



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

(11) BR 102014005477-4 B1



(22) Data do Depósito: 10/03/2014

(45) Data de Concessão: 25/10/2022

(54) Título: FERRAMENTA E MÉTODO PARA ESCARFAGEM DE UM SEGMENTO DE PÁ DE ROTOR

(51) Int.Cl.: F03D 1/06.

(30) Prioridade Unionista: 14/03/2013 US 13/802,954.

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC COMPANY.

(72) Inventor(es): STEPHEN BERTRAM JOHNSON; EDWARD MCBETH STEWART; STEVEN HAINES OLSON.

(57) Resumo: FERRAMENTA E MÉTODO PARA ESCARFAGEM DE UM SEGMENTO DE PÁ DE ROTOR Trata-se de métodos e ferramentas para escafagem de segmentos de pá de rotor. Um segmento de pá de rotor inclui um lado de pressão e um lado de sucção. Uma ferramenta inclui um primeiro guia configurado para montagem em um dentre o lado de pressão ou o lado de sucção, sendo que o primeiro guia inclui um primeiro trilho curvado e um segundo trilho curvado separado do primeiro trilho curvado. A ferramenta ainda inclui um segundo guia acoplado de forma móvel ao primeiro guia no ângulo de escafagem, o segundo guia inclui um trilho guia que se estende entre e é móvel ao longo do primeiro trilho curvado e do segundo trilho curvado. A ferramenta ainda inclui um dispositivo de corte acoplado de forma móvel ao segundo guia, sendo que o dispositivo de corte é móvel ao longo do trilho guia e operável para remover material de um dentre o lado de pressão ou o lado de sucção.

“FERRAMENTA E MÉTODO PARA ESCARFAGEM DE UM SEGMENTO DE PÁ DE ROTOR”

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção refere-se, em geral, a pás de rotor para turbinas eólicas e, mais particularmente, a ferramentas e métodos de escafagem de segmentos de pá de rotor.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] A energia eólica é considerada uma das fontes de energia mais limpas e mais ecologicamente corretas disponíveis no momento e as turbinas eólicas vêm conquistando um grande aumento de atenção nesse aspecto. Uma turbina eólica moderna inclui, tipicamente, uma torre, um gerador, uma caixa de engrenagens, nacela e uma ou mais pás de rotor. As pás de rotor capturam energia cinética do vento usando conhecidos princípios de folhas metálicas. As pás de rotor transmitem a energia cinética na forma de energia rotacional para uma haste que acopla as pás de rotor a uma caixa de engrenagem, ou se a caixa de engrenagem não for usada, diretamente ao gerador. O gerador, então, converte a energia mecânica em energia elétrica que pode ser implantada a uma rede elétrica.

[003] O tamanho, forma e peso das pás de rotor são fatores que contribuem para eficiências energéticas de turbinas eólicas. Um aumento no tamanho das pás de rotor aumenta a produção de energia de uma turbina eólica, enquanto uma diminuição em peso também aumenta a eficiência de uma turbina eólica. Além disso, à medida que o tamanho de pás de rotor aumenta, uma atenção extra precisa ser dada à integridade estrutural das pás de rotor. Atualmente, grandes turbinas eólicas comerciais em existência e em desenvolvimento são capazes de gerar de cerca de 1,5 a cerca 12,5 megawatts de potência. Essas turbinas maiores podem ter conjuntos de pás de rotor maiores que 90 metros de diâmetro. Adicionalmente, avanços na forma

das pás de rotor encorajam a fabricação de uma pá de rotor curvada para frente desde a raiz até a ponta da lâmina, proporcionando uma aerodinâmica melhorada. Em conformidade, esforços para aumentar o tamanho da pá de rotor, diminuir o peso da pá de rotor e aumentar a resistência da pá de rotor, enquanto também melhora a aerodinâmica da pá de rotor, colaboram com o crescimento contínuo da tecnologia de turbinas eólicas e a adoção de energia eólica como fonte alternativa de energia.

[004] Conforme o tamanho das turbinas aumenta, particularmente o tamanho das pás de rotor, os custos respectivos de fabricação, transporte e montagem das turbinas eólicas também aumentam. Os benefícios econômicos do tamanho aumentado de turbinas eólicas devem ser ponderados junto a esses fatores. Por exemplo, os custos de pré-formar, transportar e erigir uma turbina eólica com pás de rotor com 90 metros de extensão podem impactar significativamente na vantagem econômica de uma turbina eólica maior.

[005] Uma estratégia conhecida para reduzir os custos de pré-formar, transportar e erigir turbinas eólicas com pás de rotor maiores é fabricar as pás de rotor em segmentos de pá. Os segmentos de pá podem ser montados para formar a pá de rotor depois, por exemplo, os segmentos de pá individuais são transportados para um local de ereção. Além disso, em inúmeros casos em que é desejado o tamanho aumentado de pás de rotor, pode ser desejável aumentar o comprimento das pás de rotor existentes. Por exemplo, uma pá de rotor existente pode ser dividida em segmentos e um inserto pode ser fornecido entre segmentos vizinhos para aumentar o comprimento dos segmentos.

