende uma face radial a jusante 26 que está, na posição de montagem representada na figura 1, em apoio axial sobre uma face radial da extremidade a montante do pé de pá 18 para reter a pá axialmente na direção de a montante no disco 14 e para definir uma posição axial precisa dessa pá sobre o disco.

[0027] Um flange anula 28 é fixado coaxialmente na extremidade a montante do disco 14, a periferia externa desse flange 28 se estendendo a montante dos spoilers dos calços 22, a uma pequena distância desses últimos. O flange 28 é retido no disco 14 por dentes de grampo 29 que se engancham em dentes de grampo 31 do disco, o flange 28 compreendendo além disso em sua periferia interna um flange anular 30 que é intercalado entre um flange anular a montante 32 do disco 14 e um flange anular interno 34 de um capô 36 disposto a montante do disco 14 e das pás 10. Os flanges 30, 32 e 34 compreendem orifícios axiais de passagem de parafusos 37 ou análogos para o aperto dos flanges entre si.

[0028] O capô 36 tem uma forma substancialmente troncônica que se alarga para a jusante, a parede definida pelas plataformas interpás 16 se estendendo no prolongamento axial desse capô. Esse capô 36 compreende perfurações radiais 38 para a montagem de contrapesos de equilíbrio 40.

[0029] Por ocasião da perda de uma pá de ventoinha 12, essa pá é projetada sobre uma pá de ventoinha adjacente que é então submetida a um esforço axial para a montante muito violento, esse esforço sendo transmitido para o flange a montante 28 pelo calço 22 associado a essa pá. O pé 18 da pá submetida a esse esforço axial vem primeiro se apoiar axialmente sobre a face 26 do spoiler 24 do calço (flecha F), o spoiler 24 vindo por sua vez se apoiar axialmente sobre o flange 28 que se deforma

elasticamente a fim de amortecer uma parte do esforço axial precitado. Meios de retenção axial das pás 12 sobre o disco são por outro lado montados a jusante no disco.

[0030] Por ocasião da transmissão do esforço axial precitado, o spoiler 24 do calço é submetido a forças de cisalhamento grandes em um plano esquematicamente representado pelos traços em pontilhados 42. Para resistir a essas forças de cisalhamento, o spoiler 24 é superdimensionado na direção axial, o que acarreta inconvenientes em termos de volume e de massa.

[0031] A invenção permite corrigir esses inconvenientes graças a uma face oblíqua prevista no spoiler e na qual o pé de pá está destinado a se apoiar, essa face oblíqua criando um efeito de cunha que vai aumentar as forças de atrito e de apoio do pé de pá sobre as paredes laterais da ranhura do disco e assim absorver uma parte do choque que resulta da perda ou da ruptura de uma pá de ventoinha.

[0032] No modo de realização das figuras 2 e 3, o disco 14, o flange 28 e o capô 36 são idênticos àqueles da figura 1.

[0033] A pá 12' difere daquela da figura 1 pelo fato de que seu pé 18 compreende em sua extremidade a montante uma face 44' de apoio sobre o spoiler 24'1 do calço 22', essa face 44' se estendendo de maneira oblíqua em relação ao eixo A da ventoinha, como será visto mais em detalhe no que se segue. Essa face oblíqua 44' é formada na extremidade radialmente interna do pé de pá e liga a face radial a montante 46' desse pé a sua face longitudinal 48' radialmente interna.

[0034] A face radial a montante 46' do pé de pá 18' está, na posição de montagem e no estado sem tensão representado nos desenhos, apoiada axialmente sobre uma face radial a jusante 26' prevista em uma parte de extremidade radialmente externa do spoiler 24', e assegura um posicionamento axial preciso do pé de pá sobre o disco 14.

[0035] O spoiler 24' compreende por outro lado, radialmente no interior da face radial 46', uma face 50' situada em frente à face 44' do pé de pá e destinada a operar junto por apoio com essa face 44' em caso de perda ou de ruptura de uma pá de ventoinha 12'. Essa face 50' se estende de maneira oblíqua em relação ao eixo

longitudinal A da ventoinha e é substancialmente paralela à face oblíqua 44' do pé de pá.

