



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional de Propriedade Industrial

(21) BR 10 2012 033010-5 A2



(22) Data de Depósito: 21/12/2012

(43) Data da Publicação: 18/08/2015
(RPI 2328)

(54) Título: AEROFÓLIO, CONJUNTO DE VENTILADOR E MOTOR DE VENTILADOR

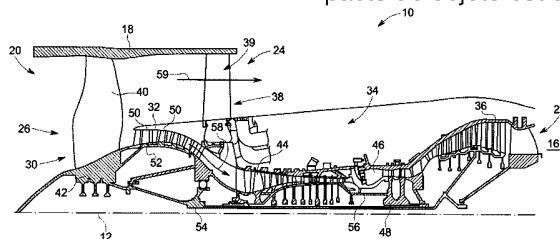
(51) Int.Cl.: F01D5/14

(30) Prioridade Unionista: 23/12/2011 US 13/336,001

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC COMPANY

(72) Inventor(es): BO WANG, DONG JIN SHIM, IAN FRANCIS PRENTICE, NICHOLAS JOSEPH KRAY, PRANAV DHOJ SHAH, SCOTT ROGER FINN

(57) Resumo: AEROFÓLIO, CONJUNTO DE VENTILADOR E MOTOR DE VENTILADOR. Trata-se de um aerofólio, um conjunto de ventilador e um motor que incluem pelo menos um aerofólio que inclui uma porção de raiz, uma porção de corpo e uma porção de ponta. A porção de corpo é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz e a porção de ponta é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz e da porção de corpo. O aerofólio inclui um lado de pressão e um de sucção acoplados entre si em uma borda dianteira e uma traseira e se estendendo entre os mesmos. O aerofólio inclui uma ponta compatível na porção de ponta. A ponta compatível se estende ao longo de pelo menos uma porção da porção de ponta em uma direção no sentido da corda e uma direção no sentido da amplitude. A ponta compatível é configurada para fornecer propagação de ondas ao longo da porção de ponta de modo que tensão crítica próxima à porção de ponta e à borda traseira seja reduzida durante um impacto de objeto estranho.



“AEROFÓLIO, CONJUNTO DE VENTILADOR E MOTOR DE VENTILADOR”

ANTECEDENTES

As realizações apresentadas no presente documento referem-se geralmente a superfícies aerodinâmicas e, mais especificamente, à
5 configuração de uma superfície aerodinâmica, tal como um aerofólio, que é resistente a altas tensões de superfície experimentadas durante impactos de objeto estranho.

As turbinas incluem, mas não são limitadas a, equipamento de geração de potência de turbina de vapor e gás e motores de aeronave de
10 turbina de gás. Um motor de turbina inclui, tipicamente, um motor de núcleo que tem um compressor de pressão alta para comprimir o fluxo de ar que entra no motor de núcleo, um combustor no qual uma mistura de combustível e ar comprimento é queimada para gerar um fluxo de gás propulsivo, e uma turbina de pressão alta a qual é girada pelo fluxo de gás propulsivo e a qual é
15 conectada por um eixo de diâmetro maior para acionar o compressor de pressão alta. Um motor de turbina de gás de ventilador frontal típico adicionar uma turbina de pressão baixa (localizada atrás da turbina de pressão alta) a qual é conectada por um eixo coaxial de diâmetro menor para acionar o ventilador frontal (localizado na frente do compressor de pressão alta). O
20 compressor de pressão baixa é chamado algumas vezes de um compressor de reforçador ou simplesmente um reforçador.

O ventilador e o compressor de pressão baixa e alta de motores de turbina têm lâminas de turbina, sendo que cada um inclui uma porção de aerofólio presa a uma porção de cauda de andorinha ou espigão. Os projetos
25 de lâmina de turbina de gás convencionais têm, tipicamente, porções de aerofólio que são feitas totalmente de metal, tal como titânio, ou feitos totalmente de compósitos reforçados de fibra contínua (CFRC). As lâminas totalmente de metal são mais pesadas em peso o qual resulta em desempenho

de combustível inferior e requer fixações de lâmina mais resistentes, enquanto que as lâminas totalmente compósitas mais leves são mais suscetíveis a danos de impacto de objeto estranhos, tal como eventos de ingestão de pássaro. As lâminas híbridas conhecidas incluem uma lâmina compósita que tem um formato de aerofólio o qual é coberto por um revestimento de superfície (com somente a ponta de lâmina e as porções de borda traseira e dianteira do revestimento de superfície que compreende um metal) para erosão e impactos de objeto estranho. As lâminas de ventilador de turbina de gás são, tipicamente, as lâminas maiores (e, portanto as mais pesadas) em um motor de aeronave de turbina de gás e as lâminas de ventilador frontal são as primeiras a serem impactadas por uma colisão com aves. As lâminas compósitas foram usadas, tipicamente, em aplicações em que peso é uma preocupação principal. Entretanto, as lâminas compósitas devido à sua finura podem desenvolver regiões de tensão alta na lâmina que podem ser suscetíveis a falha durante impacto de objeto estranho. Para diminuir os níveis de tensão nas lâminas, é desejável alterar a resposta dinâmica da lâmina compósita.

Consequentemente, existe uma necessidade de uma lâmina de ventilador aprimorada que fornece um aerofólio leve que é resistente a tensões de superfície de aerofólio altas experimentadas durante impactos de objeto estranho.

BREVE DESCRIÇÃO

De acordo com uma realização exemplificativa, um aerofólio que compreende uma porção de raiz, uma porção de corpo e uma porção de ponta, um lado de sucção e um lado de pressão e uma ponta compatível. A porção de corpo é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz e em que a porção de ponta é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz e da porção de corpo. O lado de sucção e o lado de pressão são acoplados entre si em uma borda dianteira e uma borda traseira

espaçados no sentido da corda e a jusante da borda dianteira. A ponta compatível se estende ao longo de pelo menos uma porção da porção de ponta em uma direção no sentido da corda e uma direção no sentido da amplitude. A ponta compatível é configurada para fornecer propagação de ondas ao longo da porção de ponta de modo que tensão crítica próxima à porção de ponta e à borda traseira seja reduzida durante um impacto de objeto estranho.

De acordo com outra realização exemplificativa, um conjunto de ventilador é revelado. O conjunto de ventilador que compreende um disco; e uma pluralidade de lâminas de ventilador acopladas ao disco. Cada lâmina dentre a pluralidade de lâminas de ventilador que compreende uma porção de raiz, uma porção de corpo e uma porção de ponta, um lado de sucção e um lado de pressão e uma ponta compatível. A porção de corpo é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz e a porção de ponta é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz e da porção de corpo. O lado de sucção e o lado de pressão são acoplados entre si em uma borda dianteira e uma borda traseira espaçados no sentido da corda e a jusante da borda dianteira. A ponta compatível se estende ao longo de pelo menos uma porção da porção de ponta em uma direção no sentido da corda e uma direção no sentido da amplitude. A ponta compatível é configurada para fornecer propagação de ondas ao longo da porção de ponta de modo que tensão crítica próxima à porção de ponta e à borda traseira seja reduzida durante um impacto de objeto estranho.

De acordo com ainda outra realização exemplificativa, um motor de ventilador é revelado. O motor de ventilador que compreende um motor de núcleo eficaz para gerar gases de combustão que passam através de um trajeto de fluxo principal, uma turbina de potência atrás do motor de núcleo e que inclui primeira e segunda fileiras de lâmina de turbina interdigitada contragiratória eficaz para girar um eixo de acionamento, uma seção de

ventilador na frente do motor de núcleo que inclui uma fileira de lâmina de ventilador conectada ao eixo de acionamento, sendo que a fileira de lâmina de ventilador inclui uma pluralidade de aerofólios, em que cada aerofólio compreende: uma porção de raiz, uma porção de corpo e uma porção de 5 ponta, um lado de sucção e um lado de pressão e uma ponta compatível. A porção de corpo é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz e a porção de ponta é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz e da porção de corpo. O lado de sucção e o lado de pressão são acoplados entre si em uma borda dianteira e uma borda traseira 10 espaçados no sentido da corda e a jusante da borda dianteira. A ponta compatível se estende ao longo de pelo menos uma porção da porção de ponta em uma direção no sentido da corda e uma direção no sentido da amplitude. A ponta compatível é configurada para fornecer propagação de ondas ao longo da porção de ponta de modo que tensão crítica próxima à porção de ponta e à 15 borda traseira seja reduzida durante um impacto de objeto estranho.