[006] Particularmente, um método conhecido para unir segmentos de pá de rotor através de escarfagem de segmentos de pá vizinhos para criar faces de junta afiladas ou angulares nos segmentos de pá. Um

inserto pode então ser fornecido entre os segmentos de pá com faces de junta de acasalamento. As faces de junta podem ser ligadas para criar juntas de encaixe, conectando segmentos de pá vizinhos e o inserto. Entretanto, métodos conhecidos e aparatos para escarfagem de segmentos de pá de rotor podem ter uma variedade de desvantagens. Por exemplo, um fator chave na criação de uma junta de encaixe é a geometria das faces de junta de acasalamento. Juntas de encaixe criadas em segmentos de pá de rotor devem, desse modo, considerar tanto o ângulo de escarfagem desejado quanto a curvatura do segmento da pá de rotor. Uma abordagem atual para escarfagem de um segmento de pá de rotor é polir a superfície da pá de rotor até o ângulo desejado. Entretanto, tais abordagens manuais são imprecisas, levando a juntas de encaixe relativamente mais fracas e, assim, consumindo mais tempo e custando mais. Outras abordagens atuais para escarfagem de segmentos de pá de rotor requerem o uso de máquinas CNC. Entretanto, tais abordagens requerem custos proibitivamente altos de capital, e são complexos para programar para adaptar-se às necessidades de segmentos de pá de rotor individuais.

[007] Em conformidade, métodos e aparatos melhorados para escarfagem de segmentos de pá de rotor são desejados na técnica. Particularmente, métodos e aparatos que consideram precisamente ângulos de escarfagem desejados e curvaturas de segmentos de pá de rotor seriam vantajosos. Além disso, métodos e aparatos que fornecem precisão eficientemente e a custos relativamente baixos seriam desejados.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[008] Os aspectos e as vantagens da invenção serão apresentados em parte na descrição seguinte, ou podem ser óbvios a partir da descrição, ou podem ser aprendidos através de prática da invenção.

[009] Em uma realização, uma ferramenta é fornecida para

escarfagem de um segmento de pá de rotor. O segmento de pá de rotor inclui um lado de pressão, um lado de sucção, um bordo de ataque, e um bordo de fuga, cada uma estendendo-se entre uma primeira extremidade e uma segunda extremidade. A ferramenta inclui um primeiro guia configurado para montar em um do lado de pressão ou do lado de sucção, o primeiro guia inclui um primeiro trilho curvado e um segundo trilho curvado separado a partir do primeiro trilho curvado. O primeiro trilho curvado e o segundo trilho curvado ambos têm uma curvatura que geralmente corresponde a uma curvatura um dentre o lado de pressão ou o lado de sucção. A ferramenta ainda inclui um segundo guia acoplado de forma móvel ao primeiro guia no ângulo de escarfagem, sendo que o segundo guia inclui um trilho guia que se estende entre e é móvel ao longo do primeiro trilho curvado e o segundo trilho curvado. A ferramenta ainda inclui um dispositivo de corte acoplado de forma móvel ao segundo guia, e o dispositivo de corte móvel ao longo do trilho guia e operável para remover material um dentre o lado de pressão ou o lado de sucção.

[010] Em outra realização, um método de escarfagem de um segmento de pá de rotor é fornecido. O método inclui mover um dispositivo de corte em uma armação ao longo de um eixo geométrico em forma de corda de um segmento de pá de rotor. O segmento de pá de rotor inclui um lado de pressão, um lado de sucção, um bordo de ataque, e um bordo de fuga, cada um estendendo-se entre uma primeira extremidade e uma segunda extremidade. Movimento ao longo do eixo geométrico em forma de corda geralmente ocorre ao longo de uma curvatura uma dentre o lado de pressão ou o lado de sucção. O método ainda inclui mover o dispositivo de corte na armação ao longo de um eixo geométrico no sentido da envergadura do segmento de pá de rotor em um ângulo de escarfagem, e opera o dispositivo de corte durante movimento ao longo do eixo geométrico no sentido da envergadura para remover material um dentre o lado de pressão ou o lado de

sucção.

