



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

(21) **PI0610650-1 A2**



\* B R P I O 6 1 0 6 5 0 A 2 \*

(22) Data de Depósito: 26/05/2006  
(43) Data da Publicação: 13/07/2010  
(RPI 2062)

(51) *Int.Cl.:*  
B64D 15/12  
H05B 3/34  
H05B 3/20  
B32B 5/12

(54) Título: **AQUECEDOR HÍBRIDO COMPOSTO CONDUTIVO/RESISTIVO SUSCETÍVEL DE DEFORMAÇÃO PARA DISPOSITIVO ANTIGELO TÉRMICO**

(30) Prioridade Unionista: 27/05/2005 US 60/684,984

(73) Titular(es): BELL HELICOPTER TEXTRON INC

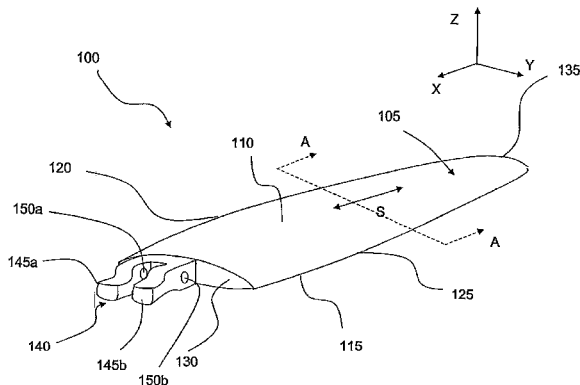
(72) Inventor(es): PAUL K. OLDROYD

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT US2006020377 de 26/05/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2006/130454 de 07/12/2006

(57) Resumo: Patente de Invenção: AQUECEDOR HÍBRIDO COMPOSTO CONDUTIVO/ RESISTIVO SUSCETÍVEL DE DEFORMAÇÃO PARA DISPOSITIVO ANTI- GELO TERMICO. A presente invenção refere-se a uma pá de rotor de um helicóptero. Em uma modalidade, a pá de rotor inclui um corpo; e uma capa de aquecimento disposta no corpo e configurada para fornecer calor para o referido corpo. A capa de aquecimento inclui uma primeira pluralidade de fibras e uma segunda pluralidade de fibras conectada eletricamente a primeira pluralidade de fibras. A primeira pluralidade de fibras define um ângulo positivo menor do que aproximadamente +45° relativo a uma primeira direção perpendicular a uma direção longitudinal do corpo. A segunda pluralidade de fibras define um ângulo negativo maior do que aproximadamente -45° relativo à primeira direção.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**AQUECEDOR HÍBRIDO COMPOSTO CONDUTIVO/RESISTIVO SUSCETÍVEL DE DEFORMAÇÃO PARA DISPOSITIVO ANTIGELO TÉRMICO**".

Informação de Prioridade

5 Este pedido reivindica prioridade do pedido de patente provisório número de série 60/684.984 depositado em 27 de maio de 2005, cujo teor é incorporado na presente invenção a título de referência na íntegra.

Antecedentes da Invenção

1. Campo da Invenção

10 A presente invenção refere-se a um dispositivo de degelo e anti-gelo para estruturas sujeitas à alta deformação e, mais particularmente, a um dispositivo para remover gelo e evitar a formação de gelo em uma pá de rotor de um helicóptero.

2. Descrição da técnica relacionada

15 A aeronave, durante o voo e/ou enquanto no solo, pode encontrar condições atmosféricas que causam a formação de gelo em aerofólios e outras superfícies da estrutura da aeronave, incluindo asas, estabilizadores, leme, ailerons, entradas de motor, hélices, fuselagem e similares. A acumulação de gelo, se não removido, pode acrescentar peso excessivo à aeronave e alterar a configuração do aerofólio, causando condições de voo perigosas e/ou indesejáveis. Aeronaves da aviação em geral são particularmente suscetíveis às conseqüências prejudiciais da formação de gelo porque somente pequenas quantidades de gelo em membros estruturais, tais como  
20 asas, cauda, hélices, e similares, podem alterar significativamente as características do voo.

25 Dispositivos antigelo e de degelo incluindo elementos aquecidos por resistência são comumente usados para evitar a formação de gelo e remover gelo nas pás de rotor de um helicóptero. Os elementos aquecidos por resistência geralmente consistem em elementos de fio ou material de capa  
30 de carbono feito ao acaso. Como a fabricação de elementos de fio é de mão-de-obra intensiva, dispendiosa, sensível ao operador e propensa a curtos-circuitos e falha elétrica, o uso de um material de capa de carbono feito ao

acaso tem sido usado tipicamente. Estes elementos aquecidos por resistência são usualmente dispostos ao longo da envergadura das pás com caminhos de retorno para a corrente elétrica de modo a retornar a corrente elétrica do exterior para o interior das pás. Os caminhos de retorno são conectados a uma alimentação de energia e um mecanismo de controle de realimentação é usado para ajustar a corrente elétrica que circula pelos elementos aquecidos por resistência.

Embora um material de capa de carbono feito ao acaso ofereça distribuição de calor uniforme, maleabilidade e seja fácil de fabricar, este material não é altamente tolerante a deformação. Portanto, seu uso em um ambiente de alta deformação pode ser preocupante. Por exemplo, aeronaves com rotor inclinado têm a flexibilidade ímpar para decolar e aterrissar como um helicóptero, e ainda voar a velocidades e altitudes como uma asa fixa de turboélice. A aeronave Bell V22 e a aeronave Bell Augusta BA 609 são exemplos de tais aeronaves de rotor inclinado. Estas aeronaves versáteis usam pás de rotor que são muito mais grossas do que helicópteros convencionais. Como resultado, a deformação induzida pela oscilação das pás é muito mais alta do que em helicópteros convencionais. Em tal ambiente de alta deformação, um material de capa de carbono feito ao acaso pode se deteriorar rapidamente.

Tendo capacidade de cruzeiro 7620 metros (25.000 pés), isto é, muito além da cobertura de um helicóptero convencional, as aeronaves de rotor inclinado devem, entretanto, ser certificadas para voar em condições geladas e climas extremos, do Ártico ao deserto.

## 25 Sumário da Invenção

Modalidades da invenção incluem uma pá de rotor de um helicóptero incluindo um corpo; e uma capa de aquecimento disposta no corpo e configurada para fornecer calor para o corpo, a capa de aquecimento incluindo uma primeira pluralidade de fibras e uma segunda pluralidade de fibras conectadas eletricamente à primeira pluralidade de fibras. A primeira pluralidade de fibras define um ângulo positivo menor do que aproximadamente  $+45^\circ$  em relação a uma primeira direção perpendicular a uma direção longi-

tudinal do corpo. A segunda pluralidade de fibras define um ângulo negativo maior do que aproximadamente  $-45^\circ$  em relação à primeira direção.

Em outra modalidade da invenção, é fornecido um dispositivo de aquecimento para suprir calor para uma pá de rotor de um helicóptero, o dispositivo de aquecimento incluindo uma capa de aquecimento disposta na pá do rotor. A capa de aquecimento inclui uma primeira pluralidade de fibras e uma segunda pluralidade de fibras eletricamente conectada a primeira pluralidade de fibras. A primeira pluralidade de fibras define um ângulo positivo menor do que aproximadamente  $+45^\circ$  em relação a uma primeira direção perpendicular a uma direção longitudinal da pá do rotor. A segunda pluralidade de fibras define um ângulo negativo maior do que aproximadamente  $-45^\circ$  em relação à primeira direção.

Ainda em uma outra modalidade da invenção, é fornecida uma pá de rotor de um helicóptero incluindo um corpo; e uma capa de aquecimento disposta no corpo e configurada para suprir calor para o corpo. A capa de aquecimento inclui um tecido formado com feixes de fibras condutoras orientadas em uma primeira direção e feixes de fibras condutoras orientadas em uma segunda direção. A primeira direção define um ângulo positivo menor do que aproximadamente  $+45^\circ$  em relação a uma direção perpendicular a uma direção longitudinal do corpo. A segunda pluralidade de fibras define um ângulo negativo maior do que aproximadamente  $-45^\circ$  em relação a uma direção perpendicular a uma direção longitudinal do corpo.

Em uma modalidade da invenção, é fornecida uma estrutura sujeita a alta deformação incluindo um corpo; e uma capa de aquecimento disposta no corpo e configurada para fornecer calor para o corpo. A capa de aquecimento inclui uma primeira pluralidade de fibras e uma segunda pluralidade de fibras eletricamente conectadas a primeira pluralidade de fibras. A primeira pluralidade de fibras define um ângulo positivo menor do que aproximadamente  $+45^\circ$  em relação a uma primeira direção perpendicular a uma direção longitudinal do corpo, a segunda pluralidade de fibras define um ângulo negativo maior do que aproximadamente  $-45^\circ$  em relação à primeira direção.