Esses e outros recursos e aprimoramentos da presente aplicação se tornarão aparentes para uma pessoa de habilidade comum na técnica mediante revisão da descrição detalhada quando levada em conjunção com os diversos desenhos e as reivindicações anexas.

20

DESENHOS

Os recursos acima e outros, aspectos e vantagens da presente invenção se tornarão mais bem compreendidos quando a seguinte descrição detalhada é lida com referência aos desenhos anexos nos quais caracteres semelhantes representam partes semelhantes pelos desenhos, em que:

25

A Figura 1 é uma seção transversal esquemática, que ilustra um motor de turbina de gás turboventilador que inclui aerofólios que têm uma ponta compatível de acordo com uma realização;

A Figura 2 é uma seção transversal esquemática, que ilustra um

motor de ventilador contragiratório não canalizado que tem uma ponta compatível de acordo com uma realização;

A Figura 3 é uma vista em perspectiva de um aerofólio que mostra uma ponta compatível de acordo com uma realização;

5 A Figura 4 é uma vista lateral de um aerofólio que mostra uma ponta compatível de acordo com uma realização;

A Figura 5 é uma vista esquemática explodida de um aerofólio exemplificativo que inclui uma ponta compatível, que ilustra um lado de pressão, lado de sucção e porção de topo de acordo com uma realização;

10 A Figura 6 é uma vista esquemática explodida de um aerofólio exemplificativo que inclui uma ponta compatível, que ilustra um lado de pressão, lado de sucção e porção de topo de acordo com uma realização;

A Figura 7 é uma vista esquemática explodida de um aerofólio exemplificativo que inclui uma ponta compatível, que ilustra um lado de pressão, lado de sucção e porção de topo de acordo com uma realização;

15 A Figura 8 é uma vista explodida de um aerofólio exemplificativo que inclui uma ponta compatível, que ilustra a forma na qual a ponta compatível é unida ao aerofólio principal de acordo com uma realização;

20 A Figura 9 é uma seção transversal parcial esquemática do aerofólio da Figura 8 de acordo com uma realização;

A Figura 10 é uma vista explodida de um aerofólio exemplificativo que inclui uma ponta compatível, que ilustra a forma na qual a ponta compatível é unida ao aerofólio principal de acordo com uma realização;

25 A Figura 11 é uma seção transversal parcial esquemática do aerofólio da Figura 10 de acordo com uma realização;

A Figura 12 é uma vista explodida de um aerofólio exemplificativo que inclui uma ponta compatível, que ilustra a forma na qual a ponta compatível é unida ao aerofólio principal de acordo com uma realização; e

A Figura 13 é uma seção transversal parcial esquemática do aerofólio da Figura 12 de acordo com uma realização;

DESCRIÇÃO DETALHADA

Aparelhos e métodos exemplificativos são geralmente fornecidos para fabricar um aerofólio tal como, mas não limitado a, para uso em um dispositivo que incorpora superfícies aerodinâmicas, e mais particularmente para uso em um dispositivo giratório. As realizações descritas no presente documento não são limitadoras, mas, em vez disso, são somente exemplificativas. Deveria ser compreendido que os aparelhos e métodos exemplificativos para fabricar um aerofólio revelados no presente documento pode se aplicar a qualquer tipo de aerofólio ou superfície aerodinâmica, tal como, mas não limitado a, lâminas de ventilador, lâminas de rotor, lâminas de ventilador canalizado, lâminas de ventilador não canalizado, motor de turbina, e turbinas eólicas. Mais especificamente, os aparelhos e métodos exemplificativos para fabricar um aerofólio revelado no presente documento pode ser aplicar a qualquer aerofólio, ou superfície aerodinâmica, que é sujeita a objetos estranhos impingentes.

Embora as realizações descritas no presente documento sejam descrita em conexão com um motor de turboventilador, também referido no presente documento como um motor de turbina, e um sistema de propulsão de rotor aberto, também referido no presente documento como um motor de razão de desvio alto de ventilador frontal contragiratório não canalizado, ou UDF, deveria ser aparentes àqueles versados na técnica que, com modificação apropriada, o aparelho e métodos podem ser adequados para qualquer dispositivo que inclui aerofólios que são submetidos a objetos estranhos impingentes e para os quais resistência a altas tensões de superfície experimentadas durante impacto de objeto estranhos é interessante.

Referindo-se agora à Figura 1, é mostrada uma ilustração

esquemática de um conjunto de motor de turbina de gás turboventilador exemplificativo 10 que tem um eixo geométrico que se estende longitudinalmente ou linha central 12 que se estende através do conjunto de motor 10 de ponta a ponta (da esquerda para a direita na Figura 1). O fluxo
5 através do motor exemplificativo ilustrado é geralmente de ponta a ponta. A direção paralela à linha central em direção à frente do motor e longe da traseira do motor será referida no presente documento como a direção “a montante” 14, enquanto que a direção oposta paralela à linha central será referida no presente documento como a direção “a jusante” 16.

10 O conjunto de motor 10 tem uma armação externa, ou nacela 18, que geralmente define o motor. O conjunto de motor 10 também inclui um lado de admissão 20, um lado de exaustão de motor de núcleo 22, e um lado de exaustão de ventilador 24. O lado de admissão 20 inclui uma admissão 26 localizada na abertura frontal da nacela 18, e fluxo no motor entra através da
15 admissão 26. O lado de exaustão de ventilador 24 inclui uma exaustão, ou bocal, (não mostrado) localizado na extremidade posterior da nacela 18. O fluxo sai do conjunto de motor 10 a partir da exaustão.

Um motor de núcleo é disposto dentro da nacela 18 e inclui um conjunto de ventilador 30, um compressor de reforçador 32, um motor de
20 turbina de gás de núcleo 34, e uma turbina de pressão baixa 36 que é acoplada ao conjunto de ventilador 30 e ao compressor de reforçador 32. O conjunto de ventilador 30 inclui uma pluralidade de lâminas de ventilador 40, ou aerofólios, que se estendem de forma substancialmente radial para fora de um disco de toro de ventilador 42. Conforme descrito abaixo, as lâminas de ventilador 40
25 podem ser configuradas para incluir uma ponta compatível conforme descrito no presente documento, para resistir a altas tensões de superfície experimentadas durante impactos de objeto estranho.

O motor de turbina de gás de núcleo 34 inclui um compressor de

pressão alta 44, um combustor 46, e uma turbina de pressão alta 48. O compressor de reforçador 32 inclui uma pluralidade de lâminas 50 que se estendem de forma substancialmente radial para fora de um disco de rotor de compressor 52 acoplado a um primeiro eixo de acionamento 54. O compressor de pressão alta 44 e a turbina de pressão alta 48 são acoplados entre si por um segundo eixo de acionamento 56.

Durante operação, o ar que entra no conjunto de motor 10 através do lado de admissão 20 é comprimido pelo conjunto de ventilador 30. O fluxo de ar que sai do conjunto de ventilador 30 é dividido de modo que uma porção do fluxo de ar, e mais particularmente um fluxo de ar comprimido 58 seja canalizado para interior do compressor de reforçador 32 e uma porção remanescente 59 do fluxo de ar desvia do compressor de reforçador 32 e o motor de turbina de núcleo 34 e sai do conjunto de motor 10 através de uma fileira de palhetas estacionárias, e mais particularmente um conjunto de palheta de guia de saída 38, em que compreende uma pluralidade de palhetas de guia de aerofólio 39 no lado de exaustão de ventilador 24. Mais especificamente, uma fileira circunferencial de palhetas de guia de aerofólio que se estendem radialmente 39 é utilizada adjacente ao conjunto de ventilador 30 para exercer algum controle direcional do fluxo de ar 59. A pluralidade de lâminas de rotor 50 comprimem e entregam o fluxo de ar comprimido 58 em direção ao motor de turbina de gás de núcleo 34. O fluxo de ar 58 é comprimido adicionalmente pelo compressor de pressão alta 44 e é entregue ao combustor 46. O fluxo de ar 58 do combustor 46 aciona as turbinas giratórias 36 e 48 e sai do conjunto de motor 10 através do lado de exaustão de núcleo 22.