[011] Essas e outras funções, aspectos e vantagens da presente invenção serão mais bem entendidas com referência às descrições e reivindicações anexadas em seguida. Os desenhos anexos, que são incorporados e constituem parte desse relatório descritivo, ilustram realizações da invenção e, juntamente com a descrição, servem para explicar os princípios da invenção.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[012] Uma completa e permissiva divulgação da presente invenção, que inclui o melhor método da mesma, direcionada ao técnico no assunto, é estabelecida na especificação que faz referência às figuras anexas, as quais:

a Figura 1 é uma visão em perspectiva de uma turbina eólica conhecida de acordo com uma invenção da presente divulgação;

a Figura 2 é uma visão em perspectiva de uma pá de rotor de turbina eólica de acordo com uma invenção da presente divulgação;

a Figura 3 é uma visão em perspectiva de uma porção de um segmento de pá de rotor antes da escarificação de acordo com uma realização da presente divulgação;

a Figura 4 é uma visão em perspectiva de uma porção de segmento de pá de rotor da Figura 3 após a escarificação de acordo com uma realização da presente divulgação;

a Figura 5 é uma visão em perspectiva de uma porção de um segmento de pá de rotor antes da escarificação de acordo com outra invenção da presente divulgação;

a Figura 6 é uma visão em perspectiva de uma porção de segmento de pá de rotor da Figura 5 depois da escarificação de acordo com outra invenção da presente divulgação;

a Figura 7 é uma visão em perspectiva de uma ferramenta montada na superfície externa de um lado de pressão de um segmento de pá de rotor de acordo com uma realização da presente divulgação;

a Figura 8 é uma visão lateral de uma ferramenta montada na superfície externa de um lado de pressão de um segmento de pá de rotor de acordo com uma realização da presente divulgação; e

a Figura 9 é uma visão em perspectiva de uma ferramenta montada na superfície interna de um lado de sucção de um segmento de pá de rotor de acordo com uma realização da presente divulgação.

DESCRIÇÃO DE REALIZAÇÕES DA INVENÇÃO

[013] Será feita referência agora em detalhe para realizações da invenção, um ou mais exemplos os quais são ilustrados nos desenhos. Cada exemplo é apresentado via explicação da invenção, não via limitação da invenção. De fato, será aparente para os técnicos no assunto que várias modificações e variações podem ser feitas na presente invenção sem desviar do escopo da invenção. Por exemplo, funções ilustradas ou descritas como parte de uma realização podem ser usadas com outra realização para render uma realização adicional. Por conseguinte, é pretendido que a presente invenção cubra tais modificações e variações como vêm dentro do escopo das reivindicações anexadas e seus equivalentes.

[014] A Figura 1 ilustra uma turbina eólica 10 de construção convencional. A turbina eólica 10 inclui uma torre 12 uma nacela 14 montado na mesma. Uma pluralidade de pás de rotor 16 são montadas a um conector de rotor 18, que é por sua vez conectado a um flange principal que gira uma haste principal do rotor, como discutido abaixo. A geração de energia e controle de componentes da turbina eólica são alojados dentro da nacela 14. A vista da Figura 1 é fornecida com propósitos ilustrativos apenas para pôr a presente invenção em um campo de uso exemplificativo. Deveria ser considerado que a

invenção não se limita a qualquer tipo particular de configuração de turbina eólica.

[015] Refere-se à Figura 2, uma realização de uma pá de rotor 16 em concordância com a presente divulgação é mostrada. A pá de rotor 16 pode incluir uma pluralidade de segmentos de pá 20 alinhados de ponta a ponta em ordem da ponta de uma lâmina 22 à raiz de uma lâmina 24. Cada um dos segmentos de lâmina individuais 20 pode ser unicamente configurado para que a pluralidade de segmentos de lâmina 20 defina uma pá de rotor completa 16 com perfil, comprimento e outras características aerodinâmicas desejadas desenvolvidas. Por exemplo, cada segmento de lâmina 20 pode ter um contorno aerodinâmico que corresponde com o contorno aerodinâmico de segmentos de lâmina adjacentes 20. Por conseguinte, os contornos aerodinâmicos dos segmentos de lâmina 20 podem formar um contorno aerodinâmico contínuo da pá de rotor 16.

[016] Em geral, a pá de rotor 16, e dessa forma cada segmento de lâmina 20 podem incluir um lado de pressão 32 e um lado de sucção 34 estendendo entre um bordo de ataque 36 e um bordo de fuga 38. Adicionalmente, a pá de rotor 16 pode ter um olhal 42 que se estende ao longo de um eixo geométrico no sentido da envergadura 43 e uma corda 44 que se estende ao longo de um eixo geométrico em forma de corda 45. A corda 44 pode mudar do começo ao fim do olhal 42 da pá de rotor 16. Por conseguinte, uma corda local pode ser definida em qualquer local com forma de olhal na pá de rotor 16 ou qualquer segmento de lâmina 20 no mesmo.