### Breve Descrição dos Desenhos

As modalidades da invenção serão agora descritas, para exemplo somente, em relação aos desenhos que as acompanham, nos quais símbolos de referência correspondentes indicam partes correspondentes, e nos quais:

5 A figura 1 é uma representação esquemática de uma pá de rotor de um helicóptero de acordo com a modalidade da invenção;

A figura 2 mostra uma vista superior de várias pás de rotores substancialmente idênticas montadas no conjunto de mastro do rotor de um helicóptero de acordo com uma modalidade da invenção;

10 A figura 3 mostra uma seção transversal AA da pá do rotor de acordo com uma modalidade da invenção;

A figura 4 mostra um dispositivo de aquecimento de acordo com uma modalidade da invenção;

15 A figura 5 mostra uma vista superior da capa de aquecimento usada no dispositivo de aquecimento da figura 4;

As figuras 6a-c mostram a deformação da capa de aquecimento da figura 5 durante a oscilação das pás;

20 As figuras 7a-b mostram folhas de fibras unidirecionais que são usadas para fabricar a capa de aquecimento da figura 5;

A figura 7c mostra uma fita de duas camadas que é feita com as folhas de fibra unidirecionais das figuras 7a-b, de acordo com uma modalidade da invenção;

25 A figura 8 mostra uma fita de duas camadas de acordo com uma modalidade da invenção;

A figura 9 mostra um feixe de fibras de acordo com uma modalidade da invenção;

A figura 10 mostra um tecido tecido de feixes de fibras de acordo com uma modalidade da invenção; e

30 A figura 11 mostra uma seção transversal de uma pá de rotor de acordo com uma modalidade da invenção.

### Descrição Detalhada das Modalidades da Invenção

A figura 1 é uma representação esquemática de uma pá de rotor 100 de um helicóptero (não mostrado) de acordo com uma modalidade da invenção. A pá do rotor 100 inclui um corpo 105 tendo uma face de sucção 110 e uma face de pressão 115 oposta à face de sucção 110. A pá de rotor 100 também inclui uma borda de entrada 120, uma borda posterior 125 e uma extremidade interna e uma externa 130, 135. A borda de entrada 120 e a borda posterior 125 definem o contorno longitudinal do corpo 105 e estendem-se entre a extremidade interna 130 e a extremidade externa 135. O corpo 105 da pá do rotor 100 tem um perfil cônico, como é visto no plano XZ, ao longo da direção longitudinal da pá 100 que se estende da extremidade interna 130 para a extremidade externa 135. Em uma modalidade, a extremidade interna 130 é de aproximadamente 25,4 - 38,1 cm (10-15 polegadas) de espessura. Na sua porção do meio, a espessura da pá do rotor 100 é de aproximadamente 12,7 - 15,24 cm (5-6 polegadas).

Como é conhecido na técnica, quando a pá do rotor 100 é movida através do ar, uma corrente de ar flui sobre a superfície de sucção 110 e embaixo da superfície de pressão 115. A pá do rotor 100 é projetada para que o fluxo de ar seja suave e se conforme ao formato da pá do rotor em movimento 100. Quando a pá do rotor 100 é colocada no ângulo adequado e se move rápido o suficiente, o fluxo de ar sustenta o peso da pá do rotor 100 e fornece uma força para cima que fornece sustentação suficiente para manter o helicóptero em voo.

A extremidade interna 130 inclui um dispositivo de fixação 140 para montar o corpo 105 da pá do rotor 100 em um mastro rotor 205 de um helicóptero (veja figura 2). Especificamente, o dispositivo de fixação 140 inclui um primeiro e um segundo braços geralmente paralelos 145a, 145b cada um deles equipado com uma abertura cilíndrica 150a, 150b.

A figura 2 mostra uma vista superior de várias pás de rotor substancialmente idênticas 100, 101, 102, 103 montadas no conjunto de mastro do rotor 200 de um helicóptero de acordo com uma modalidade da invenção. Para evitar redundância, a discussão aqui enfocará a fixação da pá do rotor

100, já que as fixações das outras pás de rotor 101, 102 e 103 para o conjunto do mastro do rotor 200 são substancialmente idênticas.

O conjunto do mastro do rotor 200 inclui o mastro do rotor 205, um cubo do rotor 210 e uma pluralidade de porções receptoras de pás 215a-  
5 d. O cubo do rotor 210 é montado de forma deslizante no mastro do rotor 205 e inclui em uma periferia do mesmo a pluralidade de porções receptoras de pás 215a-d. Como pode ser visto na figura 2, os braços geralmente paralelos 145a, 145b da pá do rotor 100 são engatados na porção receptora de pá 215a. A pá do rotor 100 é presa ao conjunto de mastro do rotor 200 por  
10 meio de um eixo 220a que é inserido nas aberturas cilíndricas 150a, 150b.

Nesta modalidade, o conjunto de mastro do rotor 200 é configurado para receber quatro pás de rotor substancialmente idênticas. Esta configuração da pá do rotor pode ser usada em uma aeronave de rotor inclinado como a aeronave Bell V22 e a Bell Augusta BA609, mas não limitada a tais  
15 aeronaves. Será observado que o conjunto de mastro do rotor 200 pode ser configurado para receber pás de rotor adicionais ou em menor quantidade em outras modalidades.

A pá do rotor 100 é feita de um material que é configurado para suportar ambientes de alta deformação. Tais ambientes de alta deformação  
20 são geralmente alcançados durante a oscilação das pás. Oscilação das pás refere-se convencionalmente ao movimento para cima e para baixo da extremidade externa 135 do corpo 105 durante a rotação da pá do rotor 100. O movimento para cima e para baixo da extremidade externa 135 alternativa-  
mente coloca a face de sucção 110 e a face da pressão 115 em tensão e em  
25 compressão. A oscilação das pás pode ser alcançada em vários modos de operação de um helicóptero incluindo, por exemplo, modo de alta velocidade, manobra em alta velocidade ou partida de salto.

A direção de deformação exercida no corpo 105 da pá do rotor 100 durante a oscilação da pá é orientada na direção longitudinal do corpo  
30 105 e identificada por "S" na figura 1. Em ambientes de alta deformação, como aqueles alcançados com aeronaves de rotor inclinado, é desejável que os materiais das pás sejam capazes de suportar valores de deformação de

aproximadamente 152,4 até aproximadamente 203,2 metro/metro (6000 até aproximadamente 8000  $\mu$ polegadas/polegada) de deformação. Tais valores indicam que os materiais das pás são configurados para se estenderem até 203,2 metros (8000 micro-polegadas por polegada) de estrutura sem quebrar. Estes valores de deformação são muitos mais altos do que aqueles tipicamente alcançados com helicópteros convencionais devido ao fato de que as pás de rotor inclinado são muito mais pesadas e giram muito mais rápido. Geralmente, o ar fluindo acima de uma pá de rotor inclinado é aproximadamente 200 milhas mais rápido do que em um helicóptero convencional. Tal velocidade alta do fluxo de ar aumenta significativamente as cargas exercidas no corpo 105 da pá do rotor 100. Como consequência, as pás do rotor inclinado são geralmente feitas muito mais rígidas para serem capazes de reagir a tais cargas. Tipicamente, valores de deformação em aeronaves de rotor inclinado são aproximadamente quatro vezes mais altos do que aqueles obtidos com um helicóptero convencional.

A pá do rotor 100 pode ser uma estrutura composta que pode ser fabricada usando técnicas de fabricação conhecidas na técnica. Os materiais que podem ser usados em uma modalidade para fabricar a pá do rotor 100 incluem, por exemplo, resina epóxi e fibra de vidro. Como é conhecido na técnica, estruturas de fibra de vidro são colocadas em um molde e impregnadas com resina. A resina é então polimerizada para formar a estrutura composta.

A figura 3 mostra uma seção transversal AA da pá do rotor 100 (porção do meio como mostrado na figura 1) de acordo com uma modalidade da invenção. A figura 3 mostra a face de sucção 110, a face de pressão 115, a borda de entrada e a borda posterior 125. A borda de entrada 120 da pá do rotor 100 se curva em direção à borda posterior 125 com um formato que é, por exemplo, parabólico. A distância máxima (identificada como "D" na figura 3) entre a face de sucção 110 e a face de pressão 115 é de aproximadamente 15,24 cm (seis polegadas) em uma modalidade da invenção.

Capacidades de degelo e antigelo são providas para a pá do rotor 100 com um dispositivo de aquecimento 300 que é alojado dentro do

corpo 105. O dispositivo de aquecimento 300 tem a forma de uma capa de aquecimento composta contínua 301 que envolve a borda de entrada 120 e porções da superfície de sucção e de pressão 110, 115. Especificamente, o dispositivo de aquecimento 300 cobre substancialmente uma primeira região 305 da superfície de sucção 110 e uma segunda região 310 da superfície de pressão 115. As primeira e segunda regiões 305 e 310 representam aproximadamente um quarto da superfície total coberta pelas superfícies de sucção e de pressão 110, 115. Tal cobertura de superfície fornece capacidades de degelo e antigelo suficientes. Experiências mostraram que o gelo provavelmente se forma nas porções 305, 310 da pá do rotor 100. Será observado que a capa de aquecimento 301 pode ser feita maior ou menor em outras modalidades da invenção. Além do mais, a cobertura da superfície da primeira região 305 pode ser diferente daquela da segunda região 310.

O dispositivo de aquecimento 300 inclui uma primeira e uma segunda extremidade 315, 320 que são conectadas a uma alimentação de energia elétrica 325 disposta no helicóptero (não mostrado) por meio de cabos 330, 335. Para assegurar boa conexão elétrica entre os cabos 330, 335 e as primeira e segunda extremidades 315, 320 do dispositivo de aquecimento 300, telas metálicas 340, 345 podem ser usadas. As telas metálicas 340, 345 são dispostas e dobradas ao longo da primeira e segunda extremidades 315, 320 para envolver os cabos condutores 330, 335 e cobrir as duas faces 350a, 350b da capa de aquecimento 301, como mostrado na figura 4. Tal preparação pode ser vista na figura 4, que representa uma vista em perspectiva do dispositivo de aquecimento 300.

A capa de aquecimento 301 pode ser configurada para dissipar calor a uma densidade de energia superficial na faixa de aproximadamente 12000 até aproximadamente 30000 w/m<sup>2</sup> (12 até aproximadamente 30 W/polegada<sup>2</sup> sobre a primeira e segunda regiões 305, 310, em uma modalidade da invenção.

