



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

(11) BR 112016013715-9 B1



(22) Data do Depósito: 18/12/2014

(45) Data de Concessão: 07/12/2021

(54) Título: PARTE OU CONJUNTO DE PARTES DE UMA TURBOMÁQUINA E TURBOMÁQUINA

(51) Int.Cl.: F01D 5/14; F01D 11/00.

(30) Prioridade Unionista: 18/12/2013 FR 1362927.

(73) Titular(es): SNECMA.

(72) Inventor(es): VIANNEY CHRISTOPHE MARIE MANIERE; MATTHIEU JEAN LUC VOLLEBREGT; GAËTAN JEAN MARIE LOUPY; PAUL HENRI JOSEPH MAUCLAIR.

(86) Pedido PCT: PCT FR2014053437 de 18/12/2014

(87) Publicação PCT: WO 2015/092306 de 25/06/2015

(85) Data do Início da Fase Nacional: 14/06/2016

(57) Resumo: PARTE OU CONJUNTO DE PARTES DE UMA TURBOMÁQUINA E TURBOMÁQUINA A presente invenção se refere a um componente (1) ou conjunto de componentes de turbomáquina que compreende pelo menos uma primeira e uma segunda pás (3I, 3E) e uma plataforma (2) a partir da qual as pás (3I, 3E) se estendem, caracterizado pelo fato de que a plataforma (2), entre a face de pressão da primeira pá (3I) e a face de sucção da segunda pá (3E) tem uma superfície não axissimétrica (S) que define uma pluralidade de aletas (4) de seção substancialmente triangular que se estende a jusante de um bordo de ataque (BA) de cada uma das pás (3I, 3E), sendo que cada aleta (4) é associada a uma posição de ataque e a uma posição de fuga na superfície (S), posições entre as quais a aleta (4) se estende, de modo que: a posição de ataque fique situada entre 5% e 35% do comprimento em relação a uma corda da pá (3I, 3E) que se estende a partir de um bordo de ataque (BA) até um bordo de fuga (BF) da pá (3I, 3E); - quanto mais uma aleta (4) é separada da face de sucção da segunda pá (3E), mais a posição de ataque da dita (...).

“PARTE OU CONJUNTO DE PARTES DE UMA TURBOMÁQUINA E TURBOMÁQUINA”

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção refere-se a uma parte de turbomáquina que compreende pás e uma plataforma que tem uma superfície não axissimétrica.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] A necessidade de aprimorar constantemente o desempenho de equipamento, particularmente equipamento aeronáutico, por exemplo, os rotores de turbojatos (isto é, a montagem formada por um cubo ao qual são fixadas palhetas que se estendem radialmente, como mostrado na **Figura 1**), tem imposto, atualmente, o uso de ferramentas de modelagem por computador.

[003] Essas ferramentas ajudam a projetar partes através da otimização automática de algumas de suas características através da execução de um grande número de cálculos de simulação.

[004] A busca por uma aeromecânica geométrica e/ou acústica ótima em rotores ou estatores leva, atualmente, a obter cubos que têm uma parede não axissimétrica localmente (isto é, uma seção em um plano perpendicular ao eixo geométrico de rotação não é circular) no veio, isto é, o conjunto de canais para o fluxo de fluido entre as palhetas (em outras palavras, as seções interpalhetas), o que reflete as condições particulares predominantes ali. O veio não axissimétrico define uma superfície, em geral, anular de um espaço tridimensional (uma “fatia” do cubo).

[005] É observado, no entanto, que essas geometrias ainda podem ser aprimoradas, em particular nos estágios de compressor da turbomáquina. Na verdade, as conexões pá/parede continuam sendo o local de fluxos secundários (e, portanto, de perdas consideráveis nos estágios do

compressor), devido à proximidade da parede na qual um camada de limite considerável se desenvolve a montante do compressor, e o gradiente de pressão estabelecido a partir do extradorso de uma pá até o intradorso da pá adjacente.

[006] A combinação desses elementos gera uma ressurgência de fluido com baixa energia no extradorso de cada pá, e é manifestada na direção do vento por vórtices consideráveis, os quais são a fonte de perdas. Também é observada deflexão excessiva próxima à parede e deflexão reduzida acima.

[007] Seria desejável ter disponível uma nova geometria que tornasse possível corrigir esses problemas de modo a melhorar o desempenho em termos de eficiência do equipamento, mas sem degradar a operabilidade ou resistência mecânica.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[008] A presente invenção, então, propõe uma parte ou conjunto de partes de uma turbomáquina que compreende pelo menos primeira e segunda pás, e uma plataforma a partir da qual as pás se estendem,

caracterizado pelo fato de que a plataforma tem, entre o intradorso da primeira pá e o extradorso da segunda pá, uma superfície não axissimétrica que define uma pluralidade de aletas com uma seção substancialmente triangular que se estende a jusante de um bordo de ataque de cada uma das pás, sendo que cada aleta é associada a uma posição de ataque e a uma posição de fuga na superfície entre as quais as aletas se estendem, de modo que:

- a posição de ataque fique localizada entre 5% e 35% do comprimento relativo de uma corda de uma pá que se estende a partir de um bordo de ataque até um bordo de fuga da pá;

- quanto mais uma aleta é separada do extradorso da segunda pá, mais a posição de ataque da dita aleta é separada axialmente do bordo de

ataque das pás.

[009] A(s) aleta(s) dessa geometria não axissimétrica particular da superfície da parte impede(m) separação aerodinâmica.

[010] A operabilidade dos estágios do compressor e a eficiência são aprimoradas como resultado.