Referindo-se agora à Figura 2, um motor de ventilador contragratório não canalizado 60 que inclui aerofólios que têm uma ponta compatível de acordo com uma realização é ilustrado. Mais especificamente, um conjunto de motor 60 que inclui um eixo geométrico de linha central

longitudinal 62 que se estende através do conjunto de motor 60 de ponta a ponta (da esquerda para a direita na Figura 2) é ilustrada. O fluxo através do motor exemplificativo ilustrado é geralmente de ponta a ponta. A direção paralela ao eixo geométrico de linha central 62 em direção à frente do motor e longe da traseira do motor será referida no presente documento como a direção “a montante” 64, enquanto que a direção oposta paralela ao eixo geométrico de linha central 62 será referida no presente documento como a direção “a jusante” 66.

O conjunto de motor 60 tem uma armação externa, ou um invólucro externo 68 disposto coaxialmente sobre eixo geométrico de linha central 62. Invólucro externo 68 é convencionalmente referido como uma nacela e é não estrutural no qual não suporta quaisquer dos componentes de motor. Pode, portanto, ser construído de metal de folha fina tal como alumínio e/ou material compósito.

O conjunto de motor 60 também inclui um gerador de gás referido como motor de núcleo 70. Tal motor de núcleo inclui um compressor 72, um combustor 74 e uma turbina de pressão alta 76, ou estágio singular ou múltiplos estágios.

Na parte frontal do motor 60, é fornecido uma seção de ventilador frontal 78. A seção de ventilador 78 inclui uma primeira fileira de lâmina de ventilador 80 conectada uma extremidade frontal de um eixo contragiratório interno 82 o qual se estende entre uma turbina de potência 84 e a seção de ventilador 78. A seção de ventilador frontal 78 inclui uma segunda fileira de lâmina de ventilador 86 conectada à extremidade frontal de um eixo de acionamento externo 88 também conectado entre a turbina de potência 84 e a seção de ventilador 78. Cada uma das primeira e segunda fileiras de lâmina de ventilador 80 e 86 compreende uma pluralidade de aerofólios espaçados circunferencialmente 90, ou lâminas de ventilador. As fileiras de lâmina de

ventilador 80 e 86 são contragiratórias as quais fornecem um carregamento de disco superior e eficácia propulsiva. Deveria ser apreciado que a fileira de lâmina de ventilador contragiratória 86 serve para remover o redemoinho no componente circunferencial de ar transmitido pela fileira de lâmina de ventilador
5 contragiratória 80. Conforme descrito abaixo, os aerofólios 90 na fileira de lâmina 80 e 86 podem ser configurados para inclui uma ponta compatível conforme descrito no presente documento, para resistir a altas tensões de superfície durante impacto de objeto estranhos e fornecer uma lâmina de ventilador mais robusta.

10 Voltando-se agora para as Figuras 3 e 4 uma lâmina de ventilador configurada para resistir a altas tensões de superfície experimentadas durante impacto de objeto estranhos de acordo com uma realização é ilustrada. Em particular, a Figura 3 é uma vista em perspectiva de uma realização de uma superfície aerodinâmica, e mais particularmente a lâmina de ventilador que
15 incorpora um aerofólio que inclui a ponta compatível conforme revelado no presente documento. A Figura 4 é uma vista lateral de um lado de pressão do aerofólio da Figura 3 em que partes similares são referidas identicamente. Mais particularmente, uma lâmina de ventilador 100 é ilustrada, geralmente semelhantes às lâminas de ventilador 40, 80 e 86 das Figuras 1 e 2,
20 respectivamente, que podem ser usadas em um conjunto de motor de gás turboventilador, geralmente semelhante ao conjunto de motor 10 da Figura 1 ou um conjunto de motor de rotor aberto, geralmente semelhante ao conjunto de motor 60 da Figura 2. Em uma realização preferencial, lâmina de ventilador 100 pode residir em uma fileira de lâmina posicionada na frente o traseira. Em uma
25 realização, a lâmina de ventilador 100 inclui um aerofólio 102, uma plataforma 104 e uma porção de raiz 106. Alternativamente, o aerofólio 102 pode ser usado com, mas não limitado a, lâminas de rotor, e/ou lâminas de turbina. O aerofólio 102 inclui adicionalmente uma porção de corpo 105 e uma porção de

ponta 118, em que a porção de corpo 105 é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz 106 e em que a porção de ponta 118 é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz 106 e da porção de corpo 105.

5 Em uma realização, a porção de raiz 106 inclui uma cauda de andorinha integral 108 que habilita o aerofólio 102 para ser montado para um disco, tal como um disco de rotor de ventilador. O aerofólio 102 inclui uma primeira parede lateral contornada 110 e uma segunda parede lateral contornada 112. Especificamente, em uma realização, a primeira parede lateral
10 contornada 110 define um lado de sucção 111 do aerofólio 102, e a segunda parede lateral contornada 112 define um lado de pressão 113 do aerofólio 102. As paredes laterais 110 e 112 são acopladas entre si em uma borda dianteira 114 e em uma borda traseira espaçada axialmente 116. A borda traseira 116 é espaçada no sentido da corda e a jusante da borda dianteira 114. O aerofólio
15 102 inclui uma espessura medida entre o lado de pressão 113 e o lado de sucção 111 que se estende da borda dianteira 114 para a borda traseira 116, em que a espessura de aerofólio varia e uma direção no sentido da amplitude. O lado de pressão 113 e o lado de sucção 111, e mais particularmente a primeira parede lateral contornada 110 e a segunda parede lateral contornada
20 112, respectivamente, cada uma se estende longitudinal ou radialmente para fora da porção de raiz 106 para a porção de ponta 118. Alternativamente, o aerofólio 102 pode ter qualquer forma convencional, com ou sem a cauda de andorinha 108 ou porção de plataforma 104. Por exemplo, o aerofólio 102 pode ser formado integralmente com um disco de rotor em uma configuração do tipo
25 disco com lâmina que não inclui a cauda de andorinha 108 e a porção de plataforma 104.

Em uma realização, o aerofólio 102 inclui uma ponta compatível 120 na porção de ponta 118. A ponta compatível 120 se estende ao longo de

pelo menos uma porção da porção de ponta 118 em uma direção no sentido da corda, indicada por “x” e em uma direção no sentido da amplitude, indicada por “y”. A ponta compatível 102 é configurada para fornecer propagação de ondas ao longo da porção de ponta 118 de modo que tensão crítica próxima à porção de ponta 118 e à borda traseira 16 seja reduzida durante um impacto de objeto estranho.

Em uma realização, a ponta compatível 120 é definida por uma porção do aerofólio 102 que é composto por um material compatível 122 (mostrado na linha escondida), tal como, mas não limitado a, poliuretano, poliureia, fluoroelastômero (FPM), borracha de nitrila, borracha de monômero de etileno propileno dieno (classe M) (EPDM), epóxi, ou combinações dos mesmos. Em uma realização, o material pode conter algum reforço de fibra (por exemplo fibra de vidro) para força adicional ou rigidez. O material compatível 122 tem uma rigidez inferior em comparação com um material de base 124 que forma a porção de corpo 105 do aerofólio 102. Adicionalmente, o material compatível 122 tem uma capacidade de tensão aumentada, sendo que, através disso, fornece um aerofólio mais robusto102.

Em uma realização exemplificativa, a ponta compatível 120 altera as dinâmicas do aerofólio 102, e mais particularmente a lâmina de ventilador 100 quando sob condição de impacto de modo que uma propagação de ondas ao longo da região de ponta 118 ocorre de tal forma que a tensão crítica próxima à região de ponta 118 e borda traseira 116 é reduzida. Velocidade de onda, c_B , para dobrar ondas em placas finas é dada como:

$$c_B = \sqrt{\omega} \left(\frac{Eh^2}{12(1-\nu^2)\rho} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Em que, ω : frequência

h : espessura de placa

E, ρ, ν : Módulo, densidade e razão de Poisson do meio (placa),

respectivamente.

A fim de alcançar o efeito desejado, a ponta compatível 120 é composta pelo material compatível 122 escolhido de modo que a velocidade de onda seja alterada por pelo menos duas vezes daquilo no material de base 124 da lâmina 100. Em uma realização, a ponta compatível 120 é composta por um material 122 que tem uma velocidade de onda pelo menos duas vezes menor que o material de lâmina de base 124. Em ainda outra realização, a ponta compatível 120 é composta por um material 122 que tem uma velocidade de onda pelo menos duas vezes maior que o material de lâmina de base 124. Adicionalmente, a ponta compatível 120 é composta por um material de tensão alta para falha em comparação com o material de lâmina de base 124. Em uma realização, o material compatível 122 inclui um parâmetro de rigidez que é aproximadamente 8 a 10 vezes mais compatível que o material de lâmina de base 124. A ponta compatível nova 120 conforme revelado no presente documento habilita o aerofólio 102 para resistir a altas tensões de superfície experimentadas durante impactos de objeto estranho. A inclusão do material compatível 122 para formar a ponta compatível 120 altera a resposta dinâmica da lâmina de ventilador 102 sob um evento de impacto. A análise mostrou que isso pode minimizar qualquer ação de chicoteamento da borda traseira 116, mais particularmente em um canto de borda de rejeito 119, durante um cenário de impacto. Isso, por sua vez, pode reduzir concentrações de tensão desenvolvida ao longo da borda traseira 116. Ao reduzir a tensão na borda traseira 116, a lâmina de ventilador 102 é mais robusta e menos propensa a falha durante um evento de impacto.