A figura 4 mostra em maiores detalhes a preparação da capa de aquecimento composta 301, cabos 330, 335 e telas metálicas 340, 345. A capa de aquecimento 301 inclui uma pluralidade de fibras orientadas especi-

ficamente 400 que são preparadas para permitir deformação em uma direção e para carregar corrente fornecida pela fonte de energia elétrica 325. Em uma modalidade, as fibras são feitas de carbono e a capa de aquecimento 301 é capaz de suportar valores de deformação de aproximadamente 6000  
5 até aproximadamente 0,203 mm/metro (8000  $\mu$ polegada/polegada) de deformação. Em outra modalidade da invenção, as fibras 400 podem incluir boro ou alumínio. As telas metálicas 340, 345 envolvem os cabos 330, 335 e cobrem as duas faces 350a, 350b da capa de aquecimento para que a corrente elétrica I fornecida, por exemplo, para o cabo 330 possa circular para a  
10 capa de aquecimento 301 e possa, então, retornar para o cabo 335. A capa de aquecimento 301 atua como uma matriz resistiva que dissipa calor.

A capa de aquecimento 301 pode incluir várias camadas de fibras (não mostradas na figura 4), como é explicado em mais detalhes abaixo. Cada camada de fibras pode incluir uma pluralidade de fibras individuais  
15 ou uma pluralidade de feixes de fibras. As camadas de fibras podem ser colocadas umas sobre as outras para formar a capa de aquecimento 301. A capa de aquecimento 301 pode ser integrada com a pá do rotor 100 da seguinte maneira: a capa de aquecimento 301 pode ser colocada em um substrato pré-fabricado de epóxi/fibra de vidro, então, coberta com fibra de vidro  
20 e, subsequentemente, impregnada com resina. A resina pode ser polimerizada para formar a estrutura composta final.

Como é mais bem visto na figura 5, que mostra uma vista superior BB do dispositivo de aquecimento 300, a capa de aquecimento 301 inclui uma primeira pluralidade 505 de fibras geralmente paralelas 400 orientadas  
25 em uma direção positiva (identificada como "+" na figura 5) e uma segunda pluralidade 510 de fibras geralmente paralelas 400 orientadas em uma direção negativa (identificada como "-" na figura 5). As direções positiva e negativa são orientadas em relação a direção (identificadas como "PP" na figura 5) substancialmente perpendicular a direção de deformação S. Cada fibra  
30 400 da primeira pluralidade de fibras 505 define um ângulo positivo  $\alpha_1$  com a direção perpendicular a direção de deformação S. Inversamente, cada fibra 400 da segunda pluralidade de fibras geralmente paralelas 510 define um

ângulo negativo  $\alpha_2$  com a direção perpendicular a direção de deformação S. Em uma modalidade da invenção, o valor absoluto do ângulo positivo  $\alpha_1$  pode ser substancialmente o mesmo que o valor absoluto do ângulo negativo  $\alpha_2$ . A orientação da primeira e da segunda pluralidade de fibras condutoras 505, 510 é menos do que aproximadamente  $\pm 45^\circ$  relativos à direção perpendicular à direção de deformação S (isto é,  $\alpha_1 < +45^\circ$  e  $-45^\circ < \alpha_2$ ). Em uma outra modalidade da invenção, a primeira e segunda pluralidade de fibras 505, 510 pode ser orientada na faixa de aproximadamente  $\pm 2^\circ$  até aproximadamente  $\pm 25^\circ$  relativos à direção perpendicular à direção de deformação S (isto é,  $+2^\circ < \alpha_1 < +25^\circ$  e  $-25^\circ < \alpha_2 < -2^\circ$ ). Na capa de aquecimento 301 da figura 4, o número de fibras orientadas na direção positiva é substancialmente o mesmo que o número de fibras orientadas na direção negativa. Entretanto, será avaliado que as capa de aquecimento 301 podem incluir mais fibras dispostas na direção positiva do que na relativa direção negativa, e vice-versa.

A orientação das fibras 400 em um ângulo menor do que aproximadamente  $\pm 45^\circ$  relativos à direção perpendicular à direção de deformação S fornece uma capa de aquecimento 301 que inclui uma pluralidade de trapezóides 600 de fibras condutoras 400, como mostrado na figura 5. Tal disposição de fibras pode ser capaz de aumentar significativamente a resistência da capa de aquecimento 301 à deformação S durante a oscilação das pás.

A figura 6a mostra um trapezóide 600 formado dentro da capa de aquecimento 301. Na figura 6a, a deformação exercida na pá do rotor 100 é substancialmente zero. O trapezóide 600 está localizado na superfície de sucção 110 da pá do rotor 100, como mostrado na figura 4. O trapezóide 600 é definido com uma primeira, uma segunda, uma terceira e uma quarta fibra 605a-d. A primeira, segunda, terceira e quarta fibras 605a-d são cada uma revestidas com um elemento condutor, como níquel ou níquel-cádmio, e são conectadas eletricamente uma à outra em locações 610a-d. Os ângulos definidos pelas fibras 400 em relação à direção perpendicular à direção de deformação S são denotados por  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  na figura 6a. A deformação S supor-

tada pelo trapezóide 600 é função de  $\cos \alpha_1$  e  $\cos \alpha_2$ .

A espessura das fibras 400 e a distância entre as fibras 400 da capa de aquecimento 301 podem ser mudadas dependendo da densidade de energia desejada e da deformação S exercida sobre a pá do rotor 100.

5 Em uma modalidade, os diâmetros das fibras podem estar na faixa de aproximadamente  $5\mu\text{m}$  até aproximadamente  $8\mu\text{m}$ . A distância separando as fibras 605b-605d e 605a-605c pode variar de aproximadamente o diâmetro da fibra a aproximadamente 50-100 diâmetros da fibra até 1000-12000 diâmetros da fibra. Em uma modalidade, o trapezóide 600 pode ser de aproxima-

10 damente  $0,397\text{ mm}$  ( $1/64$  de uma polegada) transversalmente até aproximadamente  $0,159\text{ cm}$  ( $1/16$  de uma polegada) transversalmente, conforme medido entre as locações 610b-610d.

O trapezóide 600 é configurado para corte aberto e fechado quando sujeito a deformação S. Especificamente, quando a superfície de

15 sucção 110 da pá do rotor 100 está em compressão, o trapezóide 600 se retrai ao longo da direção de deformação S e expande ao longo da direção perpendicular à direção de deformação, como mostrado na figura 6b. Inversamente, quando a superfície de sucção 110 da pá do rotor 100 está em

20 tensão, o trapezóide 600 se expande ao longo da direção de deformação S e se retrai ao longo da direção perpendicular a direção de deformação S, como mostrado na figura 6c. Com tal disposição de fibra, as fibras 400 podem suportar altos valores de deformação se aproximando de  $0,254\text{ mm/m}$  ( $10.000\ \mu\text{polegada/polegada}$ ) mesmo quando carbono é usado. Nas figuras

25 6b-c, as fibras 605b-605d e 605a-605c são carregadas em dobramento, não em tensão.

A construção da capa de aquecimento 301 será agora descrita em relação às figuras 7-10.

Em uma primeira implementação mostrada nas figuras 7a-c, a capa de aquecimento pode ser montada com pelo menos duas folhas de

30 fibra de carbono unidirecional 705,710. Cada folha de fibra de carbono 705, 710 inclui um substrato de resina 715a, 715b, no qual uma pluralidade de fibras geralmente paralelas 400 é preparada. Na figura 7a, as fibras de car-

bono 400 são preparadas sobre o substrato de resina 715a e na figura 7b as fibras de carbono 400 são preparadas sob o substrato de resina 715b. Em cada folha 705, 710, a pluralidade de fibras 400 é co-planar. Cada folha 705,710 corresponde a uma camada na qual as fibras 400 são orientadas em relação à direção perpendicular a direção de deformação S com um ângulo  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  ( $\theta = \alpha_1 + \alpha_2$ ). Cada folha de fibra unidirecional 705,710, ou camada, é coberta com um elemento metálico e as folhas 705,710 são laminadas juntas para formar uma fita de duas camadas 715, como mostrado na figura 7c. O elemento metálico pode incluir níquel, ou níquel-cádmio, e pode ser depositado por deposição de fase de vapor (por exemplo, processo PVD). A espessura da cobertura do elemento metálico pode variar de aproximadamente metade do diâmetro da fibra até aproximadamente cinquenta diâmetros da fibra.

A capa de aquecimento 301 pode também ser formada com camadas contínuas de uma folha unidirecional fina 800, como mostrado na figura 8. A figura 8 mostra uma construção de uma fita de duas camadas. A folha 800 inclui um substrato 805a e uma pluralidade de fibras geralmente paralelas 400, e é dobrada na posição 810 para formar uma fita de duas camadas 815. A fita de duas camadas 815 é disposta dentro da pá do rotor 100 de modo que as fibras 400 alternativamente definam um ângulo positivo e um negativo, entre  $\pm 45^\circ$  em relação à direção perpendicular a direção de deformação S, como explicado previamente.

Em uma segunda implementação, a capa de aquecimento 301 pode incluir feixes de fibras 900, como mostrado na figura 9, e pode ser montada de uma maneira similar a aquela descrita na primeira implementação. Isto é, folhas de fibras de carbono unidirecionais incluindo feixes de fibras 900 geralmente paralelas podem ser laminadas juntas para formar uma fita de duas camadas de uma maneira parecida com as figuras 7a-c. Nas figuras 7a-c, as fibras 400 podem ser substituídas por feixes de fibras 900. Cada folha de fibra de carbono unidirecional incluindo feixes de fibras 900 geralmente paralelas pode ser revestida com um elemento metálico, tal como níquel ou níquel-cádmio, e constitui uma camada. Cada feixe 900 pode

incluir entre 50 fibras e 12000 fibras. Os feixes de fibras 900 geralmente paralelas são orientados para formar um ângulo positivo e um negativo, entre aproximadamente  $\pm 45^\circ$ , em relação à direção perpendicular a direção de deformação S.