[011] De acordo com outros recursos vantajosos e não limitantes:

- cada aleta tem uma largura compreendida entre 5% e 20% da distância entre o intradorso da primeira pá e o extradorso da segunda pá;
- cada aleta tem uma razão entre altura e largura compreendida entre 0,3 e 1,3;
- cada aleta tem uma altura compreendida entre 1 mm e 25 mm;
- cada aleta tem uma altura que aumenta ao longo da aleta a partir da posição de ataque até a posição de fuga;
- cada aleta tem um curso que corresponde à linha de arqueamento mediana da primeira e da segunda pás;
- a posição de fuga associada a cada aleta fica localizada entre 50% e 105% do comprimento relativo da dita corda da pá;
- as posições de ataque e de fuga associadas a cada aleta são, cada uma, localizadas a uma distância a partir do extradorso da segunda pá compreendida entre 10% e 55% da distância entre o intradorso da primeira pá e o extradorso da segunda pá;
- a superfície define duas ou três aletas lado a lado;
- a plataforma compreende uma primeira porção de plataforma a partir da qual a primeira pá se estende e uma segunda porção de plataforma a partir da qual a segunda pá se estende, sendo que uma conexão entre as ditas primeira e segunda porções de plataforma forma a aleta;
- a superfície é limitada por um primeiro e um segundo planos de extremidade, em que a superfície é definida por pelo menos uma curva de

construção classe C^1 , sendo que cada uma representa o valor de um raio da dita superfície como uma função de uma posição entre o intradorso da primeira pá e o extradorso da segunda pá ao longo de um plano substancialmente paralelo aos planos de extremidade posicionados entre a posição de ataque e a posição de fuga de cada aleta;

- cada curva de construção foi modelada implantando-se, através de meios de processamento de dados, as etapas de:

(a) parametrização da curva de construção como uma curva classe C^1 que representa o valor do raio da dita superfície como uma função de uma posição entre o intradorso da primeira pá e o extradorso da segunda pá, sendo que a curva é definida por:

- dois pontos de controle de extremidade, respectivamente em cada uma das duas pás entre as quais a dita superfície se estende;

- pelo menos um ponto de controle intermediário localizado entre os pontos de controle de extremidade;

- pelo menos uma curva paramétrica;

sendo que a parametrização é implantada de acordo com um ou mais parâmetros que definem pelo menos um dos pontos de controle;

(b) determinação de valores otimizados dos ditos parâmetros da dita curva.

- a plataforma tem um formato anular ao longo do qual é posicionada, regularmente, uma pluralidade de pás;

- a plataforma tem a mesma superfície não axissimétrica entre cada par consecutivo de pás;

- a parte é um disco de pás ou um estágio de estator de compressor.

[012] De acordo com um segundo aspecto, a invenção se refere a uma turbomáquina que compreende uma parte de acordo com o primeiro

aspecto.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[013] Outros recursos e vantagens da presente invenção serão revelados pela leitura da descrição a seguir de uma realização preferencial. Essa descrição será dada em relação aos desenhos anexos, em que:

- a Figura 1, descrita previamente, mostra um exemplo de uma turbomáquina;
- a Figura 2 mostra uma realização preferencial de uma parte de acordo com a invenção;
- a Figura 3 mostra esquematicamente a geometria de uma aleta de uma parte de acordo com a invenção;
- a Figura 4 mostra esquematicamente uma estrutura para obter uma aleta de peça única de acordo com a invenção; e
- as Figuras 5a a 5c mostram resultados de observação das linhas de fluxo e atrito para três geometrias.

DESCRIÇÃO DE REALIZAÇÕES INVENÇÃO

[014] Em referência à **Figura 2**, a presente parte 1 (ou conjunto de partes se a mesma não for uma peça única) de uma turbomáquina tem pelo menos duas pás consecutivas 3E, 3I e uma plataforma 2 a partir da qual as pás 3E, 3I se estendem. O termo plataforma é interpretado amplamente aqui e, em geral, designa qualquer elemento de uma turbomáquina na qual haja probabilidade de as pás 3E, 3I serem montadas (estendendo-se radialmente) e que tenham uma parede interna/externa contra as quais o ar circula.

[015] Em particular, a plataforma 2 pode ser em uma peça única (e, desse modo, apoiar todas as pás da parte 1), ou formada a partir de uma pluralidade de membros elementares em que cada um apoia uma pá única 3E, 3I (uma “raiz” da pá) de modo a constituir uma palheta do tipo mostrado na Figura 2. Em particular, a plataforma 2 pode compreender uma porção de

plataforma 2I, 2E para cada uma das pás 3E, 3I em uma realização vantajosa que será descrita abaixo.

[016] Além disso, a plataforma 2 pode delimitar uma parede radialmente interna da parte 1 (o gás passa em volta da mesma) definindo-se um cubo, e/ou uma parede radialmente externa da parte 1 (o gás passa dentro da mesma, as pás 3I, 3E se estendem em direção ao centro) para, então, definir um revestimento da parte 1. Deve ser observado que a mesma parte 1 pode, simultaneamente, compreender esses dois tipos de plataforma 2. Será compreendido que, como explicado, a parte 1 pode ser de vários tipos, particularmente, um estágio de rotor (disco de lâminas (“disco de pás”) ou impulsor, dependendo do caráter integral ou não da montagem) ou um estágio de estator (palhetas VSV fixas ou móveis (“Palheta de Estator Variável”)), em particular na admissão de fluxo secundário (OGV, “Palheta Guia de Saída”), consultar Figura 1 já apresentada.

[017] No restante da presente descrição, o exemplo de um estágio de OGV será usado a título de exemplo, mas as pessoas versadas na técnica saberão como transpor o mesmo para outros tipos de partes 1 (por exemplo, para um “ventilador”, em outras palavras um soprador, ou para um estágio de compressor de baixa pressão).

SUPERFÍCIE DA PLATAFORMA

[018] A presente parte 1 é distinguida por uma geometria particular (não axissimétrica) de uma superfície S de uma plataforma 2 da parte 1, uma modelagem vantajosa da qual é observada na Figura 2.

[019] A superfície S se estende entre as duas pás 3E, 3I (das quais apenas uma é visível na Figura 2 para permitir melhor observação da superfície S. O curso da pá faltante é observado, no entanto, em cada caso), as quais limitam a mesma lateralmente.

[020] A superfície S é, na verdade, uma porção de uma

superfície maior que define um formato substancialmente toroidal em volta da parte 1, Assumindo-se (porém, sem limitações) uma periodicidade na circunferência da parte 1 (isto é, se as pás 3E, 3I forem idênticas e distribuídas uniformemente), a parede consiste em uma pluralidade de superfícies idênticas duplicadas entre cada par de pás 3E, 3I.