Conforme melhor ilustrado na Figura 4, o aerofólio 102 pode incluir adicionalmente um material de borda traseira híbrido 117 (mostrado na linha pontilhada) na borda traseira 116. Mais especificamente, o aerofólio 102 pode incluir um material tal como, mas não limitado a, S-glass para formar a

borda traseira 116 que tem uma capacidade de tensão superior. Adicionalmente, o aerofólio 102 pode incluir adicionalmente uma borda dianteira de metal 115.

Referindo-se agora às Figuras 5 a 10, são ilustradas várias
5 configurações de uma lâmina que inclui uma porção de ponta compatível, semelhante à lâmina 100 das Figuras 3 e 4, para uso em um conjunto de motor, tal como conjunto de motor 10 da Figura 1 ou conjunto de motor 60 da Figura 2. As Figuras 5 a 7 ilustra em vistas esquemáticas explodidas, aerofólios exemplificativos que incluem uma ponta compatível, ilustrando um lado de
10 pressão, lado de sucção e porção de topo de acordo com realizações. As Figuras 8 a 13 ilustram vistas laterais de um lado de sucção de aerofólio e vistas de extremidade seccional parcial esquemáticas que mostram configurações de fixação da ponta compatível à porção de corpo do aerofólio. Deveria ser compreendido que elementos similares têm números similares por
15 todas as Figuras 5 a 10 e as realizações reveladas.

É ilustrada na Figura 5 uma lâmina 130, tal como uma lâmina de ventilador, que inclui uma ponta compatível. Mais especificamente, é ilustrada a lâmina 130, que tem um lado de pressão de lâmina 132, um lado de sucção de lâmina 134 e um lado de topo de lâmina 136. A lâmina 130 é configurada para
20 incluir uma ponta compatível 138, compreendida em um material compatível 140 que é disposto dentro de uma tampa de ponta 142, tal como uma tampa de ponta de metal, formada como parte da lâmina 130. O material compatível 140 é exposto no lado de topo de lâmina 136. A lâmina 130 é composta adicionalmente por um material de base 144, composto tipicamente de um
25 material compósito, tal como aqueles bem conhecidos na técnica. Conforme usado no presente documento, o termo "material compósito" se refere a um material que contém fibras de força alta em uma matriz de resina termoplástica ou termofixa. A lâmina 130 pode compreender adicionalmente uma borda

dianteira de metal 146, uma borda traseira híbrida 148, um revestimento de lado de pressão 150, e uma porção de corpo compósito 152.

É ilustrada na Figura 6 outra realização, ilustrando uma lâmina 160, tal como uma lâmina de ventilador, que inclui uma ponta compatível. Mais especificamente, é ilustrada a lâmina 160, que mostra um lado de pressão de lâmina 162, um lado de sucção de lâmina 164 e um lado de topo de lâmina 166. A lâmina 160 é configurada para incluir uma ponta compatível 138, compreendida em um material compatível 140. O material compatível 140 é exposto no lado de topo de lâmina 166, o lado de pressão de lâmina 162 e o lado de sucção de lâmina 164 ao longo de pelo menos uma porção do comprimento de aerofólio em uma direção no sentido da amplitude e ao longo de pelo menos uma porção do comprimento de corda de aerofólio em uma direção no sentido da corda. A lâmina 130 é composta adicionalmente por uma tampa de ponta 142, tipicamente composta por um material de metal e um material de base 144, tipicamente compreendida de um material compósito, tal como aqueles bem conhecidos na técnica. A lâmina 130 pode compreender adicionalmente uma borda dianteira de metal 146, uma borda traseira híbrida 148, um revestimento de lado de pressão 150, e uma porção de corpo compósito 152.

É ilustrada na Figura 7 ainda outra realização de uma lâmina 170, tal como uma lâmina de ventilador, que inclui uma ponta compatível. Mais especificamente, é ilustrada a lâmina 170, que mostra um lado de pressão de lâmina 172, um lado de sucção de lâmina 174 e um lado de topo de lâmina 176. A lâmina 170 é configurada para incluir uma ponta compatível 138, compreendida em um material compatível 140. O material compatível 140 é exposto no lado de topo de lâmina 176, o lado de pressão de lâmina 162 e o lado de sucção de lâmina 174 ao longo de pelo menos uma porção do comprimento de aerofólio em uma direção no sentido da amplitude e ao longo

de pelo menos uma porção do comprimento de corda de aerofólio em uma direção no sentido da corda. O material compatível 140 é coberto no lado de pressão de lâmina 172 por uma tampa de ponta 142, tipicamente composto por um material de metal. A lâmina 130 é composta adicionalmente por um material
5 de base 144, tipicamente composta por um material compósito, tal como aqueles bem conhecidos na técnica. A lâmina 130 pode compreender adicionalmente uma borda dianteira de metal 146, uma borda traseira híbrida 148, um revestimento de lado de pressão 150, e uma porção de corpo compósito 152.

10 Referindo-se agora às Figuras 8 a 13, são ilustradas em vistas laterais explodidas e vistas de extremidade seccional esquemática parcial uma pluralidade de configurações para um aerofólio com uma ponta compatível de acordo com realizações. Deveria ser compreendido que elementos similares têm números similares por todas as realizações reveladas.

15 É ilustrado nas Figuras 8 e 9 um aerofólio 180 que inclui uma ponta compatível 182. O aerofólio 180 é configurado geralmente semelhante ao aerofólio 160 da Figura 6 em que um material compatível 184 que forma a ponta compatível 182 é exposto em um lado de pressão 186, um lado de sucção 188 e em um lado de topo de lâmina 190. Na realização ilustrada, a
20 ponta compatível 182 e uma parte mais superior da porção de corpo 192 do aerofólio 180 são formadas tendo uma configuração de cooperação de lingueta na ranhura conforme melhor ilustrado na Figura 9 em uma vista de extremidade em corte transversal parcial. Mais especificamente, a ponta compatível 182 inclui uma porção inferior protuberante 194 que é configurado para assentar
25 dentro de uma ranhura 196 formada em uma borda mais superior 198 da porção de corpo 192 o aerofólio 180. A ponta compatível 182 pode ser formada de um material de poliuretano que quando posicionado em relação ao corpo do aerofólio 180 assenta no interior da ranhura 187 formada em um material

compósito que compreende o material de base do aerofólio 180. Tal configuração aumenta superfície de contato entre a ponta compatível 182 e o material de base subjacente, então aumenta a ligação entre esses componentes. Também é preferível da perspectiva de fabricação. É ilustrado nas Figuras 10 e 11 um aerofólio 200 que inclui uma ponta compatível 202. O aerofólio 200 é configurado geralmente semelhante ao aerofólio 160 da Figura 6 em que um material compatível 204 que forma a ponta compatível 202 é exposto em um lado de pressão 206, um lado de sucção 208 e em um lado de topo de lâmina 210. Na realização ilustrada, a ponta compatível 202 e uma parte mais superior da porção de corpo 212 do aerofólio 200 são formadas tendo uma configuração de cooperação de lingueta na ranhura conforme melhor ilustrado na Figura 11 em uma vista de extremidade em corte transversal parcial. Mais especificamente, a porção de corpo 212 do aerofólio 200 inclui uma borda protuberante 214 que é configurada para assentar dentro de uma ranhura 216 formada na ponta compatível 202. A ponta compatível 202 pode ser formada de um material de poliuretano que quando posicionado em relação ao corpo do aerofólio 200, assento na borda protuberante 214 formada em um material compósito que compreende o material de base do aerofólio 200. Semelhante à configuração supracitada, essa configuração fornece ligação aumentada entre ponta compatível 202 e material de base e pode ser preferencial a partir do ponto de vista de fabricação.