5 Alternativamente, a capa de aquecimento 301 pode também ser formada na segunda implementação com camadas contínuas de uma folha unidirecional única que inclui feixes de fibras 900, da mesma maneira que na figura 8.

10 Dependendo da densidade de energia desejada, o número de camadas pode variar dentro da capa de aquecimento 301. Em uma modalidade da invenção, a espessura da capa de aquecimento 301 constituída pelas fibras 400 e o revestimento metálico, pode estar entre aproximadamente 0,0254 mm (1/1000 de uma polegada) até aproximadamente 1,524 mm (60/1000 de uma polegada).

15 Em uma terceira implementação, a capa de aquecimento 301 pode incluir uma estrutura 1000 de feixes tecidos de fibras de carbono 1010, como mostrado na figura 10. Os feixes 1010 no tecido tecido 1000 são orientados de modo que formem um ângulo positivo e um negativo, entre aproximadamente  $\pm 45^\circ$ , em relação à direção perpendicular a direção de deformação S. Cada feixe 1010 pode incluir entre aproximadamente 50 e 12.000  
20 fibras 400 e é coberto com um revestimento metálico 1015. Como explicado anteriormente, o revestimento metálico 1015 pode incluir níquel, ou níquel-cádmio, e pode ser depositado por deposição da fase de vapor (por exemplo, processo PVD).

25 O tecido 1000 mostrado na figura 10 corresponde a um tecido de uma camada no qual cada feixe 1010 passa acima e abaixo de um feixe vizinho. Alternativamente, o tecido tecido 1000 pode incluir feixes 1010 de fibras nos quais cada feixe passa acima de um e abaixo de quatro feixes vizinhos. Esta última configuração pode fornecer um tecido tecido mais solto  
30 que pode ter melhor capacidade de esticar.

A capa de aquecimento 301, que pode incluir várias camadas de tecido tecido 1000 ou fita 715, pode ser encapsulada em uma matriz de resi-

na dentro da pá de rotor 100. A matriz de resina pode ser um sistema de resina 85/52, que corresponde a um sistema de epóxi enrijecido, como conhecido na técnica. Outros sistemas de resinas convencionais podem ser usados em outras modalidades da invenção.

5                   A figura 11 mostra uma seção transversal de uma capa de aquecimento 301 após ser encapsulada em uma matriz de resina. A capa de aquecimento 301 compreende uma pluralidade de elementos de fibra revestidos condutores 1105. Cada elemento de fibra revestido condutor 1105 pode incluir um feixe de fibras ou uma fibra individual. A pluralidade de elementos de fibras revestidos condutores 1105 é colocada entre camadas de fibra  
10 de vidro 1110a-1110b.

                  Será observado que os conceitos revelados aqui são igualmente aplicáveis a estruturas diferentes daquelas ilustradas aqui nas figuras em anexo. Por exemplo, o dispositivo de aquecimento revelado acima pode ser  
15 incorporado em outras partes de aeronaves ou outros veículos, nos quais tais partes são usadas em ambientes de alta deformação.

                  Enquanto a fabricação e o uso de várias modalidades da presente invenção são discutidos em detalhes abaixo, deve ser observado que a presente invenção fornece muitos conceitos inventivos aplicáveis que podem  
20 ser incorporados em uma ampla variedade de contextos específicos. As modalidades específicas discutidas aqui são meramente ilustrativas de modos específicos de fabricar e usar a invenção de não delimitam o escopo da invenção. Por exemplo, materiais diferentes podem ser usados para construir a capa de aquecimento.

25                   As modalidades anteriores foram fornecidas para ilustrar os princípios funcionais e estruturais da presente invenção, e não são planejadas para serem limitadas. Ao contrário, a presente invenção se destina a abranger todas as modificações, alterações e substituições dentro do espírito e escopo das reivindicações apensas.

## REIVINDICAÇÕES

1. Pá de rotor de um helicóptero compreendendo:  
um corpo; e  
uma capa de aquecimento disposta no referido corpo e configurada para fornecer calor para o referido corpo, a referida capa de aquecimento incluindo uma primeira pluralidade de fibras e uma segunda pluralidade de fibras conectadas eletricamente a referida primeira pluralidade de fibras;  
em que a referida primeira pluralidade de fibras define um ângulo positivo menor do que aproximadamente  $+45^\circ$  relativo a uma primeira direção perpendicular a uma direção longitudinal do referido corpo, e  
em que a segunda pluralidade de fibras define um ângulo negativo maior do que aproximadamente  $-45^\circ$  relativo a referida primeira direção.
2. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 1, em que a referida capa de aquecimento é configurada para suportar valores de deformação de até 10.000  $\mu$ polegada/polegada ao longo da referida direção longitudinal.
3. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 1, em que a referida capa de aquecimento é disposta ao longo de uma borda de entrada do referido corpo.
4. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 1, em que a referida primeira pluralidade de fibras e a referida segunda pluralidade de fibras definem uma pluralidade de trapezóides.
5. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 1, em que o referido ângulo positivo está entre  $+5^\circ$  e  $+20^\circ$  e em que o referido ângulo negativo está entre aproximadamente  $-20^\circ$  e  $-5^\circ$ .
6. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 1, em que a referida capa de aquecimento é configurada para dissipar calor em uma densidade de energia na faixa de aproximadamente 12000 (12) até aproximadamente 30000  $w/m^2$  (30W/polegada<sup>2</sup>).
7. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 1, em que a referida primeira pluralidade de fibras inclui feixes de fibras separados.
8. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 1, em que os refe-

ridos feixes de fibras incluem entre 50 e 12.000 fibras.

9. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 1, em que a referida primeira e a referida segunda pluralidade de fibras são revestidas com metal.

5 10. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 9, em que o referido metal inclui níquel ou níquel-cádmio.

11. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 1, em que a referida primeira e a referida segunda pluralidade de fibras incluem carbono, boro ou alumínio.

10 12. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 1, em que a referida primeira pluralidade e a referida segunda pluralidade de fibras são preparadas para formar um tecido tecido.

15 13. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 12, em que o referido tecido tecido inclui feixes de fibras em que cada um passa acima e abaixo de um feixe vizinho.

14. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 12, em que o referido tecido tecido inclui feixes de fibras em que cada um passa acima de um e abaixo de quatro feixes vizinhos.

20 15. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 1, em que a referida primeira pluralidade de fibras e a referida segunda pluralidade de fibras têm substancialmente um mesmo número de fibras.

16. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 1, em que a referida capa de aquecimento inclui camadas contínuas de uma fita de fibra unidirecional.

25 17. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 1, em que fibras na referida primeira pluralidade de fibras são substancialmente paralelas umas as outras.

30 18. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 1, em que a referida capa de aquecimento é encapsulada em uma matriz de epóxi-fibra de vidro.

19. Pá de rotor de acordo com a reivindicação 1, em que a referida pá de rotor é uma pá de rotor inclinado.

20. Dispositivo de aquecimento para fornecer calor para uma pá de rotor de um helicóptero, o referido dispositivo de aquecimento compreendendo uma capa de aquecimento disposta na referida pá de rotor, a referida capa de aquecimento compreendendo:

5                   uma primeira pluralidade de fibras e uma segunda pluralidade de fibras conectada eletricamente à referida primeira pluralidade de fibras;

em que a referida primeira pluralidade de fibras define um ângulo positivo menor do que aproximadamente  $+45^\circ$  relativo à primeira direção perpendicular a uma direção longitudinal da referida pá do rotor, e

10                   em que a referida segunda pluralidade de fibras define um ângulo negativo maior do que aproximadamente  $-45^\circ$  relativo a referida primeira direção.

21. Pá de rotor de um helicóptero compreendendo:

um corpo; e

15                   uma capa de aquecimento disposta no referido corpo e configurada para fornecer calor para o referido corpo, a referida capa de aquecimento incluindo um tecido formado com feixes de fibras condutoras orientadas em uma primeira direção e feixes de fibras condutoras orientadas em uma segunda direção,

20                   em que a referida primeira direção define um ângulo positivo menor do que aproximadamente  $+45$  relativo a direção perpendicular a uma direção longitudinal do referido corpo, e

em que a referida segunda pluralidade de fibras define um ângulo negativo maior do que aproximadamente  $-45^\circ$  relativo a uma direção perpendicular a uma direção longitudinal do referido corpo.