[021] As superfícies S' também visíveis na Figura 2 são, portanto, uma duplicação da superfície S .

[022] Também é visível nesta Figura uma linha que divide cada uma das superfícies S e S' em duas metades. Essa estrutura corresponde a uma realização em que a plataforma 2 consiste em uma pluralidade de membros elementares, em que cada um é uma raiz que apoia uma pá 3E, 3I com a qual o mesmo forma uma palheta. Cada uma dessas raízes de pá (chamadas “porções de plataforma” no restante da presente descrição), portanto, se estende em cada lado da pá 3E, 3I, em consequência do fato de que a superfície S compreende superfícies justapostas associadas a duas raízes de pá distintas. A parte 1 é, portanto, um conjunto de pelo menos duas palhetas justapostas (uma montagem pá/raiz de pá). Essas são consideradas plataformas “integradas” ao contrário de plataformas “aplicadas”, independentes, em outras palavras, das pás (a superfície S pode, então, consistir em um elemento único). Será compreendido que a presente invenção não é limitada a qualquer estrutura particular da plataforma 2.

[023] A superfície S é limitada, a montante, por um primeiro plano de extremidade, o “plano de separação” PS e, a jusante, por um segundo plano de extremidade, o “plano de conexão” PR, cada um dos quais define um contorno axissimétrico contínuo com uma derivada contínua (a curva que corresponde à interseção de cada um dos planos PR e PS, e a superfície da parte 1 é, em geral, fechada e forma um círculo). A superfície S tem um formato substancialmente de paralelogramo e se estende continuamente entre

os dois planos de extremidade PS, PR e as duas pás 3E, 3I de um par de pás consecutivas. Uma das pás desse par de pás é a primeira pá 3I, ou pá de intradorso. A mesma apresenta, na verdade, seu intradorso à superfície S. A outro pá é a segunda pá 3E, ou pá de extradorso. A mesma apresenta, na verdade, seu intradorso à superfície S. Cada “segunda pá” 3E é a “primeira pá” 3I de uma superfície adjacente tal como a superfície S' na Figura 2 (devido ao fato de que cada pá 3E, 3I tem um intradorso e um extradorso).

[024] A superfície S é vantajosamente definida por curvas de construção PC, também chamadas “planos de construção”. Cada curva de construção PC é uma curva classe C^1 que representa o valor de um raio da dita superfície S como uma função de uma posição entre o intradorso da primeira pá 3I e o extradorso da segunda pá 3E ao longo de um plano substancialmente paralelo aos planos de extremidade PS, PR.

[025] O que se entende por raio é a distância entre um ponto na superfície e o eixo geométrico da parte 1. Uma superfície axissimétrica, portanto, tem um raio constante.

[026] Uma curva de construção PC é tipicamente uma curva paramétrica, isto é, uma curva polinomial paramétrica, dentre as quais podem, preferencialmente, ser mencionadas as curvas de Bézier.

ALETA

[027] A superfície não axissimétrica S da presente parte é notável pelo fato de que a mesma define pelo menos uma pluralidade de aletas 4 com uma seção substancialmente triangular que se estende a jusante de um bordo de ataque (BA) de cada uma das pás 3I, 3E. Preferencialmente, há duas ou três aletas 4 na corrente (a Figura 2 mostra uma solução com duas aletas 4, as diferentes possibilidades serão descritas abaixo).

[028] O fato de ter aletas disponíveis entre as duas pás de uma parte é conhecido (consultar, por exemplo, os Pedidos de Patente EP1927723,

JP6022002, US4023350). Porém as aletas conhecidas são, em geral, “tiras” planas. Na verdade, essas aletas conhecidas (as quais são, em geral, inúmeras) têm apenas o papel de atuar como uma barreira para o fluxo incidente, e para gerar vórtices.

[029] As presentes aletas 4 são destinadas a melhorar a deflexão do fluxo incidente, e a evitar a ressurgência de fluido ao longo do extradorso. Dessa maneira, as aletas 4 melhoram a eficiência e a operabilidade de um estágio compressor, e preparam um fluido limpo/mais homogêneo para os estágios seguintes.

[030] Em particular, um aumento em vorticidade aparece nos bordos de ataque das presentes aletas 4, mas, adicionalmente a jusante, a redução no vórtice de cruzamento prevalece e a intensidade do vórtice diminui em até 6%. A adição de pelo menos uma aleta 4, portanto, reduz a separação no bordo de fuga. Essa é a consequência direta do efeito de guia das aletas sobre o fluxo na camada de limite. Menos energia atinge o extradorso da segunda pá 3E, desse modo, as linhas de corrente podem surgir apenas com maior dificuldade. A altura da separação pode ser reduzida pela metade (consultar abaixo para a comparação de diferentes realizações).

[031] Em todos os casos, as aletas 4 têm uma seção transversal substancialmente triangular, o que significa que as mesmas têm duas faces oblíquas unidas por uma crista dorsal, em um ângulo ou por uma conexão tangencial. As duas faces são, elas mesmas, fixadas à corrente (restante da superfície S) em um ângulo ou por uma conexão tangencial. Cada aleta 4 pode, adicionalmente, ter extremidades chanfradas como pode ser visto na Figura 2.

[032] Preferencialmente, cada aleta 4 tem um curso (isto é, uma trajetória) que corresponde à linha de arqueamento mediana da primeira e segunda pás 3I, 3E. Mais frequentemente, todas as pás têm o mesmo

arqueamento, que é o motivo pelo qual as aletas 4 e as pás 3I, 3E têm uma curvatura similar, mas será compreendido que a invenção não é limitada a esse caso.

[033] Isso aparece, em particular, na **Figura 3** (os arqueamentos das pás 3I, 3E e o curso da aleta 4 são linhas médias mostradas para cada um dos elementos), que mostra esquematicamente uma aleta isolada 4.