[017] A pá de rotor 16 pode, em realizações, ser curvada. Curvar a pá de rotor 16 pode implicar torcer a pá de rotor 16 em uma direção geralmente no sentido transversal e/ou em uma direção geralmente no sentido da extremidade. A direção no sentido transversal é uma direção substancialmente perpendicular a um eixo geométrico transversal através de

um corte transversal do lado mais amplo da pá de rotor 16. Alternativamente, a direção no sentido transversal pode ser interpretada como a direção (ou a direção oposta) na qual o ascensor aerodinâmico age na pá de rotor 16. A direção no sentido da extremidade é perpendicular à direção no sentido transversal. A curvatura no sentido transversal da pá de rotor 16 também é conhecida como pré-torcida, enquanto a curvatura no sentido da extremidade também é conhecida como curva. Por conseguinte, uma pá de rotor 16 pode ser pré-torcida e/ou curvada. Curvar pode permitir à pá de rotor 16 resistir melhor a cargas no sentido transversal e no sentido da extremidade durante operação da turbina eólica 10, e pode ainda apresentar folga para a pá de rotor 16 a partir da torre 12 durante operação da turbina eólica 10.

[018] Como discutido, Figura 2 ilustra uma pluralidade de segmentos de pá 20 que formam uma pá de rotor 16. Na realização mostrada, um segmento de pá 20 estende-se a partir da raiz 14, enquanto um segmento de pá 20 vizinho estende-se a partir da ponta 22. No entanto, deve ser compreendido que uma pá de rotor 16 de acordo com a presente divulgação pode ter qualquer número adequado de segmentos de pá 20, como dois, três, quatro ou mais. Cada segmento de pá 20, e cada um do lado de pressão 32, lado de sucção 34, bordo de ataque 36, e bordo de fuga 38 no mesmo, podem se estender entre uma primeira extremidade 50 e uma segunda extremidade 52 como mostrado. A primeira extremidade 50 e/ou segunda extremidade 52 podem ser a ponta 22 e/ou a raiz 24, ou qualquer outra localização adequada na pá de rotor 16 entre a ponta 22 e a raiz 24.

[019] Como mostrado ainda na Figura 2, um inserto 60 pode ser disposto entre segmentos de pá 20 vizinhos em uma pá de rotor 16, e pode unir os segmentos de pá. Em algumas realizações, e como discutidas em detalhe abaixo, o inserto 60 pode ser ligado a cada segmento de lâmina através de uma junta de encaixe. Em conseguinte, uma porção de um

segmento da pá de rotor 20 pode ser chanfrada, angular ou afilada, para formar uma face de junta, e o inserto 60 pode ter uma face de junta de acasalamento. As faces de junta podem ser conectadas e fixadas umas com as outras para formar a junta de encaixe.

[020] As Figuras 3 e 5 ilustram várias realizações de um segmento de pá 20 antes da escarfagem. Como mostrado e discutido acima, o segmento de pá 20 inclui um lado de pressão 32, um lado de sucção 34, um bordo de ataque 36, e um bordo de fuga 38, cada um estendendo-se entre uma primeira extremidade 50 e uma segunda extremidade 52. Além disso, o segmento de pá de rotor 20 inclui uma superfície interna 70 e uma superfície externa 72. O lado de pressão 32, lado de sucção 34, o bordo de fuga 38, cada qual inclui e define uma superfície interna 70 e outra superfície 72. Um segmento de pá 20 pode ainda incluir um ou mais tampos de longarina, 74, como um tampo de longarina acoplado ao lado de pressão 32 e um tampo de longarina acoplado ao lado de sucção 34, como mostrado. Uma chave de manivela de cábreia 76 pode entender-se entre os tampos de longarina 74.

[021] Em algumas realizações, como mostrado na Figura 5, uma porção recortada 78 de um dentre o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34, como o lado de pressão 32 na realização mostrada, é mostrado. Nessas realizações, uma porção de um dentre o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34 é recortado do segmento de pá 20 para fornecer acesso para uma superfície interna 70 um dentre o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34, como discutido abaixo e dessa forma definir uma porção recortada 78.

[022] As Figuras 4 e 6 ilustram várias realizações de um segmento de pá 20 após a escarfagem. Como mostrado, a porção ou porções do lado de pressão 32 e do lado de sucção 34 são chanfradas em um ângulo de encaixe 80 (ver Figura 8). O ângulo de escarfagem 80 pode ser qualquer ângulo adequado para criar uma junta de encaixe, como em algumas

realizações entre aproximadamente 1 grau e aproximadamente 5 graus, ou em outras realizações entre aproximadamente 1 grau e aproximadamente 3 graus. Tal chanfrada 80 cria faces de junta 82 que podem ser utilizadas para unir o segmento de pá 20 para, por exemplo, um inserto 60 ou outro segmento de pá 20. Em algumas realizações, por exemplo, escafagem 80 pode remover material de uma porção do lado de pressão 32 ou lado de sucção 34 que é acoplado a um tampo de longarina 74. Por conseguinte, uma face de junta 82 resultante pode ser uma porção do lado de pressão 32 ou do lado de sucção 34 que é acoplado ao tampo de longarina 74. Em outras realizações, escafagem 80 pode remover material de uma porção do lado de pressão 32, ou do lado de sucção 34 que é localizado entre os tampos de longarina 74 e o bordo de fuga 38 ao longo do eixo geométrico em forma de corda 45. Essa localização pode ser uma localização de material biaxial (composto biaxial) que forma uma porção do lado de pressão 32 e /ou do lado de sucção 34. Por conseguinte, uma face de junta 82 resultante pode ser uma porção do lado de pressão 32 ou do lado de sucção 34 que se encontra entre os tampos de longarina 74 e o bordo de fuga 38 e/ou formado a partir de um material biaxial.