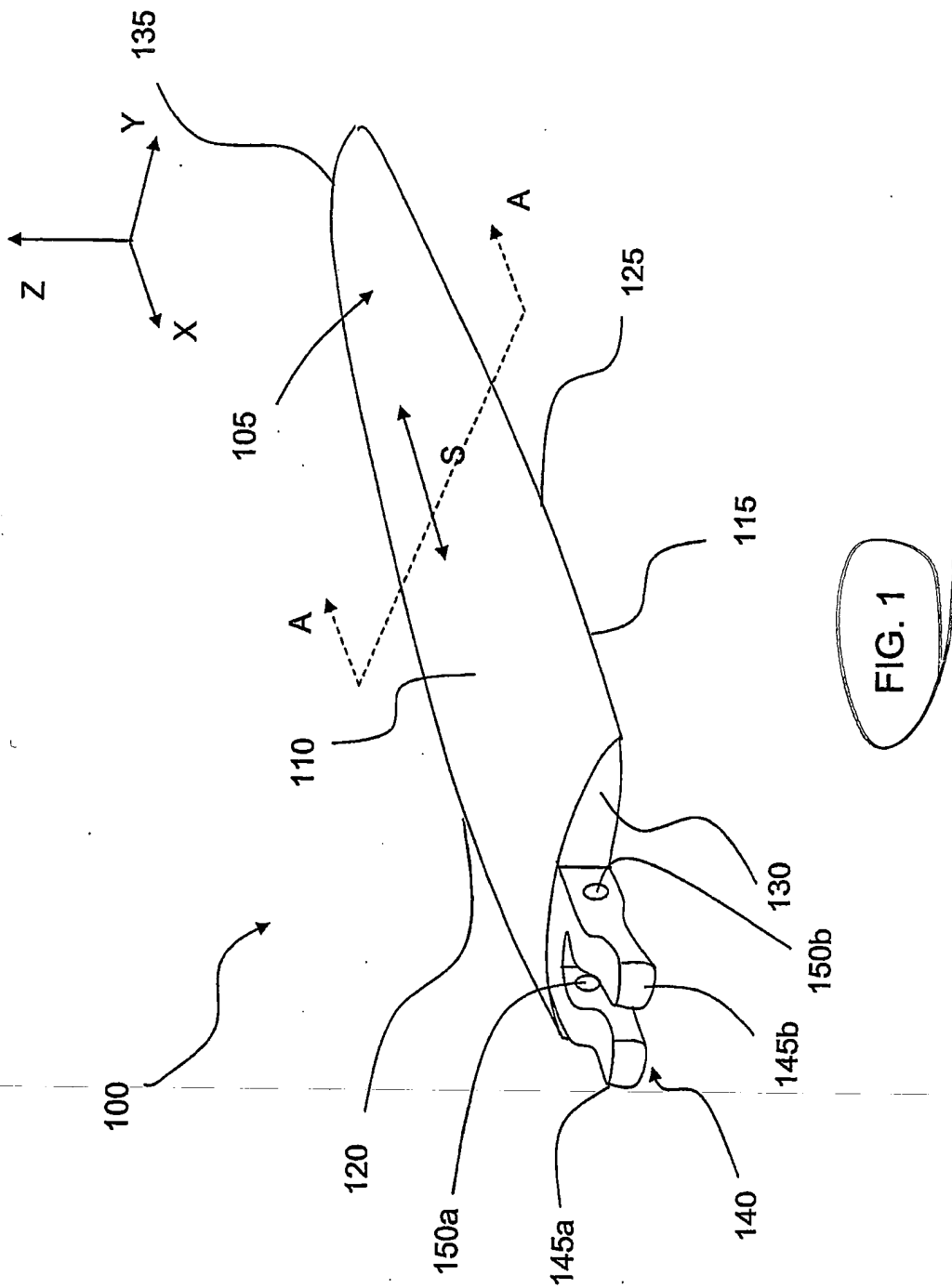
25                   22. Estrutura sujeita a alta deformação compreendendo:

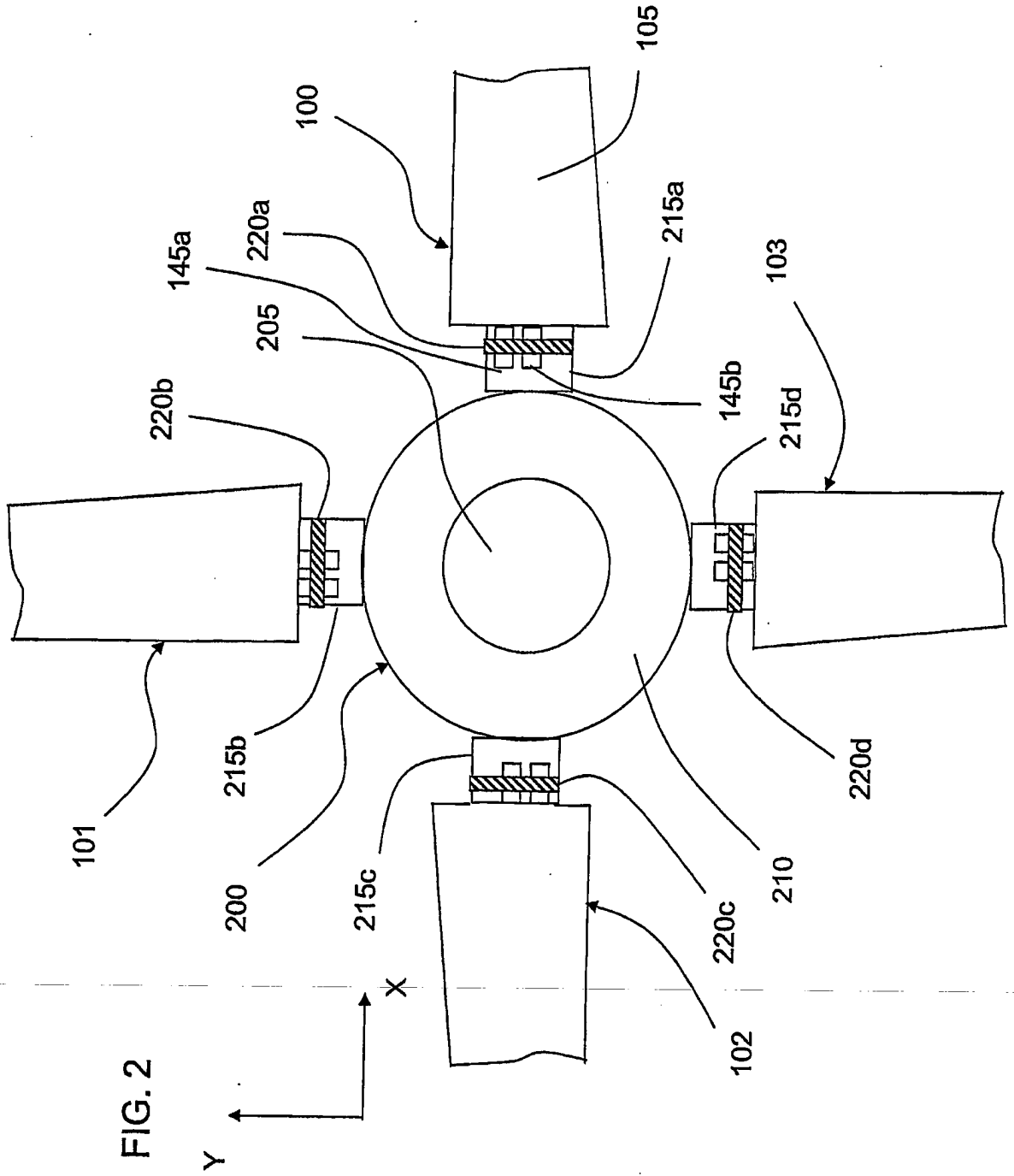
um corpo; e

30                   uma capa de aquecimento disposta no referido corpo e configurada para fornecer calor para o referido corpo, a referida capa de aquecimento incluindo uma primeira pluralidade de fibras e uma segunda pluralidade de fibras conectada eletricamente a referida primeira pluralidade de fibras;

em que a referida primeira pluralidade de fibras define um ângulo positivo menor do que aproximadamente  $+45^\circ$  relativo a uma primeira direção perpendicular a uma direção longitudinal do referido corpo, e

5. em que a referida segunda pluralidade de fibras define um ângulo negativo maior do que aproximadamente  $-45^\circ$  relativo à referida primeira direção.