[034] Deve ser observado que as aletas 4 oferecem outra vantagem: as mesmas podem ser usadas como um trocador de calor para facilitar o resfriamento da parte 1,

DIMENSÕES E POSIÇÃO

[035] As aletas 4, vantajosamente, têm uma largura compreendida entre 5% e 20% (preferencialmente entre 10% e 15%) da distância entre o intradorso da primeira pá 3I e o extradorso da segunda pá 3E. A largura considerada aqui é a largura máxima da raiz da aleta 4 (que é substancialmente constante, excluindo os chanfros de ataque e de fuga). Essa largura e a distância entre o intradorso da primeira pá 3I e o extradorso da segunda pá 3E são mais bem entendidas ao longo dos planos paralelos aos planos de extremidade PS, PR (em outras palavras ao longo das curvas de construção mencionadas previamente), os quais são visíveis na Figura 2, e mostrados verticalmente na Figura 3.

[036] Preferencialmente, cada aleta 4 tem uma razão entre altura e largura compreendida entre 0,3 e 1,3, o que em dimensões convencionais para estágios do compressor dá uma altura compreendida entre 1 mm e 25 mm.

[037] Cada aleta 4, em particular, é definida por dois pontos de extremidade: uma posição de ataque e uma posição de fuga na superfície S, entre as quais a aleta 4 se estende (em particular, seguindo o arqueamento das pás 3I, 3E).

[038] A posição de ataque é definida nos símbolos de referência da Figura 3 pelas coordenadas X_{BA} e Y_{BA} , e a posição de fuga pelas coordenadas X_{BF} e Y_{BF} . Essas coordenadas são, respectivamente, uma coordenada axial e uma coordenada de azimute da posição.

[039] A primeira coordenada X designa uma posição (axial) ao longo de uma corda de pá 3I, 3E que se estende a partir de um bordo de ataque BA até um bordo de fuga BF da pá 3I, 3E, expressa em comprimento relativo (em outras palavras, $X=0$ corresponde a um alinhamento sobre os bordos de ataque BA e $X=1$ corresponde a um alinhamento aos bordos de fuga BF das pás 3I, 3E).

[040] E, preferencialmente, essas posições são tais que:

- a posição de ataque (axial) fica localizada entre 5% e 35% (preferencialmente entre 15% e 25%) do comprimento relativo da corda da pá 3I, 3E (isto é. $X_{BA} \in [0.05, 0.35]$), e

- a posição de fuga (axial) localizada entre 50% e 105% (preferencialmente entre 70% e 85%) do comprimento relativo da corda da pá 3I, 3E (isto é. $X_{BF} \in [0.5, 1.05]$).

[041] Será observado que a aleta 4 não é necessariamente compreendida entre o bordo de ataque BA e o bordo de fuga BF das pás 3I, 3E e pode se estender axialmente a jusante do bordo de fuga BF.

[042] A segunda coordenada Y designa uma posição (azimute) ao longo de uma largura do canal que se estende a partir do extradorso da segunda pá 3E até o intradorso da primeira pá 3I, expressa em comprimento relativo (em outras palavras, $Y=0$ corresponde a um ponto contra o extradorso da segunda pá 3E e $Y=1$ corresponde a um ponto contra o intradorso da primeira pá 3I).

[043] E, preferencialmente, essas posições são tais que cada uma das posições de ataque e de fuga associadas a uma aleta 4 fica localizada

a uma distância a partir do extradorso da segunda pá 3E compreendida entre 10% e 55% da largura do canal (isto é. $Y_{BA}, Y_{BF} \in [0.1, 0.55]$). A(s) aleta(s) 4 pode(m), portanto, ser centralizadas na corrente, mas são, preferencialmente, mais próximas ao extradorso da segunda pá 3E.

[044] Em geral, quanto mais uma aleta 4 é separada do extradorso da segunda pá 3E, mais a posição de ataque (axial) da dita aleta 4 é separada do bordo de ataque BA das pás 3I, 3E. Em outras palavras, começando a partir do extradorso, as aletas são escalonadas, com X_{BA} crescente.

[045] Essa geometria permite amplificação progressiva do efeito de deflexão do fluxo incidente, o que é desejável na medida em que a ressurgência observada do fluido é progressiva ao longo do extradorso e a migração do fluido ocorre a partir do intradorso em direção ao extradorso (consultar a Figura 5a que será descrita abaixo). O escalonamento das aletas 4, portanto, melhora a uniformidade do fluxo próximo ao fundo da corrente e, adicionalmente, reduz a altura de separação.

[046] Preferencialmente, também, cada aleta 4 também tem uma altura que aumenta ao longo da aleta 4 a partir da posição de ataque até a posição de fuga, isto é, com posição axial crescente. A progressividade da altura das aletas 4, correlacionada ao escalonamento das aletas 4, também melhora a uniformidade do fluxo próximo ao fundo da corrente e a redução da altura de separação. A altura das aletas pode, em particular, ter variação linear ou quadrática com a posição axial.

[047] Deve ser observado que a altura máxima das aletas 4 pode diminuir com a distância a partir do extradorso da segunda pá 3E, de modo a amplificar o efeito conjunto do escalonamento e da altura variável das aletas 4.

NÚMERO DE ALETAS

[048] Os melhores resultados são obtidos para duas aletas 4. É

desejável não exceder três aletas 4.

[049] Com o uso de duas aletas, essas podem ser dispostas no meio de cada uma das porções 2I, 2E da plataforma 2 (como pode ser visto na Figura 2), mas, preferencialmente, as aletas 4 devem ficar, mais precisamente, no lado do extradorso da corrente. Por exemplo, uma primeira aleta pode ser associada às posições de azimute $Y_{BA}, Y_{BF} \in [0.2, 0.25]$, e uma segunda aleta associada às posições de azimute $Y_{BA}, Y_{BF} \in [0.5, 0.55]$.

[050] No caso em que uma das aletas 4 é posicionada no meio da corrente (posições de ataque e de fuga associadas à aleta 4 localizada a uma distância a partir do extradorso da segunda pá 3E em cerca de 50% da largura do canal), é possível usar a estrutura da plataforma 2 para reconstituir essa aleta 4. Portanto, se a plataforma 2 compreender uma primeira porção de plataforma 2I a partir da qual a primeira pá 3I se estende e uma segunda porção de plataforma 2E a partir da qual a segunda pá 3E se estende, a conexão entre as duas porções 2I, 2E da plataforma 2 pode ser fornecida para corresponder ao curso da aleta 4.