[0036] O ângulo α formado entre a face oblíqua 50' do spoiler e o eixo da ventoinha está compreendido entre 10 e 80°, e de preferência entre 20 e 70°. Ele é de cerca de 40-50° no exemplo representado.

[0037] No estado sem tensão representado nos desenhos, as faces oblíquas 44'-50' do pé de pá e do spoiler formam entre si um ângulo β' inferior a 10°, e de preferência compreendido entre cerca de 2 e 5°. As faces 44', 50' divergem uma da outra na direção de a jusante.

[0038] Dentados ou ranhuras 52' ou irregularidades de superfície podem ser formados sobre a face oblíqua 50' do spoiler, como será explicado no que se segue.

[0039] A face oblíqua 50' do spoiler é ligada à face radial 26' desse spoiler por uma canelura transversal 54'. Essa canelura transversal tem em seção uma forma arredondada côncava no exemplo representado.

[0040] Essa canelura 54' facilita uma deformação elástica do spoiler 24' na direção de a montante por ocasião do apoio axial do pé de pá sobre a face radial 26' do spoiler, por flexão do spoiler ao nível da canelura 54'. A canelura 54' forma por outro lado meios de enfraquecimento e de fragilização do spoiler 24' de modo que a parte radialmente externa do spoiler possa se romper quando o esforço axial transmitido pelo calço atinge um certo limite. Os traços em pontilhados 56' representam esquematicamente o plano de ruptura da parte radialmente externa do spoiler 24'.

[0041] Quando a perda de uma pá de ventoinha intervém, a pá adjacente 12' é empurrada axialmente para a montante e aplica um esforço axial grande sobre a extremidade radialmente externa do spoiler 24' que se deforma elasticamente até um certo limite e permite que o pé de pá 18' venha se apoiar por sua face oblíqua 44' sobre a face oblíqua 50' do spoiler até que as duas faces oblíquas 44' e 50' estejam paralelas entre si e aplicadas uma sobre a outra em toda a extensão das mesmas. Uma parte do choque ao qual é submetida a pá 12 (flecha F) é absorvida pelo apoio e pelo atrito do pé de pá sobre as paredes laterais da ranhura 20 do disco (flecha f_r). O resto do esforço axial é transmitido pelo spoiler 24' do calço para o flange 28 que o

transmite por sua vez ao disco 14 pelos dentes de grampo 29 e 31, o spoiler 24' sendo submetido a forças de cisalhamento (flecha f_c) que são menores do que aquelas da figura 1. As ranhuras 52' ou irregularidades de superfície permitem absorver uma parte suplementar da energia do choque por atrito e esmagamento por ocasião do apoio da face oblíqua 44' do pé de pá sobre a face oblíqua 50' do calço.

[0042] A invenção permite tornar mais leves os spoilers 24' dos calços em relação à técnica anterior pois as forças de cisalhamento às quais eles são submetidos em caso de perda são muito menores do que na técnica anterior. Ela permite por outro lado suprimir os meios de retenção axial montados a jusante das pás e, portanto, reduzir de maneira significativa a massa da ventoinha.

REIVINDICAÇÕES

1. Rotor de ventoinha para uma turbomáquina, que compreende um disco (14) que leva pás (12') tendo pés (18') que são introduzidos em ranhuras (20) substancialmente axiais da periferia externa do disco, e calços (22'), cada um deles interposto entre o fundo de uma ranhura do disco e um pé de pá correspondente, a extremidade a montante de cada calço sendo destinada a se aplicar sobre um flange de retenção (28) solidário do disco e compreendendo um spoiler (24') que se estende radialmente para o exterior e que é destinado a reter a extremidade a montante do pé de pá, o spoiler de cada calço compreende uma face a jusante (50') de batente sobre a qual se apóia a extremidade a montante do pé de pá em caso de esforço violento, o rotor sendo caracterizado pelo fato de que essa face a jusante de batente é oblíqua em relação ao eixo (A) de rotação do rotor.

2. Rotor de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a face a jusante de batente (50') do spoiler (24') forma um ângulo (α) compreendido entre 10 e 80°, e, por exemplo, entre cerca de 20 e 70°, com relação ao eixo (A) do rotor.