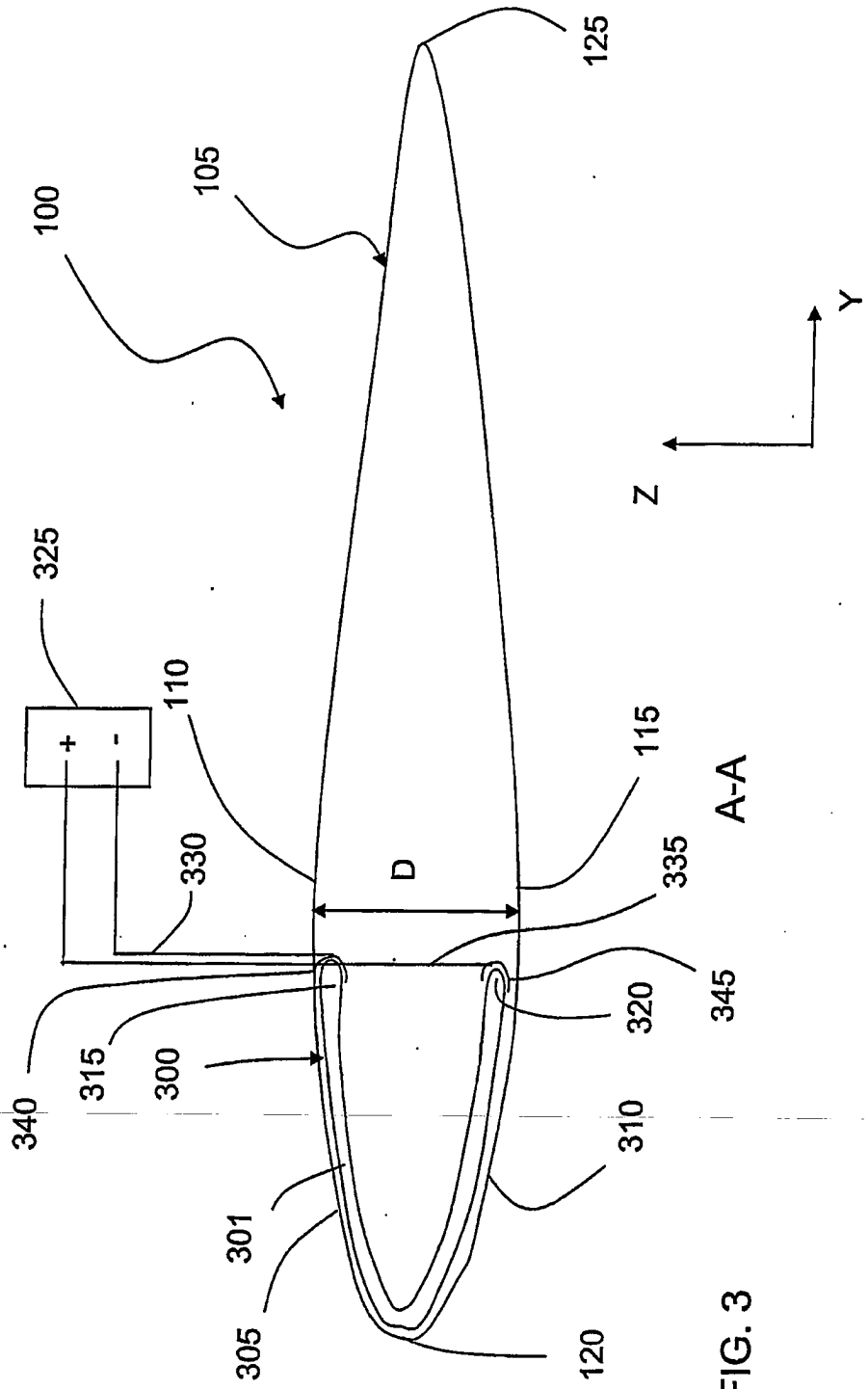


FIG. 3

A-A

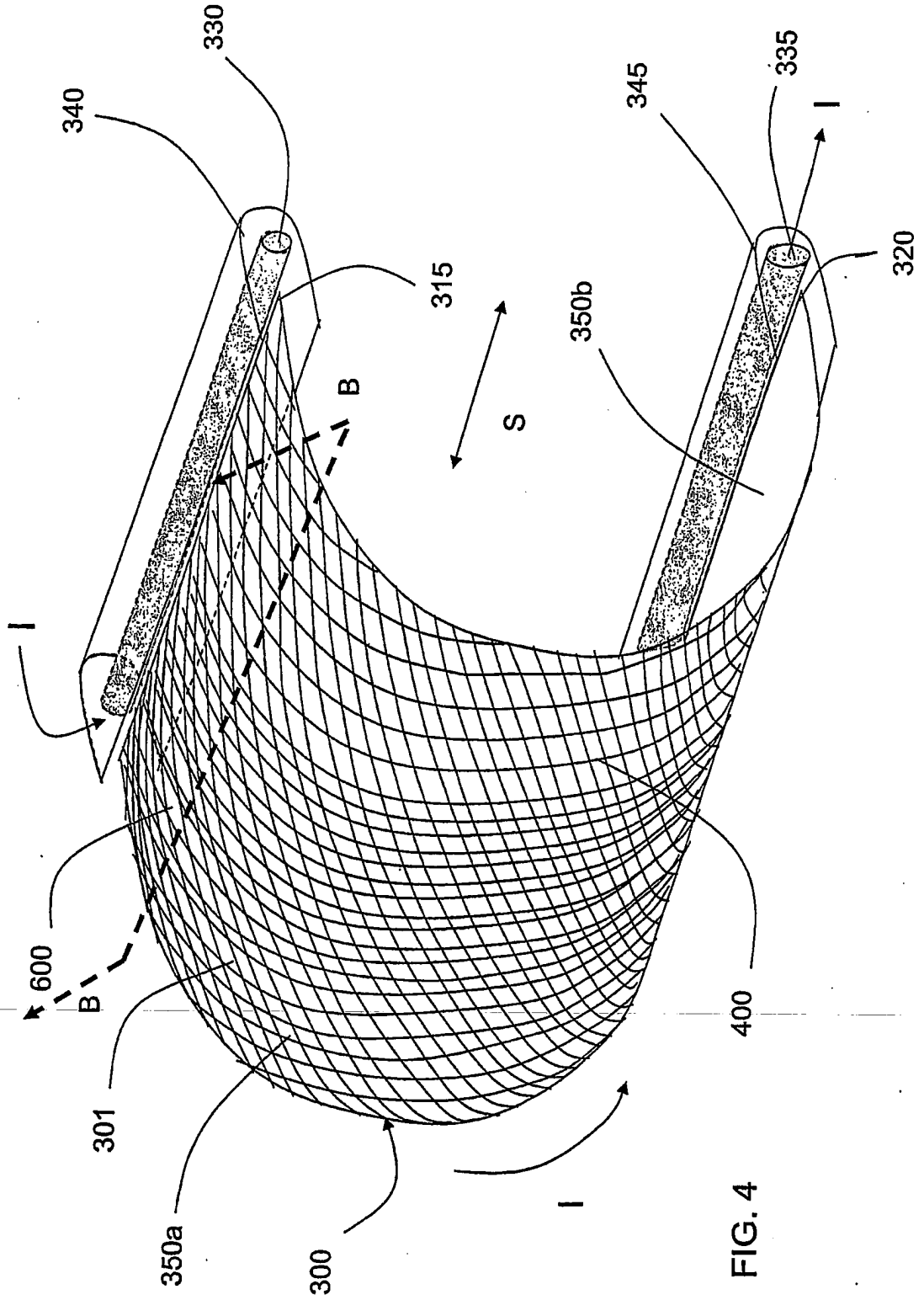


FIG. 4

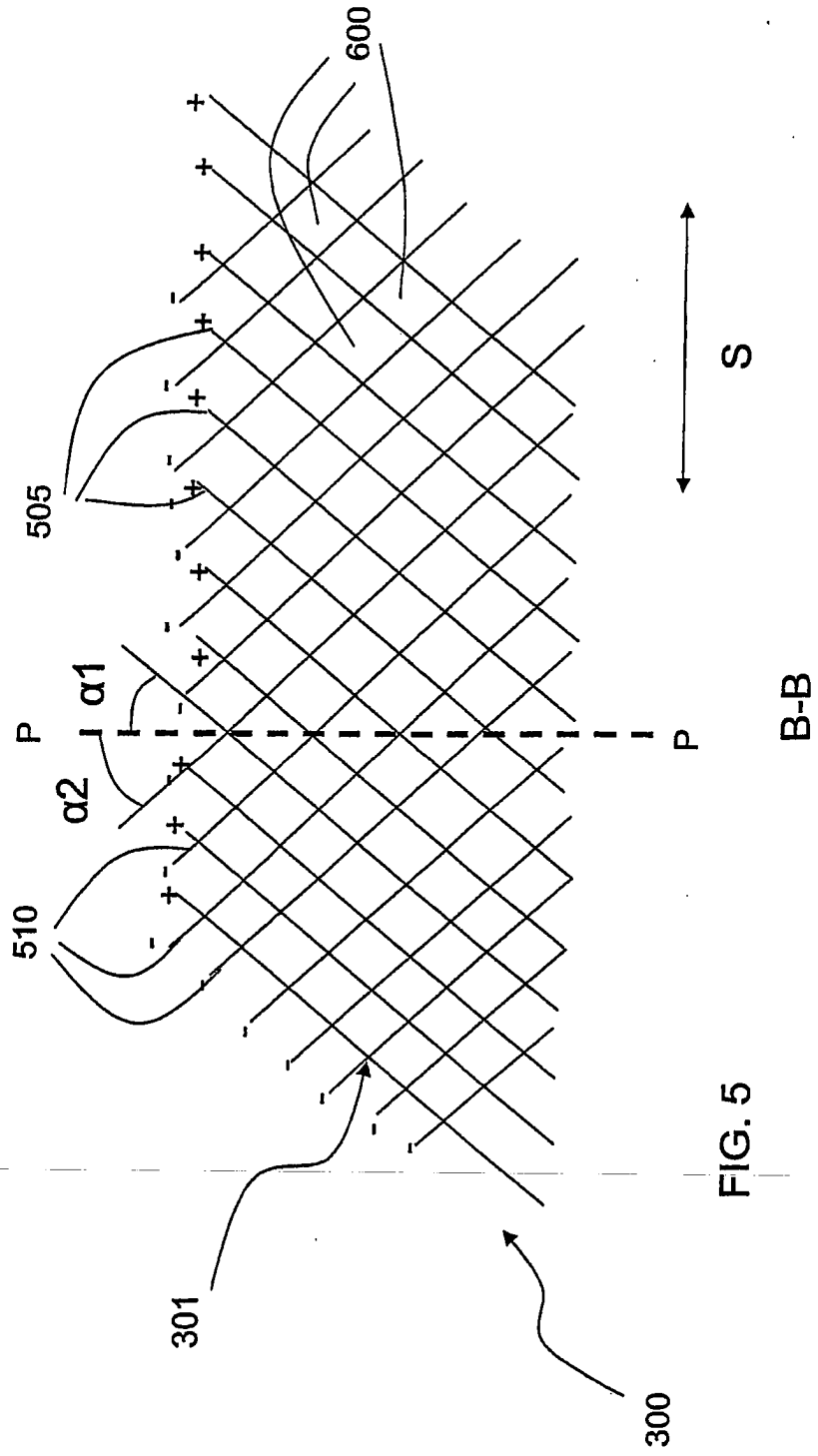


FIG. 5

FIG. 6a

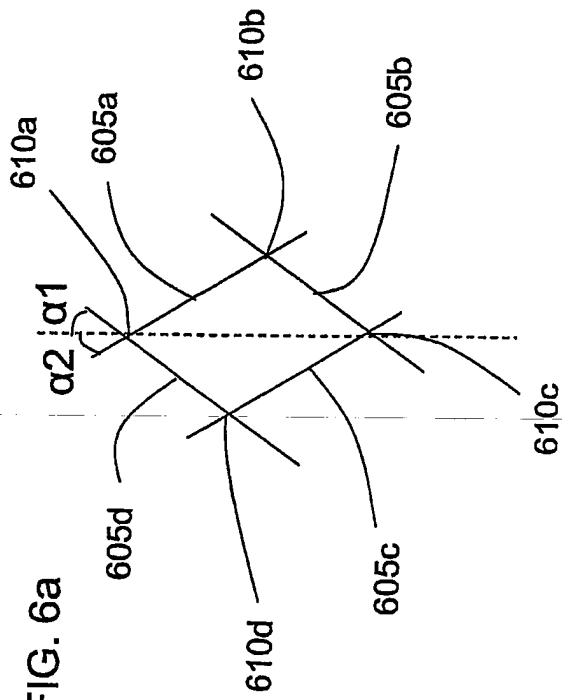


FIG. 6b