[051] Uma conexão interplataformas, protuberante, de formato adequado, pode, então, formar a aleta (como pode ser visto na **Figura 4**, a qual não mostra as outras aletas 4).

[052] Essa solução tem inúmeras vantagens, devido ao fato de que a mesma exige apenas umas poucas modificações com respeito a partes conhecidas e pode facilitar a montagem/desmontagem por permitir maiores folgas tangenciais entre as 2 porções da plataforma.

[053] Alternativamente ou como um complemento, pelo menos uma aleta 4 é inerente na superfície S, e o uso de curvas de construção PC faz com que seja possível definir as mesmas (o que também é verdadeiro no caso de uma aleta única 4 se a mesma não for obtida através de uma conexão). Preferencialmente, pelo menos três curvas de construção são usadas, como

pode ser visto, por exemplo, na Figura 2, em que há sete: uma curva de ataque (que passa através do ponto de ataque definido previamente), pelo menos uma curva central e uma curva de fuga (que passa através do ponto de fuga também definido previamente). A(s) curva(s) central(centrais) (cujo número pode variar) são, vantajosamente, posicionadas em intervalos regulares. A primeira e a segunda curvas centrais podem ser posicionadas na junção entre o chanfro e o corpo de uma das aletas 4. A curva de fuga de uma aleta 4 pode ser uma curva central de outra, e assim por diante.

[054] É observado que a curva de fuga pode, convenientemente, ser confundida com o plano de conexão PS (a aleta 4 se estende além do bordo de fuga). Por outro lado, pode haver outras curvas de construção posicionadas a montante ou a jusante de qualquer aleta 4 (e, portanto, não contribuirão para definir a última).

[055] Cada curva de construção PC é, portanto, definida por uma pluralidade de pontos de controle (de extremidade e intermediário, sendo que pelo menos um ponto de controle intermediário (e, mesmo, dois para curvas centrais) é exigido por aleta 4 para cada curva de construção PC posicionada entre a posição de ataque e a posição de fuga de uma aleta 4). O(s) parâmetro(s) que define(m) um ponto de controle é(são) selecionado(s) dentre uma abscissa do ponto, uma ordenada do ponto, uma orientação da tangente à curva no ponto e um (no caso de um ponto de controle de extremidade, apenas a semitangente no domínio de definição da curva pode ser considerada, para a esquerda ou para a direita dependendo do ponto) ou dois (no caso de um ponto de controle intermediário) coeficientes de tensão, cada um associado a uma semitangente à curva no ponto.

[056] As posições dos pontos de controle de extremidade são restritas pelas pás 3I, 3E. Por outro lado, as orientações da tangente à curva nesses pontos (as derivadas, em outras palavras) tornam possível verificar as

inclinações da superfície S, em particular aquelas dos flancos de uma aleta 4 (e, conseqüentemente, sua largura e sua altura).

MODELAGEM DA SUPERFÍCIE

[057] A definição da superfície com o uso de curvas de construção PC facilita a otimização automática da parte 1.

[058] Cada curva de construção PC pode, portanto, ser modelada por meio da implantação adequada de:

(a) Parametrização da curva de construção PC como uma curva classe C^1 que representa o valor do raio da dita superfície S como uma função de uma posição entre o intradorso da primeira pá 3I e o extradorso da segunda pá 3E, sendo que a curva é definida por:

- Dois pontos de controle de extremidade, respectivamente, em cada uma das duas pás 3E, 3I entre as quais a dita superfície S se estende
- Pelo menos um (vantajosamente dois) pontos de controle intermediários localizados entre os pontos de controle de extremidade;
- Pelo menos uma curva paramétrica;

sendo que a parametrização é implantada de acordo com um ou mais parâmetros que definem pelo menos um dos pontos de controle;

(b) Determinação de valores otimizados dos ditos parâmetros da dita curva.

[059] Essas etapas são realizadas por equipamento de computador que compreende meios de processamento de dados (por exemplo, um supercomputador).

[060] Certos parâmetros dos pontos de controle de extremidade ou intermediários, por exemplo, os intervalos assimétricos das tangentes, são fixos, de modo a satisfazer as condições de inclinação almeçadas.

[061] Inúmeros critérios podem ser selecionados como critérios a serem otimizados durante a modelagem de cada curva. A título de exemplo,

pode-se tentar maximizar as propriedades mecânicas tais como resistência a cargas mecânicas, resposta de frequência, deslocamentos das pás 3E, 3I, propriedades aerodinâmicas tais como eficiência, elevação de pressão, capacidade de fluxo ou margem de bombeamento, etc.

[062] Para esse fim é necessário parametrizar a regra que se está buscando otimizar, isto é, fazer da mesma uma função de N parâmetros de entrada. A otimização, então, consiste em variar (em geral, aleatoriamente) esses parâmetros diferentes com restrições, até que seus valores ótimos sejam determinados para um critério predeterminado. Uma curva “suavizada” é, então, obtida por interpolação a partir dos pontos de passagem determinados.

[063] O número de cálculos necessários é, então, ligado (linear ou exponencialmente) diretamente ao número de parâmetros de entrada do problema.

[064] Inúmeros métodos são conhecidos, mas, preferencialmente, um método similar àquele descrito na Patente FR1353439 será implantado, o que torna possível excelente qualidade de modelagem sem consumo alto de potência de computação, embora ainda limite o fenômeno de Runge (excessiva “ondulação” da superfície).

[065] Deve ser observado que a pá 3E, 3I é conectada à plataforma 2 através de uma conexão curva, que pode ser o objeto de modelagem específica, em particular, também com o uso de curvas paramétricas e pontos de controle do usuário.

EFEITO DAS ALETAS

[066] Linhas de fluxo e atrito foram observadas ao longo do extradorso da segunda pá 2E: geometria sem aletas (**Figura 5a**), geometria não axissimétrica com uma aleta única (**Figura 5b**) e geometria não axissimétrica com duas aletas (**Figura 5c**).