3. Rotor de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a face a jusante de batente (50') do spoiler (24') está situada em frente a uma face a montante (44') do pé de pá (18') que se estende também de maneira oblíqua em relação ao eixo (A) de rotação do rotor e que é substancialmente paralela à face a jusante oblíqua do spoiler.

4. Rotor de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que, no estado sem tensão, as faces oblíquas (44', 50') em frente ao spoiler (24') e ao pé de pá (18') são inclinadas uma em relação à outra de um ângulo (β) inferior a 10°, e, por exemplo, compreendido entre cerca de 2 e 5°, esse ângulo tendo tendência a se anular por deformação elástica do spoiler em caso de esforço violento aplicado sobre a pá.

5. Rotor de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que o spoiler (24') compreende em sua extremidade radialmente externa uma face radial a jusante (26') de posicionamento axial da

extremidade a montante do pé de pá (18').

6. Rotor de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que, no estado sem tensão, as faces oblíquas (44', 50') em frente ao spoiler (24') e ao pé de pá (18') são mantidas espaçadas uma da outra pelo apoio do pé de pá sobre a face radial a jusante (26') do spoiler.

7. Rotor de acordo com a reivindicação 5 ou 6, caracterizado pelo fato de que a face radial a jusante (26') do spoiler (24') é ligada à face oblíqua (50') desse spoiler por uma ranhura transversal (54') destinada a facilitar uma deformação elástica da parte radialmente externa do spoiler em uma direção a montante.

8. Rotor de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que a canelura (54') tem uma seção de forma arredondada côncava.

9. Rotor de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que a face oblíqua (50') do spoiler (24') é lisa.

10. Rotor de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que ranhuras (52') ou dentados são formados na face oblíqua (50') do spoiler (24').

11. Turbomáquina, tal como um turborreator ou um turbopropulsor de avião, caracterizada pelo fato de que ela compreende um rotor de ventoinha (10) tal como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 10.

12. Calço de pé de pá para um rotor de ventoinha tal como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado pelo fato de que ele compreende em uma extremidade a montante um spoiler (24') que compreende duas faces a jusante de apoio do pé de pá, em que as faces são formadas por uma primeira face radial (26') de apoio e posicionamento do pé de pá e por uma segunda face oblíqua (50') de apoio e retenção do pé de pá.

13. Calço de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que as faces radial e oblíqua (26', 50') são ligadas entre si por uma canelura transversal (54') que tem uma seção de forma arredondada côncava.