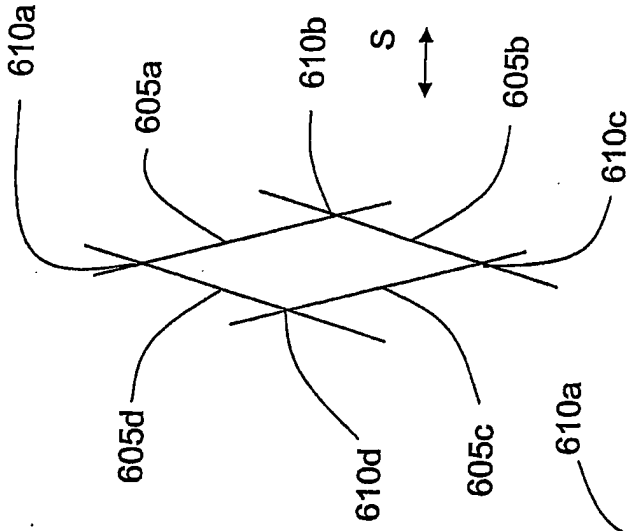
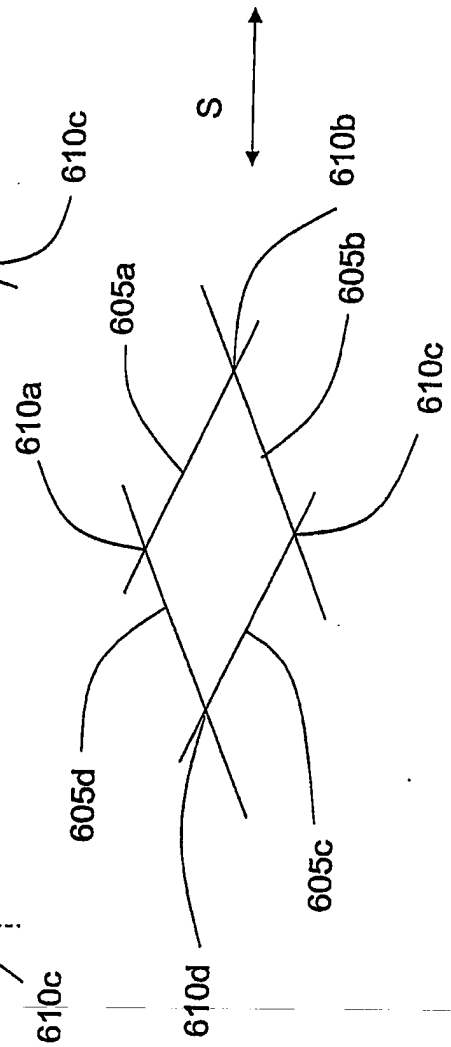
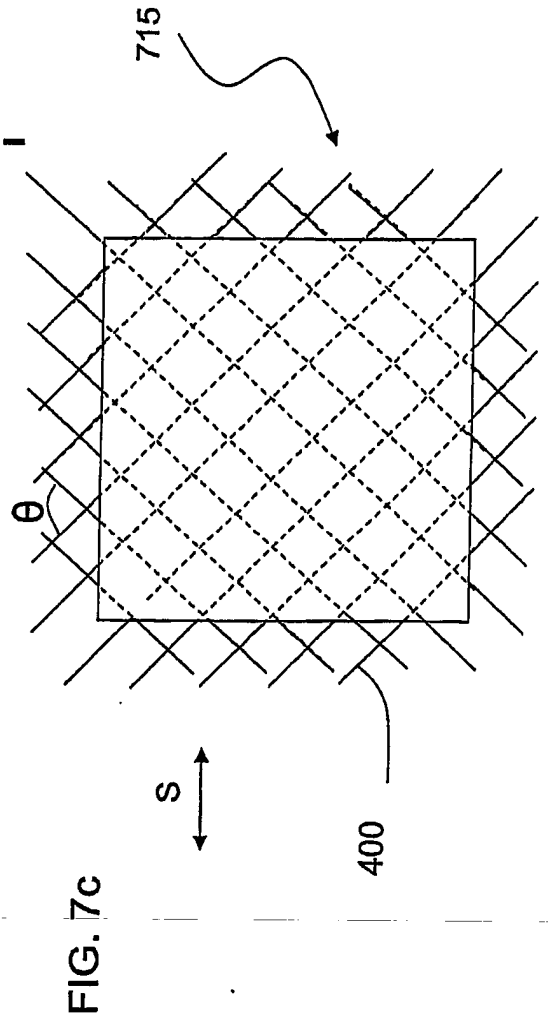
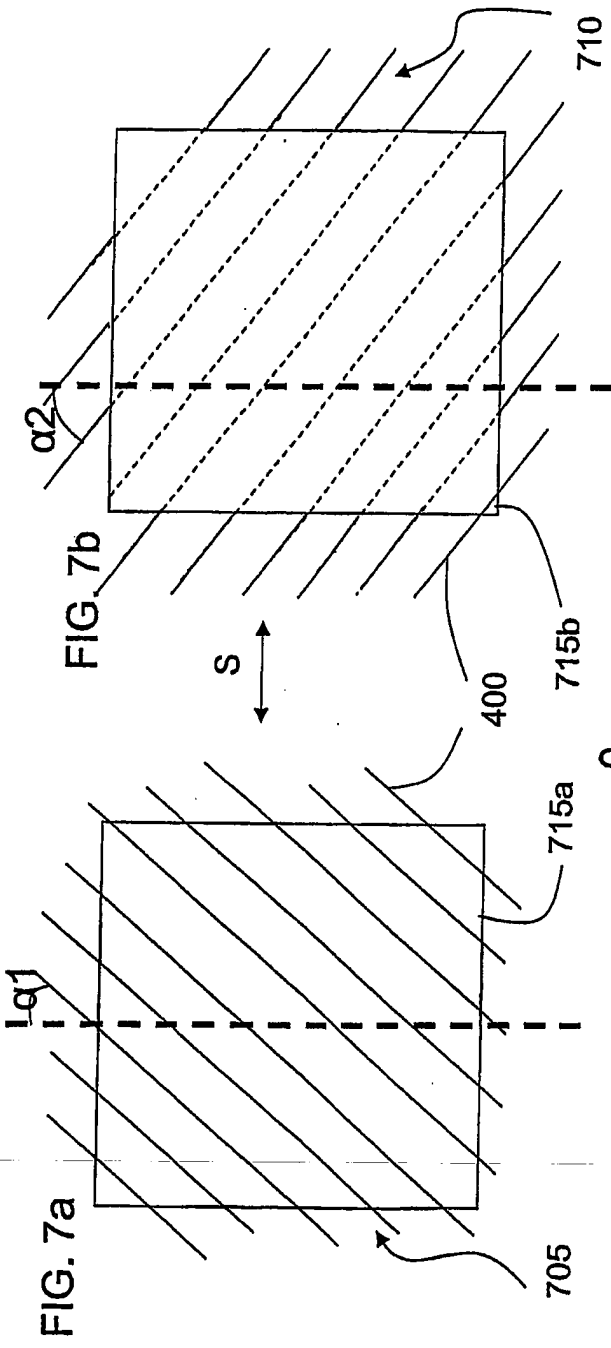
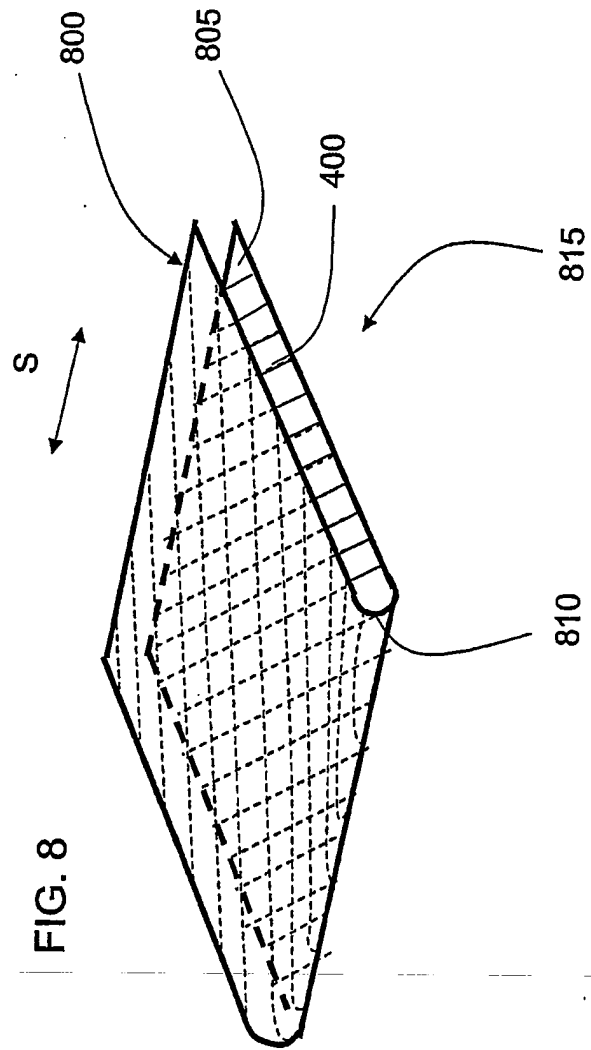
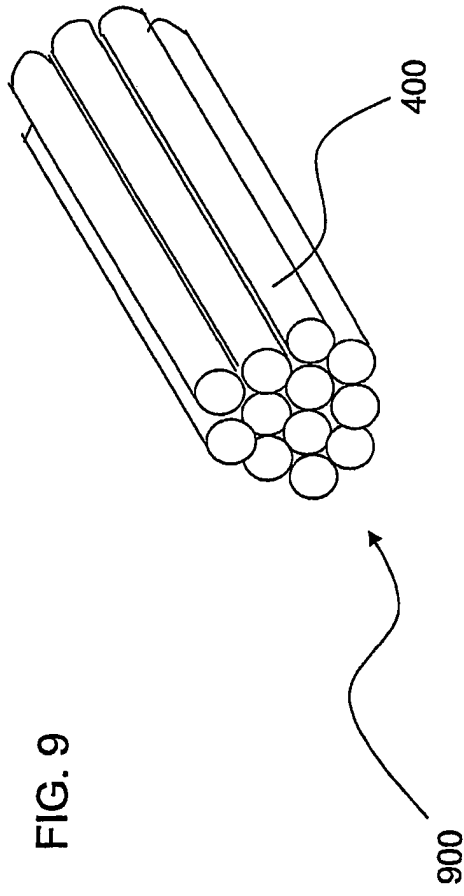