[067] É visto claramente na Figura 5b e especialmente 5c a

redução na altura de separação, que cai em aproximadamente 33%. O aumento na vorticidade alcança 2,3% para uma aleta, e 3,8% para duas aletas, conseqüentemente há um aumento na eficiência de umas poucas dezenas percentuais.

REIVINDICAÇÕES

1. PARTE (1) OU CONJUNTO DE PARTES DE UMA TURBOMÁQUINA, que compreende pelo menos primeira e segunda pás (3i, 3e), e uma plataforma (2) a partir da qual as pás (3i, 3e) se estendem,

em que a plataforma (2) tem, entre um intradorso da primeira pá (3I) e um extradorso da segunda pá (3E), uma superfície não axissimétrica (S) que define uma pluralidade de aletas (4) que se estende a jusante de um bordo de ataque (BA) de cada uma das pás (3I, 3E), sendo que cada aleta (4) é associada a uma posição de ataque e a uma posição de fuga na superfície (S) entre as quais a aleta (4) se estende, de modo que quanto mais uma aleta (4) é separada do extradorso da segunda pá (3E), mais a posição de ataque da aleta (4) é axialmente separada do bordo de ataque (BA) das pás (3I, 3E);

sendo parte (1) ou conjunto de partes caracterizado pelas aletas (4) terem uma seção triangular, em que a posição de ataque fique localizada entre 5% e 35% do comprimento relativo de uma corda de uma pá (3I, 3E) que se estende a partir de um bordo de ataque (BA) até um bordo de fuga (BF) da pá (3I, 3E).

2. PARTE (1) OU CONJUNTO DE PARTES, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por cada aleta (4) ter uma largura compreendida entre 5% e 20% da distância entre o intradorso da primeira pá (3I) e o extradorso da segunda pá (3E).

3. PARTE (1) OU CONJUNTO DE PARTES, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, caracterizado por cada aleta (4) ter uma razão entre altura e largura compreendida entre 0,3 e 1,3.

4. PARTE (1) OU CONJUNTO DE PARTES, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado por cada aleta (4) ter uma altura compreendida entre 1 mm e 25 mm.

5. PARTE (1) OU CONJUNTO DE PARTES, de acordo com

qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado por cada aleta (4) ter uma altura que aumenta ao longo da aleta (4) a partir da posição de ataque até a posição de fuga.

6. PARTE (1) OU CONJUNTO DE PARTES, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado por cada aleta (4) ter um curso que corresponde à linha de arqueamento mediana da primeira e da segunda pás (3I, 3E).

7. PARTE (1) OU CONJUNTO DE PARTES, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pela posição de fuga associada a cada aleta (4) ficar localizada entre 50% e 105% do comprimento relativo da corda da pá (3I, 3E).

8. PARTE (1) OU CONJUNTO DE PARTES, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelas posições de ataque e de fuga associadas a cada aleta (4) serem, cada uma, localizadas a uma distância a partir do extradorso da segunda pá (3E) compreendida entre 10% e 55% da distância entre o intradorso da primeira pá (3I) e o extradorso da segunda pá (3E).

9. PARTE (1) OU CONJUNTO DE PARTES, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pela superfície (S) definir duas ou três aletas (4) lado a lado.

10. PARTE (1) OU CONJUNTO DE PARTES, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado pela plataforma (2) compreender uma primeira porção de plataforma (2I) a partir da qual a primeira pá (3I) se estende e uma segunda porção de plataforma (2E) a partir da qual a segunda pá (3E) se estende, sendo que uma conexão entre as primeira e segunda porções de plataforma (2I, 2E) forma a aleta (4).

11. PARTE (1) OU CONJUNTO DE PARTES, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado pela superfície (S) ser limitada por um primeiro e um segundo planos de extremidade (PS, PR), sendo

que a superfície (S) é definida por pelo menos uma curva de construção classe C^1 (PC) em que cada uma representa o valor de um raio da superfície (S) como uma função de uma posição entre o intradorso da primeira pá (3I) e o extradorso da segunda pá (3E) ao longo de um plano paralelo aos planos de extremidade (PS, PR) posicionado entre a posição de ataque e a posição de fuga de cada aleta (4).

12. PARTE OU CONJUNTO DE PARTES, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado por cada curva de construção (PC) ser modelada implantando-se, através de meios de processamento de dados, as etapas de:

(a) parametrização da curva de construção (PC) como uma curva classe C^1 que representa o valor do raio da superfície (S) como uma função de uma posição entre o intradorso da primeira pá (3I) e o extradorso da segunda pá (3E), sendo que a curva é definida por:

- dois pontos de controle de extremidade, respectivamente, em cada uma das duas pás (3I, 3E) entre as quais a superfície (S) se estende;

- pelo menos um ponto de controle intermediário localizado entre os pontos de controle de extremidade;

- pelo menos uma curva paramétrica;

sendo que a parametrização é implantada de acordo com um ou mais parâmetros que definem pelo menos um dos pontos de controle;

(b) determinação de valores otimizados dos parâmetros da curva.

13. PARTE (1) OU CONJUNTO DE PARTES, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, caracterizado pela plataforma (2) ter um formato anular ao longo do qual é posicionada, regularmente, uma pluralidade de pás (3I, 3E).

14. PARTE (1) OU CONJUNTO DE PARTES, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pela plataforma (2) ter a mesma superfície não

axissimétrica (S) entre cada par consecutivo de pás (3I, 3E).

15. PARTE (1) OU CONJUNTO DE PARTES, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado por ser um disco de pás ou um estágio de estator de compressor.

16. TURBOMÁQUINA, caracterizada por compreender uma parte (1) ou conjunto de partes, conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 15.