[023] As Figuras 7 a 9 ilustram várias realizações de uma ferramenta 100 utilizada para escafagem precisa e eficiente de um segmento de pá de rotor. Ferramentas 100 de acordo com a presente divulgação consideram precisamente tanto o ângulo de escafagem 80 quanto a curvatura da pá de rotor 16, tal como a superfície interior e a superfícies exterior 70, 72 dos mesmos. Além disso, o uso de tais ferramentas 100 é eficiente e econômico.

[024] Como mostrado, uma ferramenta 100 de acordo com a presente divulgação inclui uma armação 102 e um dispositivo de corte 104. A armação 102 geralmente facilita o movimento do dispositivo de corte 104 em várias direções em relação a uma superfície do lado de pressão 32 ou do lado

de sucção 34. Por exemplo, como discutido abaixo e como mostrado nas Figuras 7 a 9, a armação 102 pode, em algumas realizações, facilitar o movimento do dispositivo de corte ao longo do eixo geométrico em forma de corda 45 e o eixo geométrico no sentido da envergadura 43. Além disso, a armação 102 pode considerar tanto o ângulo de escarfagem 80 desejado quanto a curvatura de um dentre o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34 no qual a armação 102 é montada, dessa forma, facilitando a escarfagem precisa pelo dispositivo de corte 104. Por exemplo, o movimento do dispositivo de corte 104 na armação 102 pode geralmente ser ao longo da curvatura da superfície um dentre o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34 e/ou no ângulo de escarfagem 80, como discutido abaixo.

[025] Em algumas realizações, como mostrado, a armação 102 compreende um primeiro guia 110 e um segundo guia 112. O primeiro guia 110, e dessa forma a ferramenta 100 em geral, pode ser configurado para montar em um do lado de pressão 32 ou do lado de sucção 34. Por exemplo, as Figuras 7 e 8 ilustram um primeiro guia 110 montado na superfície externa 72 do lado de pressão de um segmento de pá 20. A Figura 9 ilustra um primeiro guia 110 montado na superfície interna 74 do lado de sucção de um segmento de pá 20. Em outras realizações, um primeiro guia 110 pode ser montado na superfície interna 74 do lado de pressão 32, ou da superfície externa 72 do lado de sucção 34.

[026] Em algumas realizações, o primeiro guia 110 pode ser geralmente montado ao segmento de pá de rotor 20 de forma que é estacionário no segmento de pá de rotor 20. Por exemplo, o primeiro guia 110 pode grampeado ou senão afixado ao segmento de pá de rotor 20 durante o processo de escarfagem. Grampos 115, por exemplo, podem ser utilizados para montar o primeiro guia 110 em uma posição estacionária.

[027] Além disso, em algumas realizações, o primeiro guia 110

pode ser montado no segmento de pá de rotor 20 em uma posição de forma que a operação do dispositivo de corte 104 pode remover material da porção dentre o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34 que é acoplado a um tampo de longarina 74. Por conseguinte, nessas realizações, a área definida pelo primeiro guia 110 quando montado em uma pá de rotor 20, pode envolver pelo menos uma porção do segmento de pá de rotor 20 que é acoplado ao tampo de longarina 74. A operação do dispositivo de corte 104 pode ser dentro da área definida pelo primeiro guia 110, e especificamente os trilhos curvados como discutido abaixo. Em outras realizações, o primeiro guia 110 pode ser montado em um segmento de pá de rotor 20 em uma posição de tal forma que a operação do dispositivo de corte 104 possa remover material de outra porção de um dentre o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34, tal qual uma porção formada a partir do material biaxial e/ou entre o os tampos de longarina 74 e bordo de fuga 38, ou outra porção adequada.