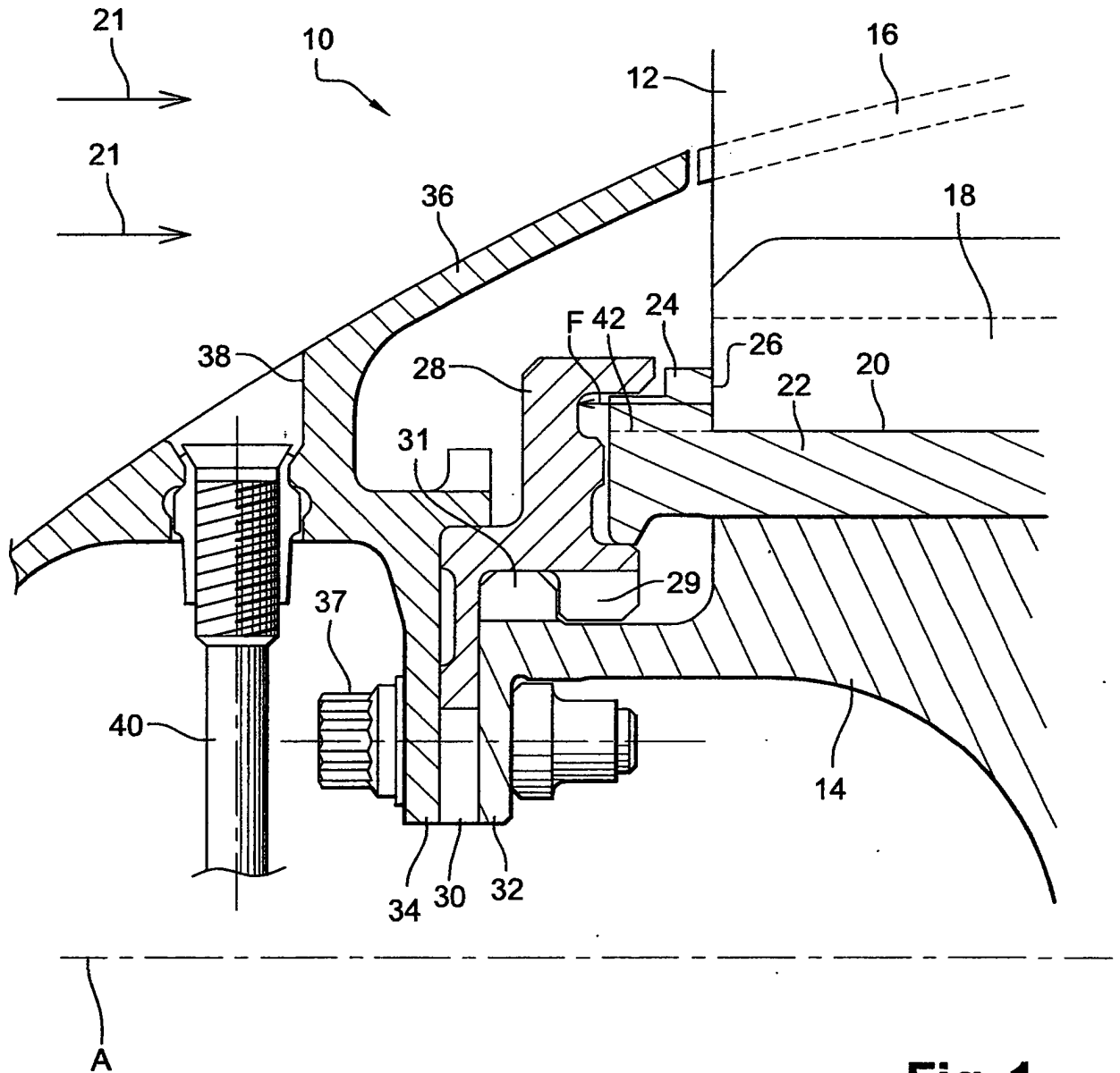


Fig. 1

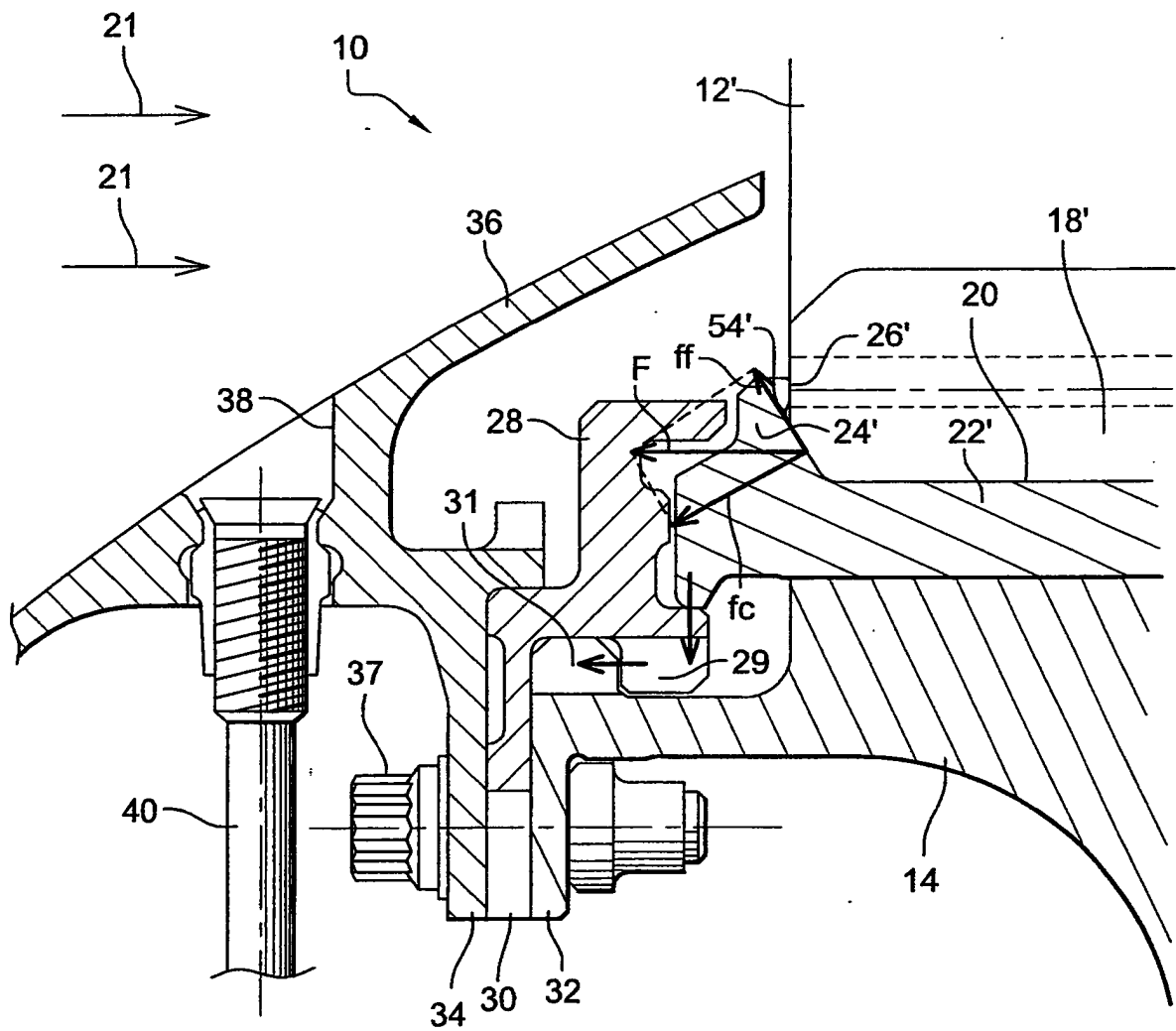