FIG. 1

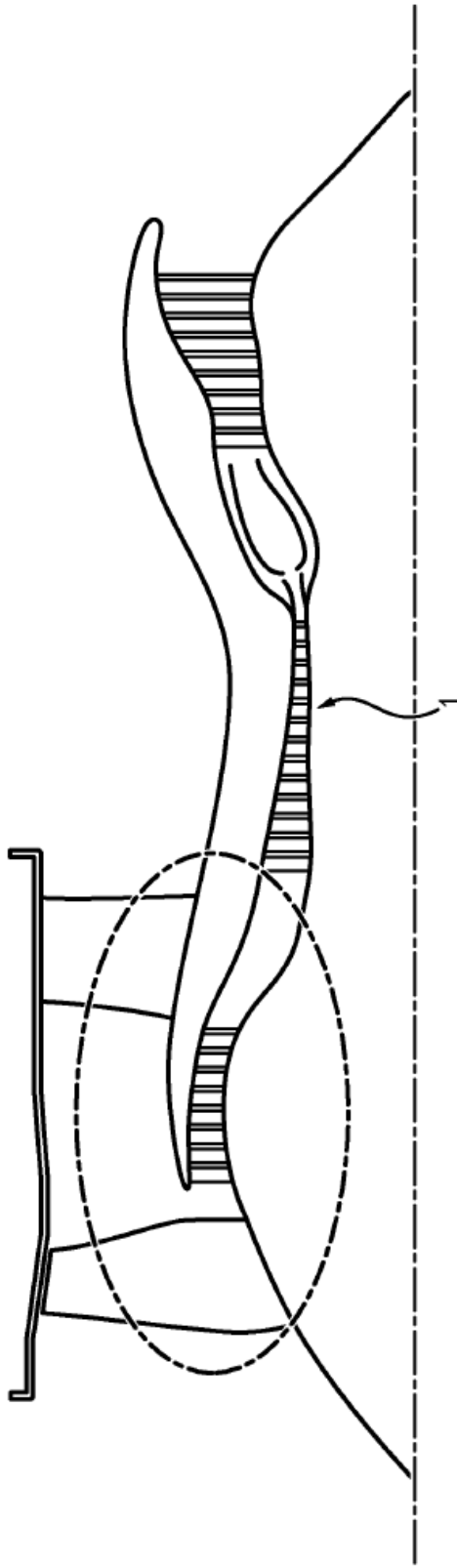


FIG.2

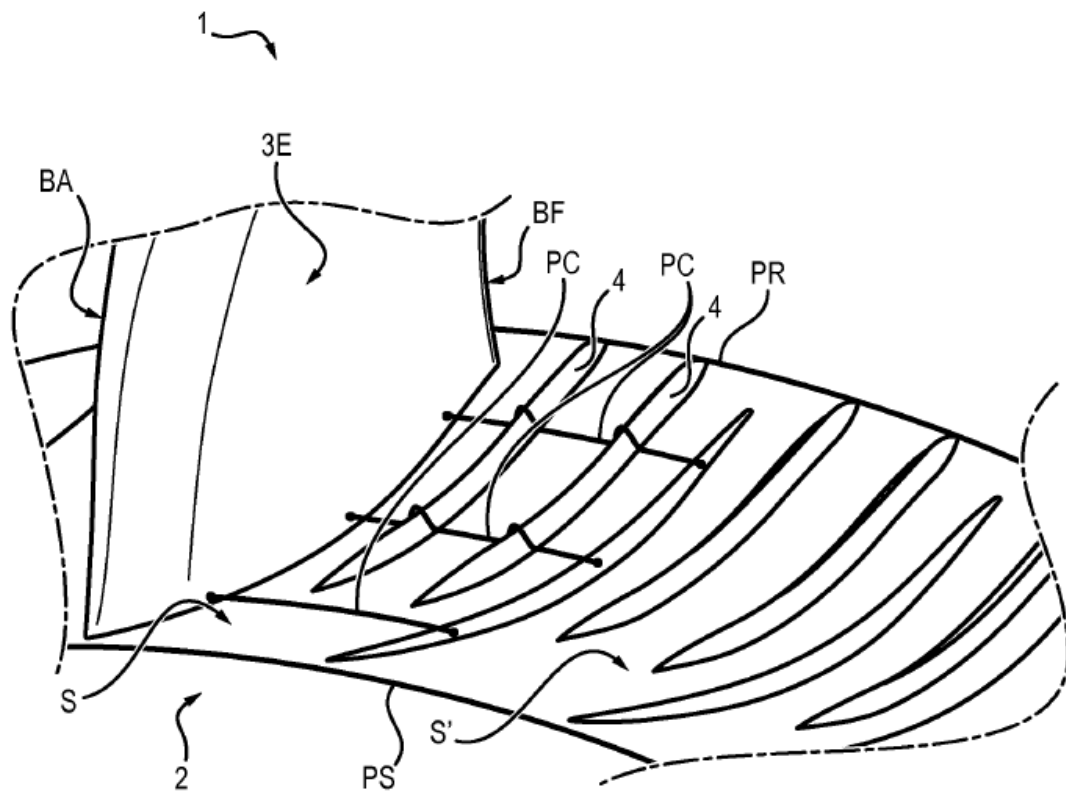


FIG. 3

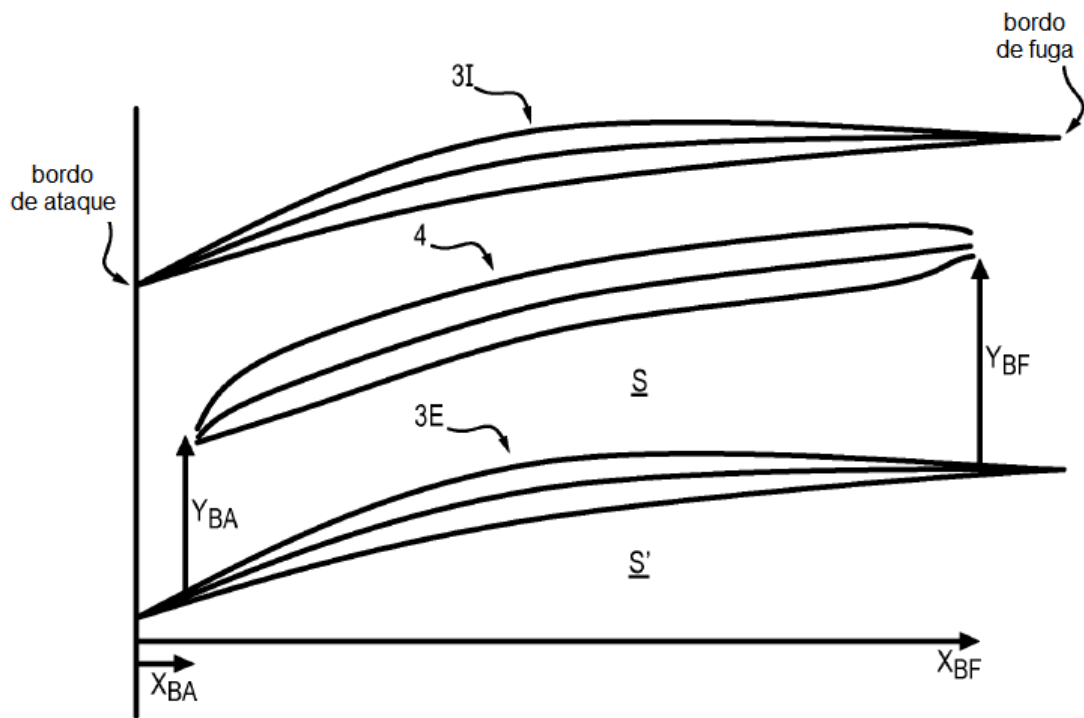


FIG. 4