É ilustrado nas Figuras 12 e 13 um aerofólio 220 que inclui uma ponta compatível 222. O aerofólio 220 é configurado geralmente semelhante ao aerofólio 160 da Figura 6 em que um material compatível 224 que forma a ponta compatível 222 é exposto em um lado de pressão 226, um lado de sucção 228 e em um lado de topo de lâmina 230. Na realização ilustrada, a ponta compatível 222 e uma parte mais superior da porção de corpo 232 do aerofólio 200 são formados tendo uma configuração de cooperação de

lingueta na ranhura conforme melhor ilustrado na Figura 13 em uma vista de extremidade em corte transversal parcial, e geralmente configurada na mesma forma como a realização ilustrado nas Figuras 10 e 11. Em contraste à realização descrita previamente, nessa configuração particular, a parte mais superior da porção de corpo 232 do aerofólio 230 inclui uma borda protuberante 234 que enquanto configurada para assentar dentro de uma ranhura 236 formada na ponta compatível 222, é conformada para ter uma configuração de borda total semelhante àquela da ponta compatível 222, fornecendo uma borda traseira de ponta compatível 240 que é composta somente pelo material compatível, e portanto tendo respostas dinâmicas alteradas daquela ponta compatível 202 das Figuras 10 e 11. Conforme descrito previamente, a ponta compatível 232 pode ser formada de um material de poliuretano que quando posicionado em relação ao corpo do aerofólio 220, assenta na borda protuberante 234 formada em um material compósito que compreende o material de base do aerofólio 220. Enquanto essa configuração fornece o mesmo benefício na fabricação e capacidade de ligação como as duas configurações anteriores, tal transição gradual entre ponta compatível 222 e porção de corpo 232 garante tensões não elevadas na região de transição. Um aerofólio inclui uma ponta compatível configurada desta forma trata das aerodinâmicas instáveis que resultam em tensão de lâmina e cação de chicoteamento instável da borda traseira em resposta a um impacto de objeto estranho. Mais especificamente, o aerofólio inclui uma ponta compatível configurada conforme descrito no presente documento facilita uma redução em resposta de aerofólio instável do objeto estranho incidindo no aerofólio de modo que a tensão e propagação de ondas sejam facilitadas para serem reduzidas. Ao reduzir a tensão na borda traseira 116, e mais particularmente, no canto de borda traseira, a lâmina de ventilador é menos propensa a falha durante um evento de impacto. A redução na tensão no

aerofólio resultante de uma oscilação de borda traseira em resposta a um objeto estranho impingente a jusante e que através disso gera flutuações de pressão instáveis altas no aerofólio pode facilitar aprimoramento de desempenho de sistema de motor tal como reduzir o peso total dos aerofólios enquanto que fornece uma resposta mais robusta na borda traseira. Como um resultado, eficácia de motor e desempenho são facilitados em comparação a motores com o uso de aerofólios padrão sem uma ponta compatível. A redução na tensão de aerofólio e carregamento aeromecânico são alcançados sem um aumento no peso de palheta e lâmina, sem diminuir substancialmente desempenho aerodinâmico, e sem qualquer impacto de outra forma no sistema de motor total (comprimento, peso, estrutura, etc.).

As realizações exemplificativas de aerofólios que incluem lâminas de ventilador são descritas acima em detalhes. Os aerofólios não são limitados às realizações específicas descritas no presente documento, mas em vez disso, podem ser aplicados a qualquer tipo de aerofólio que são submetidos a impactos de objeto estranho, tal como uma lâmina de ventilador, estator, fuselagem, ou em fluxo de fluido instável. Os aerofólios descritos no presente documento podem ser usados em combinação com outros componentes de sistema de lâmina com outros motores.

Embora a revelação tenha sido ilustrada e descrita em realizações típicas, a mesma não destina-se a estar limitada aos detalhes mostrados, visto que várias modificações e substituições podem ser feitas sem sair em qualquer forma do espírito da presente revelação. Como tal, modificações adicionais e equivalentes da revelação no presente documento revelado podem ocorrer a pessoas versadas na técnica usando não mais que experimentação de rotina e acredita-se que todas tais modificações e equivalentes estão dentro do espírito e escopo da revelação conforme definido pelas reivindicações subsequentes.

REIVINDICAÇÕES

1. AEROFÓLIO (102), que compreende:

uma porção de raiz (106), uma porção de corpo (105) e uma porção de ponta (118), em que a porção de corpo (105) é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz (106) e em que a porção de ponta (118) é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz (106) e da porção de corpo (105);

um lado de sucção (111, 134) e um lado de pressão (113, 132) acoplados entre si em uma borda dianteira (114) e uma borda traseira (116) espaçados no sentido da corda e a jusante da borda dianteira (114); e

uma ponta compatível (120) que se estende ao longo de pelo menos uma porção da porção de ponta (118) em uma direção no sentido da corda e uma direção no sentido da amplitude,

em que a ponta compatível (118) é configurada para fornecer propagação de ondas ao longo da porção de ponta (118) de modo que tensão crítica próxima à porção de ponta (118) e à borda traseira (116) seja reduzida durante um impacto de objeto estranho.

2. AEROFÓLIO, de acordo com a reivindicação 1, em que a ponta compatível (118) é composta por um material compatível (122).

3. AEROFÓLIO, de acordo com a reivindicação 2, em que o material compatível (122) é pelo menos um dentre um poliuretano, uma poliureia, um fluoroelastômero (FPM), uma borracha de nitrila, borracha de monômero de etileno propileno dieno (EPDM) e um epóxi.

4. AEROFÓLIO, de acordo com a reivindicação 2, em que a ponta compatível (118) é composta por um material compatível (122) de modo que uma velocidade de onda que percorre, através disso, a ponta compatível (118) em resposta em um impacto de objeto estranho seja alterada por pelo menos duas vezes uma velocidade de onda que percorre através disso a

porção de corpo (105) do aerofólio (102).

5 5. AEROFÓLIO, de acordo com a reivindicação 1, em que o aerofólio (102) é um dentre uma lâmina de ventilador, uma lâmina de rotor, lâmina de ventilador canalizado, uma lâmina de ventilador não canalizado, ou uma lâmina de turbina eólica.

6. CONJUNTO DE VENTILADOR, que compreende:
um disco (42, 52); e
uma pluralidade de lâminas de ventilador (40, 50) acopladas ao disco (42, 52), sendo que cada lâmina dentre a pluralidade de lâminas de ventilador compreende:

15 uma porção de raiz (106), uma porção de corpo (105) e uma porção de ponta (118), em que a porção de corpo (105) é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz (106) e em que a porção de ponta (118) é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz (106) e da porção de corpo (105);

um lado de sucção (111) e um lado de pressão (113) acoplados entre si em uma borda dianteira (114) e uma borda traseira (116) espaçados no sentido da corda e a jusante da borda dianteira (114); e

20 uma ponta compatível (120) que se estende ao longo de pelo menos uma porção da porção de ponta (118) em uma direção no sentido da corda e uma direção no sentido da amplitude,

em que a ponta compatível (120) é configurada para fornecer propagação de ondas ao longo da porção de ponta (118) de modo que tensão crítica próxima à porção de ponta (118) e à borda traseira (116) seja reduzida durante um impacto de objeto estranho.

7. CONJUNTO DE VENTILADOR, de acordo com a reivindicação 6, em que cada lâmina de ventilador (40, 50) é configurada para facilitar uma redução na tensão na borda traseira (116) associada a um

impacto de objeto estranho.

8. MOTOR DE VENTILADOR (60), que compreende:

um motor de núcleo (70) eficaz para gerar gases de combustão que passam através de um trajeto de fluxo principal;

5 uma turbina de potência (84) atrás do motor de núcleo (70) e que inclui primeira e segunda fileiras de lâmina de turbina interdigitada contragiratória eficazes para girar um eixo de acionamento (56, 82);

uma seção de ventilador (78) na frente do motor de núcleo (70) que inclui uma fileira de lâmina de ventilador (80, 86) conectada ao eixo de
10 acionamento (82), sendo que a fileira de lâmina de ventilador (80, 86) inclui uma pluralidade de aerofólios (102), sendo que cada aerofólio (102) compreende:

uma porção de raiz (106), uma porção de corpo (105) e uma porção de ponta (118), em que a porção de corpo (105) é configurada se
15 estendendo radialmente para fora da porção de raiz (106) e em que a porção de ponta (118) é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz (106) e da porção de corpo (105);

um lado de sucção (111) e um lado de pressão (113) acoplados entre si em uma borda dianteira (114) e uma borda traseira (116) espaçados no
20 sentido da corda e a jusante da borda dianteira (114); e

uma ponta compatível (120) que se estende ao longo de pelo menos uma porção da porção de ponta (118) em uma direção no sentido da corda e uma direção no sentido da amplitude,

em que a ponta compatível (120) é configurada para fornecer
25 propagação de ondas ao longo da porção de ponta (118) de modo que tensão crítica próxima à porção de ponta (118) e à borda traseira (116) seja reduzida durante um impacto de objeto estranho.