Fig. 2

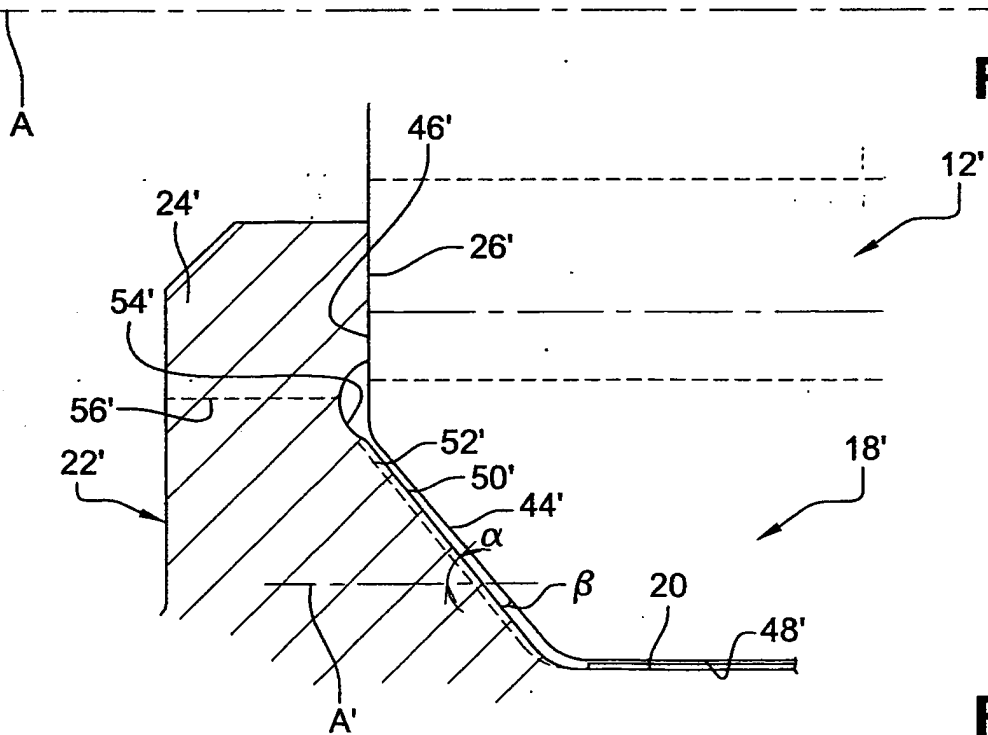


Fig. 3