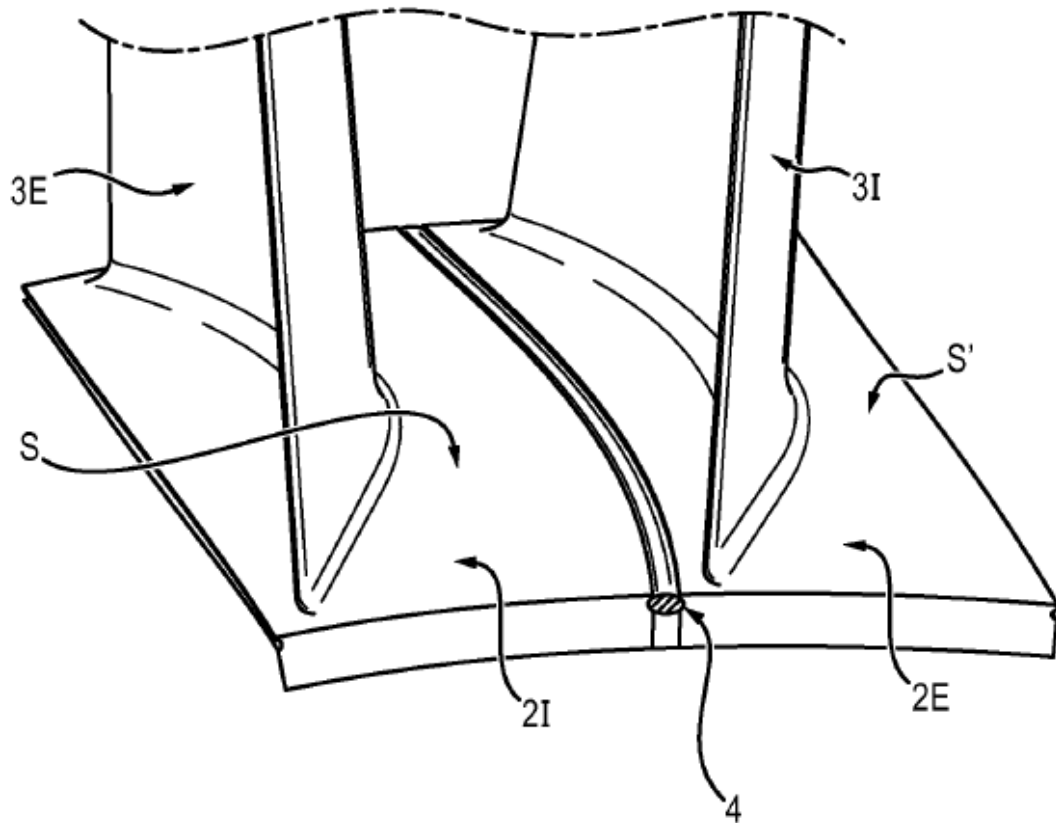


FIG. 5a

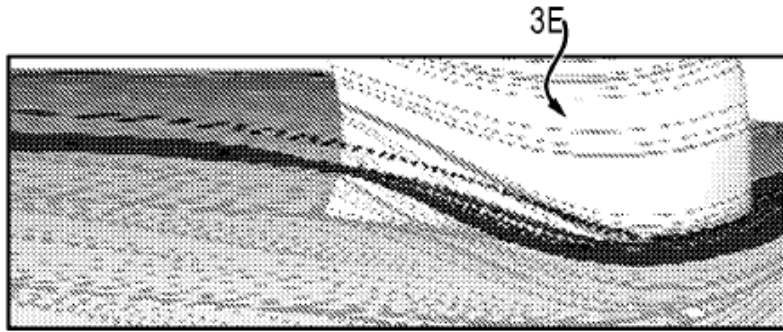


FIG. 5b

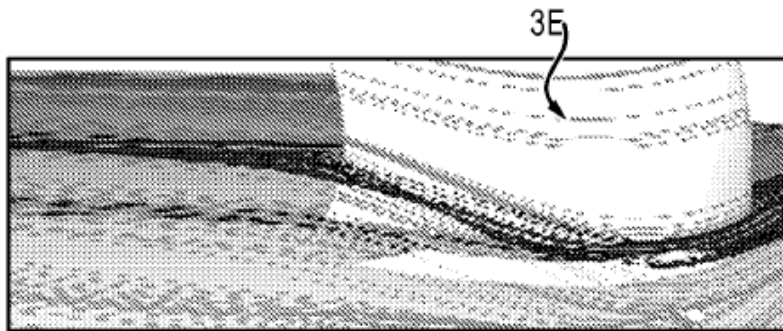


FIG. 5c