[028] O primeiro guia 110 pode incluir um primeiro trilho curvado 120 e um segundo trilho curvado 122. O segundo trilho curvado 122 pode ser separado separadamente do primeiro trilho curvado 120. Ambos os trilhos 120, 122 podem ter uma curvatura que geralmente corresponde a uma curvatura de um dentre o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34 ao qual a ferramenta 100 é montada, tal como da superfície externa ou interna 72, 70 dos mesmos. Por exemplo, como mostrado, uma superfície inferior do primeiro trilho 120 pode fazer contato e geralmente ser nivelada com a superfície externa ou a interna 72, 70 na qual é montada, e uma superfície superior do trilho 120 pode ter uma curvatura correspondente. Em algumas realizações, o segundo trilho 122 pode similarmente ter uma curvatura de forma que faça contato e é geralmente nivelado com o segmento de pá de rotor 20. Em outras realizações, como mostrado, o segundo trilho 122 pode estar suspenso sobre o segmento de pá de rotor 20. Nessas realizações, as superfícies superior e/ou inferior do

segundo trilho 122 podem ter uma curvatura que geralmente corresponde à curvatura da superfície externa ou interna 72, 70 adjacente ao segundo trilho 122. Tal curvatura dos trilhos 120, 122 pode facilitar a escarfagem que considera a curvatura do segmento de pá 20.

[029] Em algumas realizações como mostrado, os trilhos 120, 122 são geralmente paralelos. Além disso, em realizações, os trilhos 120, 122 são orientados ao longo de um eixo geométrico em forma de corda 45 do segmento de pá de rotor. Nessas realizações, os trilhos 120, 122 podem dessa forma, por exemplo, ter curvaturas que correspondem às superfícies externa e interna 72, 70 em localizações espaçadas separadamente ao longo de um eixo geométrico em forma de corda 45.

[030] Como mostrado ainda, o primeiro guia 110 pode ainda incluir um ou mais trilhos conectores 124. Os trilhos conectores 124 podem conectar o primeiro e segundo trilhos curvados 120, 122 e manter a orientação dos trilhos 120, 122 um em relação ao outro, como requerido.

[031] Como discutido, a armação 102 pode incluir ainda um segundo guia 112. O segundo guia 112 pode geralmente ser acoplado de forma móvel ao primeiro guia 110. Por exemplo, em realizações, o segundo guia 112 pode ser deslizável ao longo do primeiro guia 110. Como mostrado, o segundo guia 112 pode incluir um ou mais trilhos guia 130. Cada trilho guia 130 pode se estender entre e se mover ao longo do primeiro e do segundo trilhos 120, 122. Por exemplo, como mostrado, o trilho guia 130 pode se posicionar nas superfícies superiores dos trilhos 120, 122 e deslizar ao longo das superfícies superiores como mostrado.

[032] Em algumas realizações como mostrado, os trilhos guia 130 podem ser geralmente transversais aos trilhos curvados 120, 122. Por exemplo, em algumas realizações em que os trilhos curvados 120, 122 estendem-se ao longo do eixo geométrico em forma de corda 45, os trilhos guia

130 podem ser orientados e se estender ao longo do eixo geométrico no sentido da envergadura 143. Em mais realizações como mostrado, o segundo guia 112 e os trilhos guia 130 do mesmo, podem se mover ao longo do eixo geométrico em forma de corda 45. Isso pode ser em virtude, por exemplo, da orientação dos trilhos curvados 120, 122 ao longo do eixo geométrico em forma de corda 45.

[033] Como mostrado ainda nas Figuras 7 a 9, o segundo guia 112 pode ser acoplado de forma móvel ao primeiro guia 110 no ângulo de escarfagem 80. Por exemplo, como mostrado na Figura 8, o segundo trilho curvado 122 não é alinhado ao primeiro trilho curvado 120 tal como a distância entre os trilhos e a diferença de altura entre as superfícies superiores dos trilhos definem o ângulo de escarfagem desejado 80. O segundo guia 112 pode ser acoplado de forma móvel ao primeiro guia 110 no ângulo de escarfagem 80, nessas realizações, por exemplo, descansando-se os trilhos guia 130 nas superfícies superiores fora de alinhamento dos trilhos curvados 120, 122. Em qualquer caso, os trilhos guia 130 podem, através da atrelagem do segundo guia 112 ao primeiro guia 110, se estender entre o primeiro trilho curvado 120 e o segundo trilho curvado 122 no ângulo de escarfagem 80. Tal orientação do segundo guia 122 no ângulo de escarfagem 80 facilita a escarfagem no ângulo de escarfagem 80.

[034] Como discutido, uma ferramenta 100 de acordo com a presente divulgação inclui um dispositivo de corte 104. Como mostrado nas Figuras 7 a 9, o dispositivo de corte 104 pode ser acoplado de forma móvel ao segundo guia 112. Tal acoplamento móvel permite que o dispositivo de corte 104 se mova, tal como deslizar, ao longo do(s) trilho(s) guia 130. O dispositivo de corte 104 pode ainda ser operável para remover material de um dentre o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34 no qual a ferramenta 100 é montada. Movimento do dispositivo de corte 104 ao longo do(s) trilho(s) guia

130 quando o dispositivo 104 está em operação pode, dessa forma, causar remoção de material no ângulo de escarfagem 80, devido à orientação do(s) trilho(s) guia 130 no ângulo de escarfagem.