9. MOTOR DE VENTILADOR, de acordo com a reivindicação

8, em que o aerofólio (102) é configurado para facilitar uma redução na tensão na borda traseira (116) associada a um impacto de objeto estranho.

10. MOTOR DE VENTILADOR, de acordo com a reivindicação 8, em que a ponta compatível (120) é composta por um material compatível (122) de modo que uma velocidade de onda que percorre, através disso, a ponta compatível (120) seja alterada por pelo menos duas vezes uma velocidade de onda que percorre, através disso, a porção de corpo (105) do aerofólio (120).

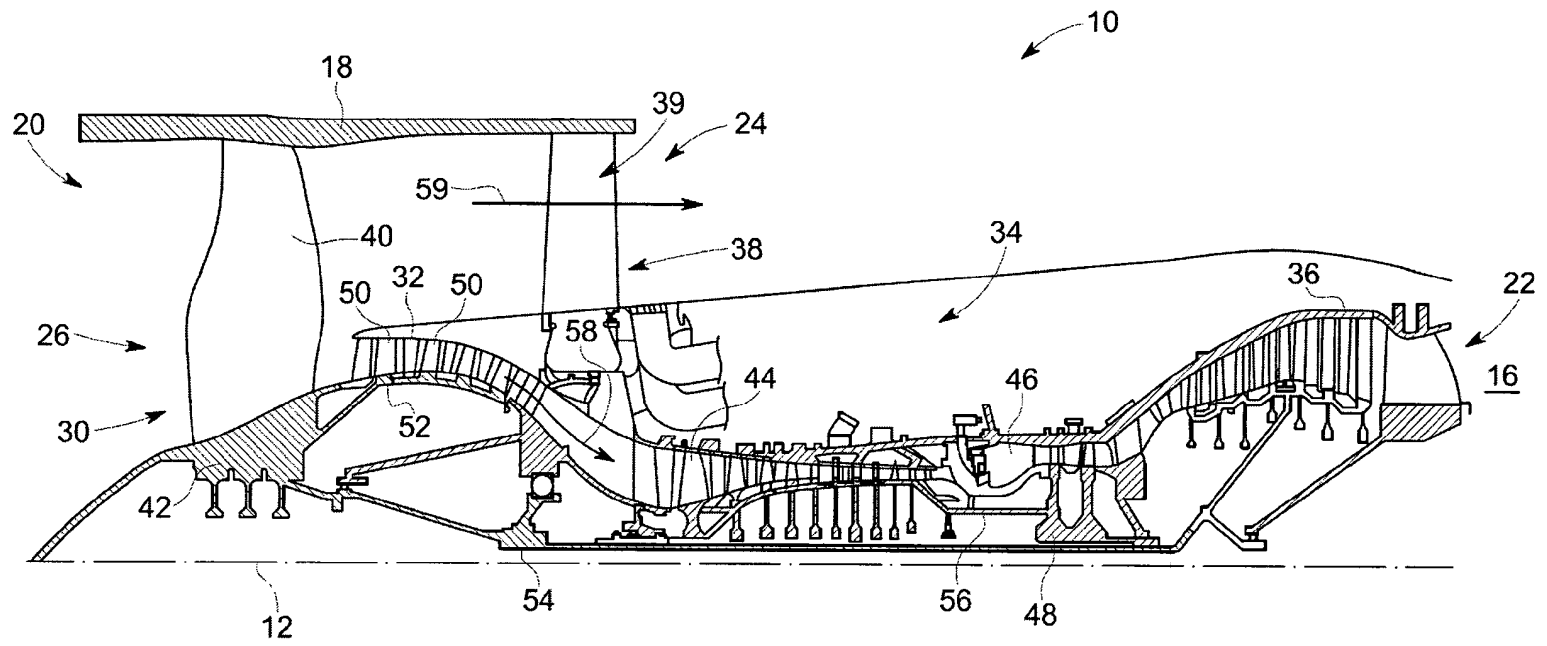


Fig. 1

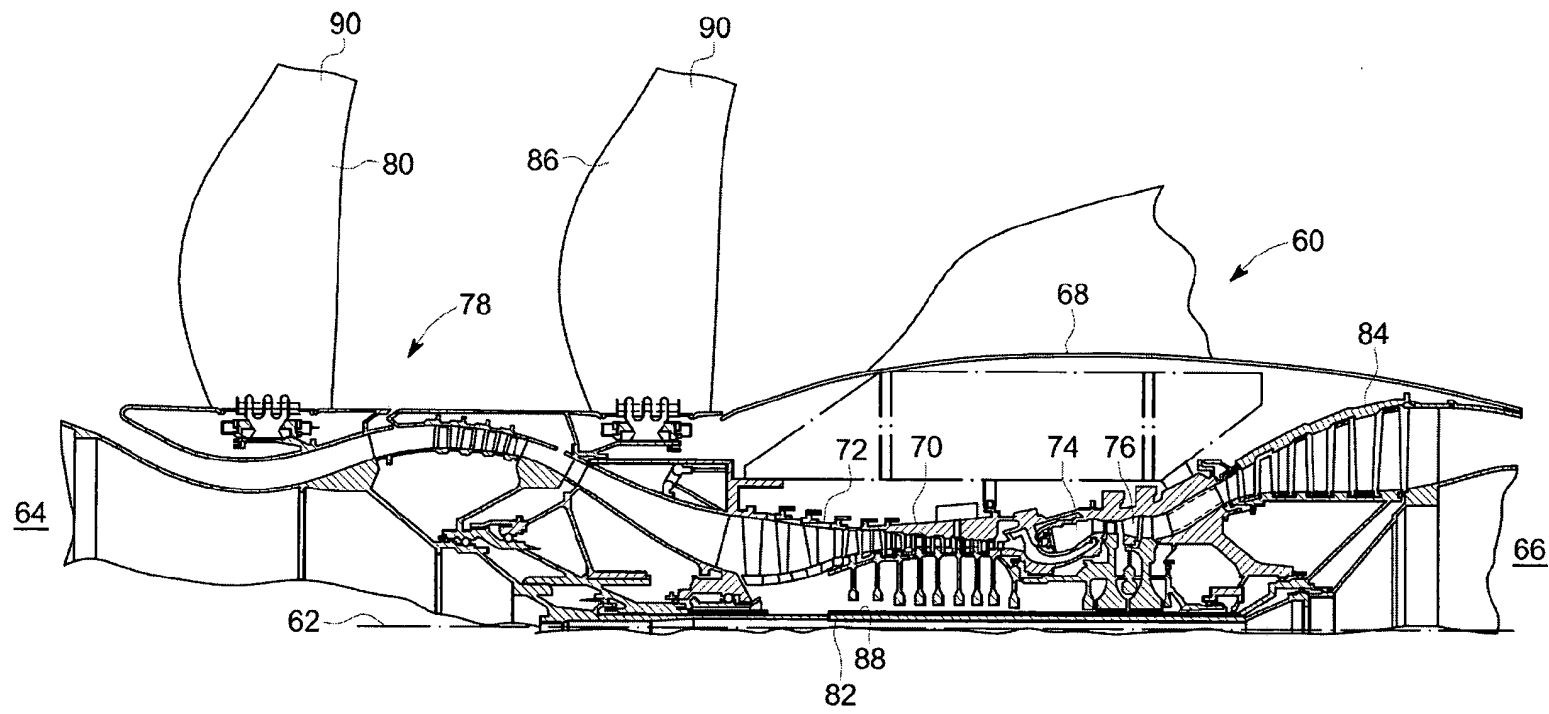


Fig. 2

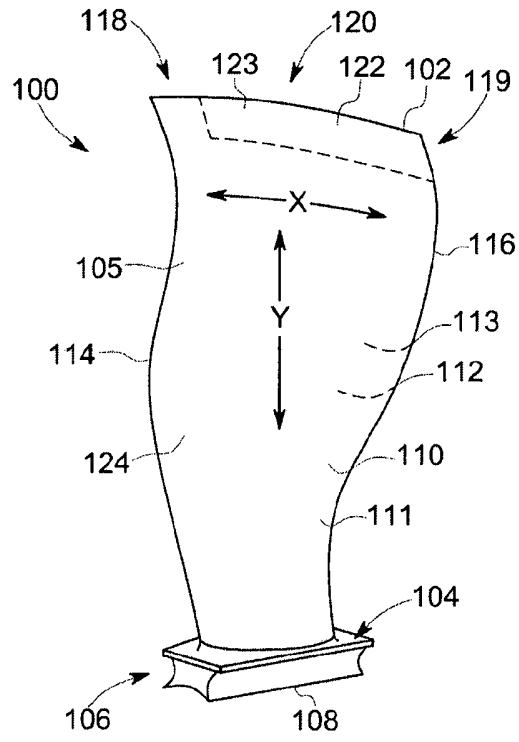


Fig. 3

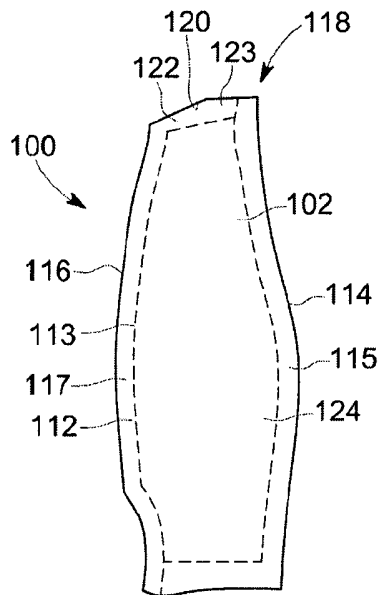


Fig. 4

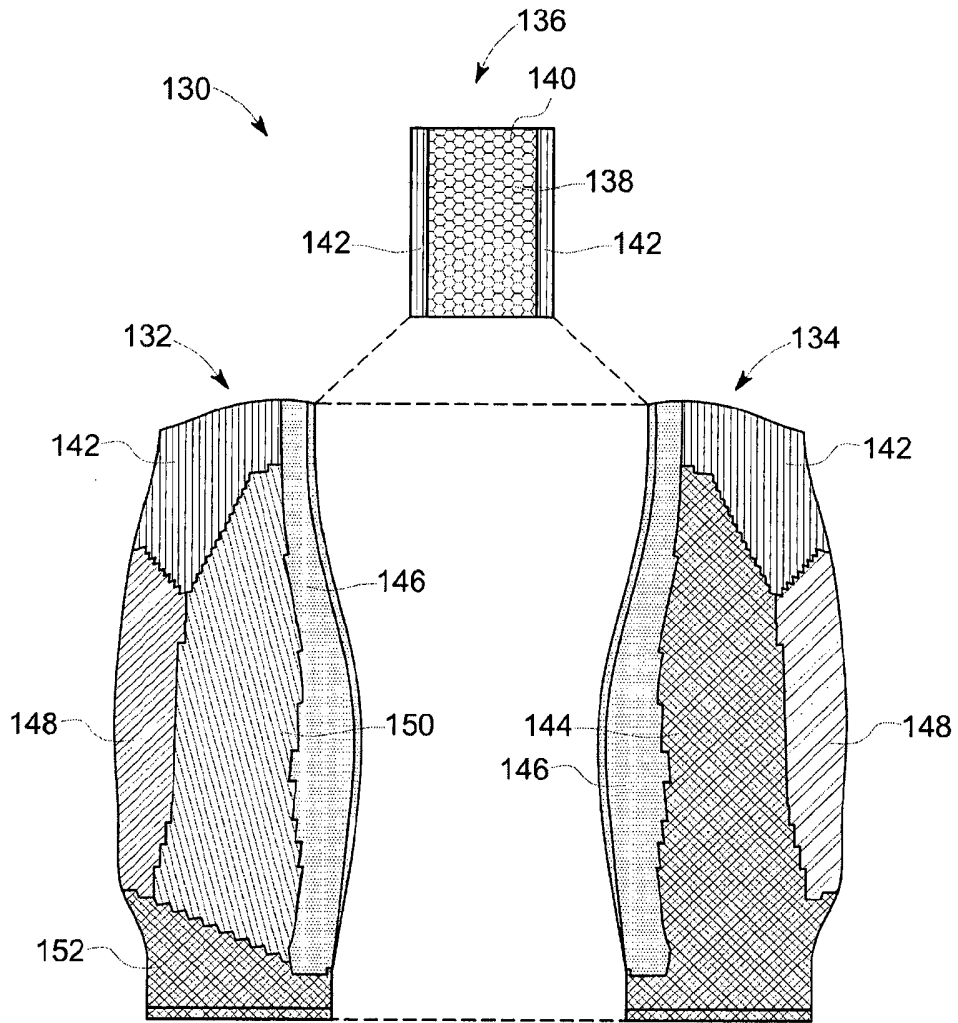


Fig. 5

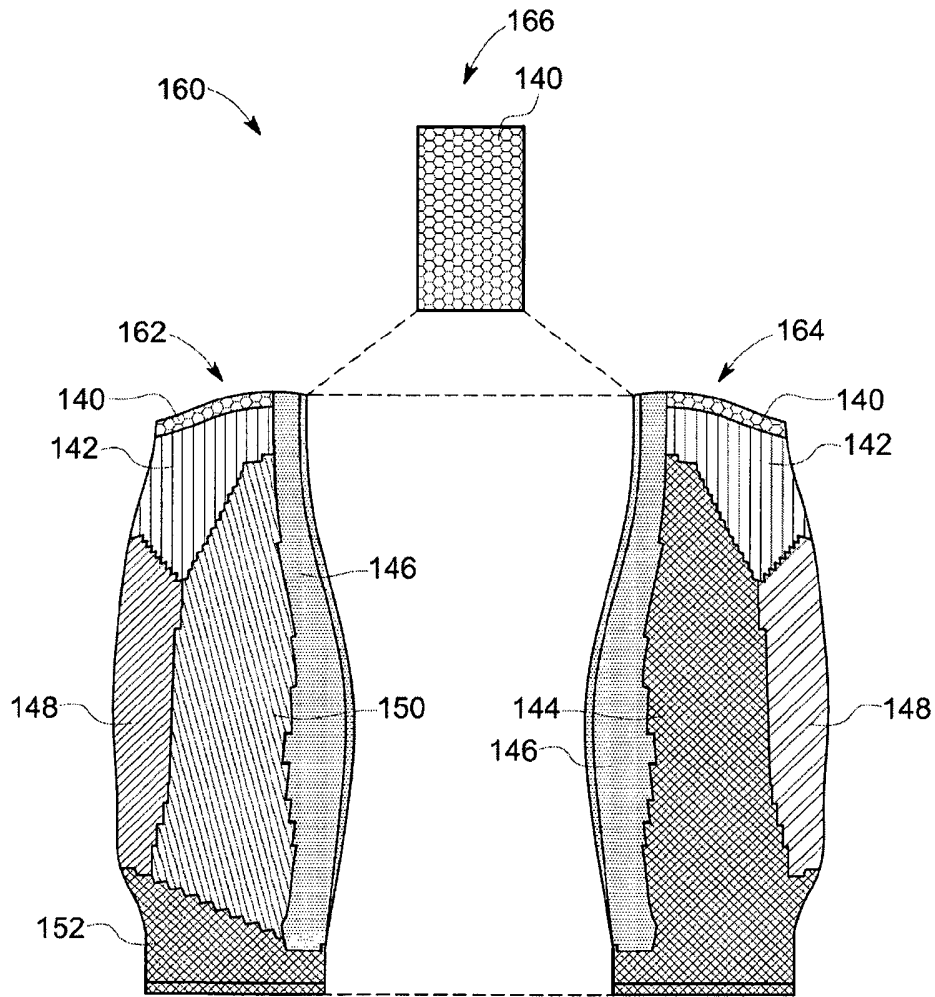
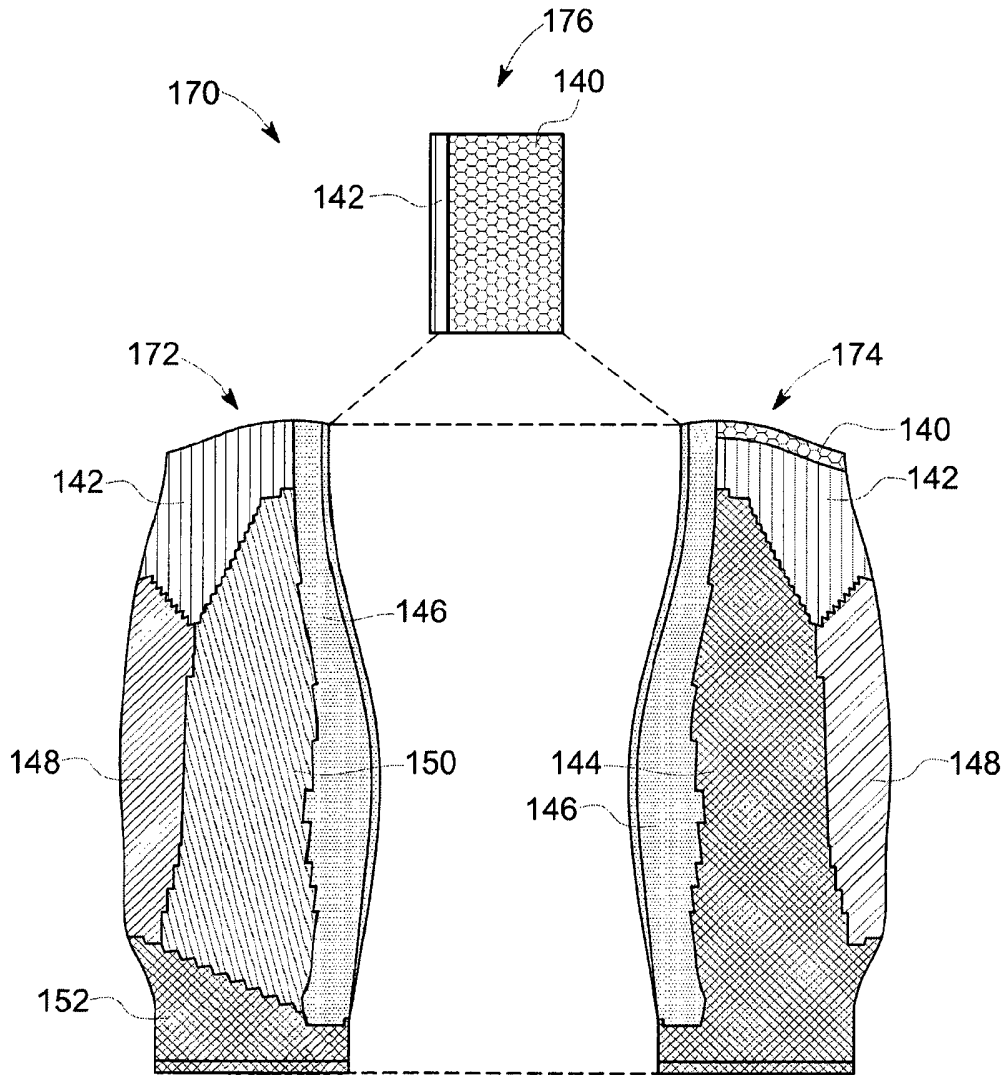