FIG. 6c









2 3 4

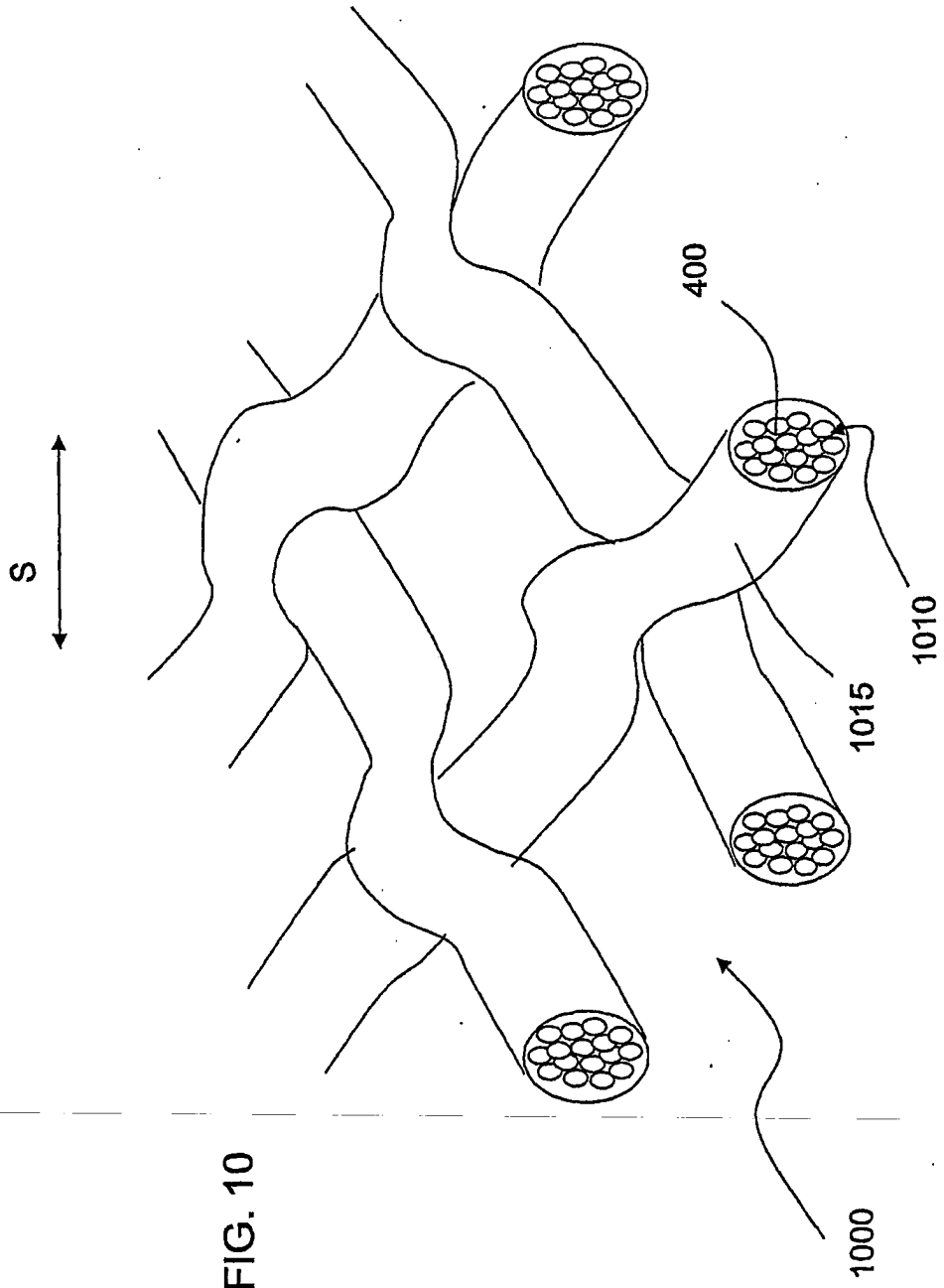


FIG. 10

10/11

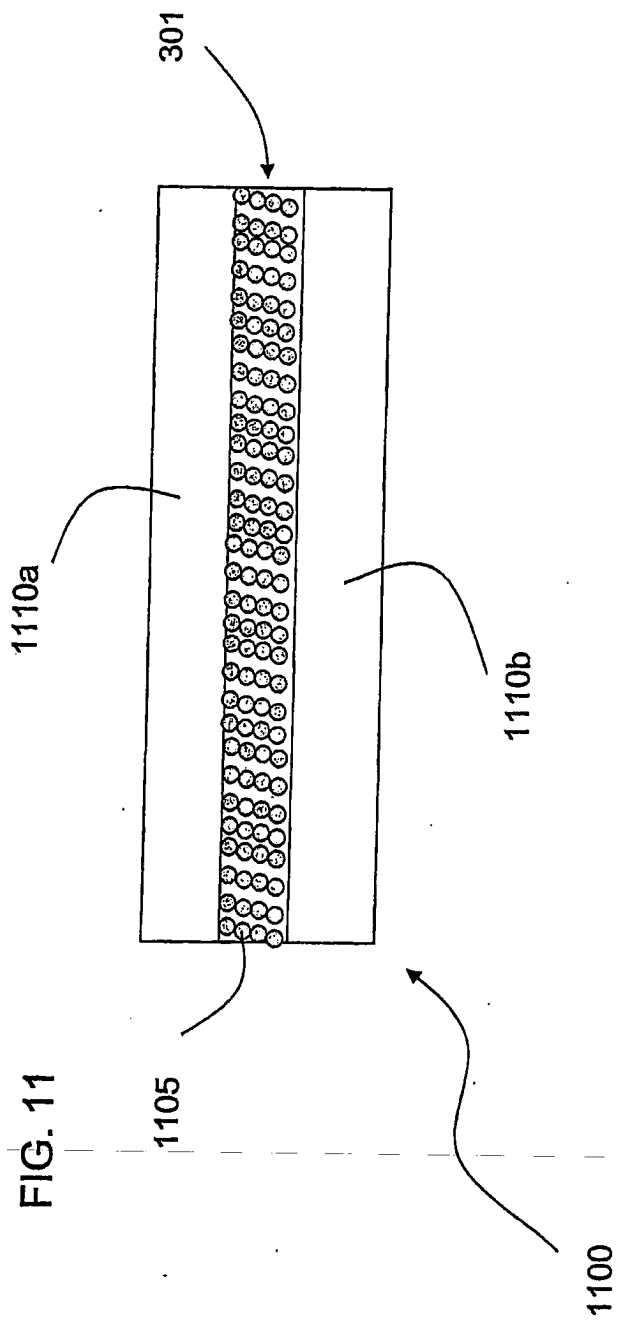


FIG. 11

**RESUMO**

Patente de Invenção: "**AQUECEDOR HÍBRIDO COMPOSTO CONDUTIVO/ RESISTIVO SUSCETÍVEL DE DEFORMAÇÃO PARA DISPOSITIVO ANTI-GELO TÉRMICO**".

- 5                   A presente invenção refere-se a uma pá de rotor de um helicóptero. Em uma modalidade, a pá de rotor inclui um corpo; e uma capa de aquecimento disposta no corpo e configurada para fornecer calor para o referido corpo. A capa de aquecimento inclui uma primeira pluralidade de fibras e uma segunda pluralidade de fibras conectada eletricamente a primeira pluralidade de fibras. A primeira pluralidade de fibras define um ângulo positivo menor do que aproximadamente  $+45^\circ$  relativo a uma primeira direção perpendicular a uma direção longitudinal do corpo. A segunda pluralidade de fibras define um ângulo negativo maior do que aproximadamente  $-45^\circ$  relativo à primeira direção.
- 10