[035] Em algumas realizações, o dispositivo de corte 104 é configurado para movimentar-se ao longo do eixo geométrico no sentido da envergadura 43. Por exemplo, como discutido acima, o(s) trilho(s) guia 130 do segundo guia 112 pode em algumas realizações se estender ao longo do eixo geométrico no sentido da envergadura 43. O dispositivo de corte 104 que pode ser móvel ao longo do(s) trilho(s) guia 130 pode, dessa forma, ser móvel ao longo do eixo geométrico no sentido da envergadura 43.

[036] O dispositivo de corte 104 pode geralmente ser qualquer dispositivo para remover material de um dentre o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34 no qual a ferramenta 100 é montada. Em algumas realizações, por exemplo, o dispositivo de corte 104 pode incluir uma serra circular 140. A serra circular 140 pode ter uma lâmina dado 142 ou outra lâmina adequada para remover material. Em outras realizações, a ferramenta 100 pode ser uma fresa ou outro dispositivo adequado para remoção de material.

[037] Para remover material de um dentre o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34, o dispositivo de corte 104 pode ser ativado tal como é operável para remoção do dispositivo. Em geral, o dispositivo de corte 104 pode então ser movido ao longo do(s) trilho(s) guia 130 para remover material no ângulo de escarfagem 80. Após tal remoção, o segundo guia 112 pode ser movido ao longo do primeiro e segundo trilhos curvados 120, 122, para reposicionar o dispositivo de corte 104 para mais remoção de material. O dispositivo de corte 104 pode então ser movido novamente ao longo do(s) trilho(s) guia 130 para remover material no ângulo de escarfagem 80. Tal movimento do dispositivo de corte 104 e segundo guia 112 pode ser repetido o quanto for necessário até todo material requerido ser removido, formando uma

face de junta 82.

[038] A presente divulgação é ainda direcionada a métodos de escarfagem de segmentos de pá de rotor 20. Um método de acordo com a presente divulgação pode incluir, por exemplo, mover um dispositivo de corte 104 em uma armação 102 ao longo de um eixo geométrico em forma de corda 45 de um segmento de pá de rotor 34. Movimento ao longo do eixo geométrico em forma de corda 45 pode ocorrer geralmente ao longo de uma curvatura de um dentre o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34 do segmento de pá de rotor 34. Um método pode ainda incluir, por exemplo, mover um dispositivo de corte 104 na armação 102 ao longo do eixo geométrico no sentido da envergadura 43 do segmento de pá de rotor 34 no ângulo de escarfagem 80. Um método de acordo com a presente divulgação pode ainda incluir, por exemplo, operar o dispositivo de corte 104 para remover material de um dentre o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34.

[039] Adicionalmente, em algumas realizações um método pode incluir, por exemplo, fornecer um segmento de pá de rotor 20 e fornecer uma ferramenta 100 em um dentre o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34 do segmento de pá de rotor 34. A ferramenta 100 pode, por exemplo, incluir um dispositivo de corte 104 e uma armação 102, como discutido acima. Em algumas realizações, o dispositivo de corte 104 pode ser móvel na armação 102 ao longo de um eixo geométrico em forma de corda 45 e um eixo geométrico no sentido da envergadura 43. Ainda mais, movimento ao longo do eixo geométrico em forma de corda 45 pode ocorrer geralmente ao longo de uma curvatura de um dentre o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34 e/ou movimento ao longo do eixo geométrico no sentido da envergadura 43 pode ocorrer no ângulo de escarfagem.

[040] Em algumas realizações, operar o dispositivo de corte 104 pode incluir, por exemplo, ativar o dispositivo de corte 104, mover o dispositivo

de corte ativo ao longo do(s) trilho(s) guia 130 e/ou do eixo geométrico no sentido da envergadura 43 para remover material de um dentro o lado de pressão 32 ou o lado de sucção 34, e mover o dispositivo de corte 104 ao longo do primeiro e segundo trilhos curvados 120, 122 e/ou do eixo geométrico em forma de corda 45. Tais movimentos podem ser repetidos como desejado para remover material, como necessário, para formar uma face de junta 82.