Fig. 6

**Fig. 7**

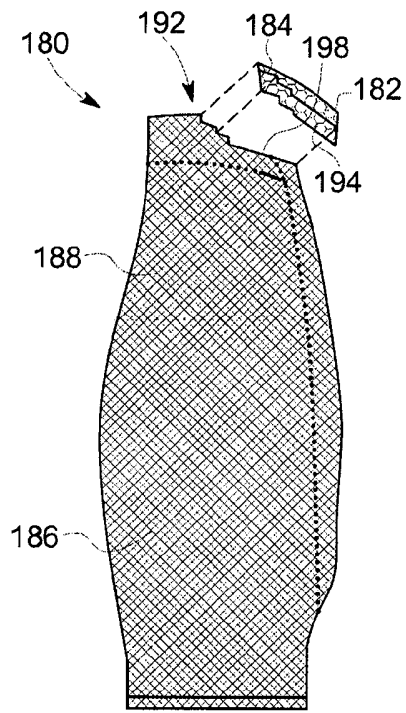


Fig. 8

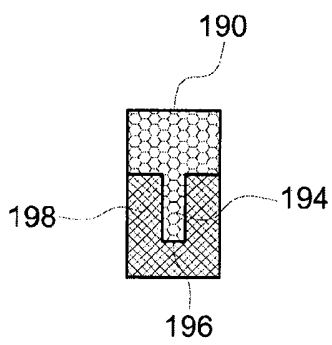


Fig. 9

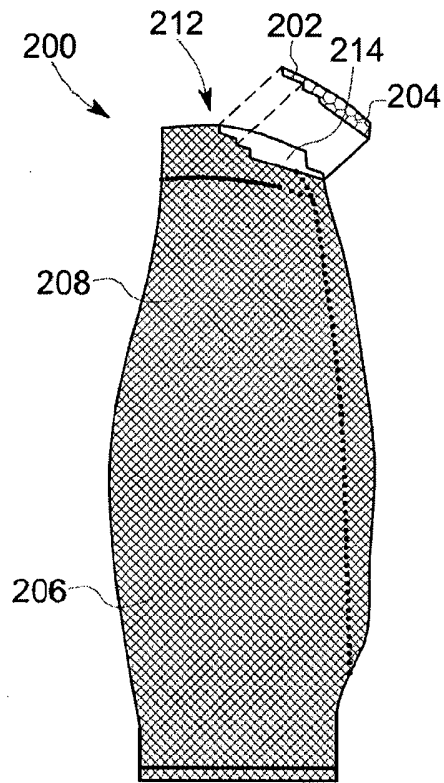


Fig. 10

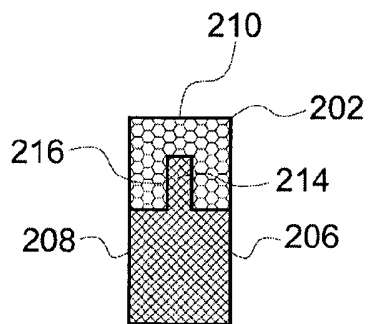


Fig. 11

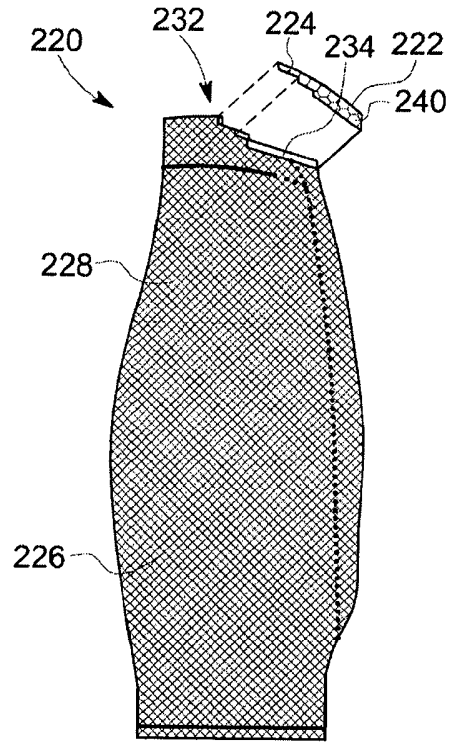


Fig. 12

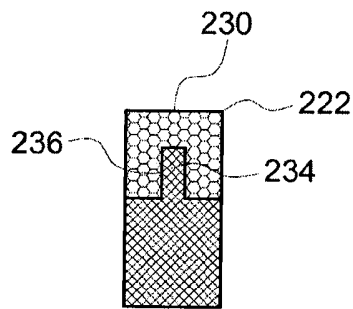


Fig. 13

RESUMO**“AEROFÓLIO, CONJUNTO DE VENTILADOR E MOTOR DE VENTILADOR”**

Trata-se de um aerofólio, um conjunto de ventilador e um motor que incluem pelo menos um aerofólio que inclui uma porção de raiz, uma porção de corpo e uma porção de ponta. A porção de corpo é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz e a porção de ponta é configurada se estendendo radialmente para fora da porção de raiz e da porção de corpo. O aerofólio inclui um lado de pressão e um de sucção acoplados entre si em uma borda dianteira e uma traseira e se estendendo entre os mesmos. O aerofólio inclui uma ponta compatível na porção de ponta. A ponta compatível se estende ao longo de pelo menos uma porção da porção de ponta em uma direção no sentido da corda e uma direção no sentido da amplitude. A ponta compatível é configurada para fornecer propagação de ondas ao longo da porção de ponta de modo que tensão crítica próxima à porção de ponta e à borda traseira seja reduzida durante um impacto de objeto estranho.