[041] Esta descrição usa exemplos para divulgar a invenção, incluindo o melhor modo, e também para permitir qualquer pessoa hábil na técnica da invenção, incluindo fazer e usar quaisquer dispositivos ou sistemas e desempenhar quaisquer métodos incorporados. O escopo patenteável da invenção é definido pelas reivindicações, e podem incluir outros exemplos que ocorrem a aqueles hábeis na técnica. Tais outros exemplos se destinam a estar dentro do escopo das reivindicações se as mesmas incluírem elementos estruturais que não diferem da linguagem literal das reivindicações, ou se as mesmas incluírem elementos estruturais equivalentes às diferenças insubstanciais da linguagem literal das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. FERRAMENTA (100) PARA ESCARFAGEM DE UM SEGMENTO DE PÁ DE ROTOR (20), o segmento de pá de rotor (20) compreendendo um lado de pressão (32), um lado de sucção (34), um bordo de ataque (36) e um bordo de fuga (38), cada um estendendo-se entre uma primeira extremidade e uma segunda extremidade, a ferramenta (100) compreendendo:

um primeiro guia (110) configurado para montar adjacente a uma porção recortada (78) em um dentre o lado de pressão (32) ou o lado de sucção (34), sendo que o primeiro guia (110) compreende um primeiro trilho curvado (120) e um segundo trilho curvado (122) separado do primeiro trilho curvado (120), sendo que o primeiro trilho curvado (120) e o segundo trilho curvado (122) têm, cada um, uma curvatura que corresponde a uma curvatura de um dentre o lado de pressão (32) ou o lado de sucção (34);

um segundo guia (112) acoplado de forma móvel ao primeiro guia (110) em um ângulo de escarfagem (80), sendo que o segundo guia (112) compreende um trilho guia (130) que se estende entre e é móvel ao longo do primeiro trilho curvado (120) e do segundo trilho curvado (122); e

um dispositivo de corte (104) acoplado de forma móvel ao segundo guia (122), sendo que o dispositivo de corte (104) é móvel ao longo do trilho guia (130) e operável para remover material de um dentre o lado de pressão (32) ou o lado de sucção (34);

a ferramenta (100) sendo caracterizada por compreender grampos (115) para montar o primeiro guia (110) em uma posição estacionária em relação à porção recortada (78).

2. FERRAMENTA (100), de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo primeiro trilho curvado (120) e o segundo trilho curvado (122) serem paralelos, e em que o trilho guia (130) é transversal ao primeiro

trilho curvado (120) e ao segundo trilho curvado (122).

3. FERRAMENTA (100), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, caracterizada pelo primeiro trilho curvado (120) e o segundo trilho curvado (122) serem configurados para orientar ao longo de um eixo geométrico em forma de corda do segmento de pá de rotor (20).

4. FERRAMENTA (100), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizada pelo segundo guia (112) ser configurado para se movimentar ao longo de um eixo geométrico em forma de corda do segmento de pá de rotor (20).

5. FERRAMENTA (100), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizada pelo dispositivo de corte (104) ser configurado para se movimentar ao longo de um eixo geométrico no sentido da envergadura do segmento de pá de rotor (20).

6. FERRAMENTA (100), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizada pelo primeiro guia (110) ser configurado para montagem estacionária em um dentro o lado de pressão (32) ou o lado de sucção (34).

7. FERRAMENTA (100), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizada pelo primeiro guia (110) ser configurado para montagem sobre uma superfície externa (72) do lado de pressão (32).

8. FERRAMENTA (100), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizada pelo primeiro guia (110) ser configurado para montagem sobre uma superfície interna (70) do lado de sucção (34).

9. FERRAMENTA (100), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizada pela pá de rotor (20) compreender, ainda, um tampo de longarina (74) acoplado a um dentro o lado de pressão (32) ou o lado de sucção (34), e em que o primeiro guia (110) é posicionado de forma que o dispositivo de corte (104) é operável para remover material da porção

dentre o lado de pressão (32) ou o lado de sucção (34) que está acoplado ao tampo de longarina (74).

10. FERRAMENTA (100), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizada pelo ângulo de escarfagem (80) estar entre 1 grau e 5 graus.

11. FERRAMENTA (100), de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizada pelo dispositivo de corte (104) compreender uma pá fresa (142).

12. MÉTODO PARA ESCARFAGEM DE SEGMENTO DE PÁ DE ROTOR (20), caracterizado por compreender:

montar um dispositivo de corte (104) adjacente a uma porção recortada (78) do segmento de pá de rotor (20) usando grampos (115) para montar um primeiro guia (110) de uma ferramenta (100), em uma posição estacionária em relação à porção recortada (78);

mover o dispositivo de corte (104) em uma armação (102) ao longo de um eixo geométrico em forma de corda de um segmento de pá de rotor (20), sendo que o segmento de pá de rotor (20) compreende um lado de pressão (32), um lado de sucção (34), um bordo de ataque (36) e um bordo de fuga (38), cada um estendendo-se entre uma primeira extremidade e uma segunda extremidade, em que movimento ao longo do eixo geométrico em forma de corda ocorre ao longo de uma curvatura de um dentre o lado de pressão (32) ou o lado de sucção (34);

mover o dispositivo de corte (104) na armação (102) ao longo de um eixo geométrico no sentido da envergadura do segmento de pá de rotor (20) em um ângulo de escarfagem (80); e

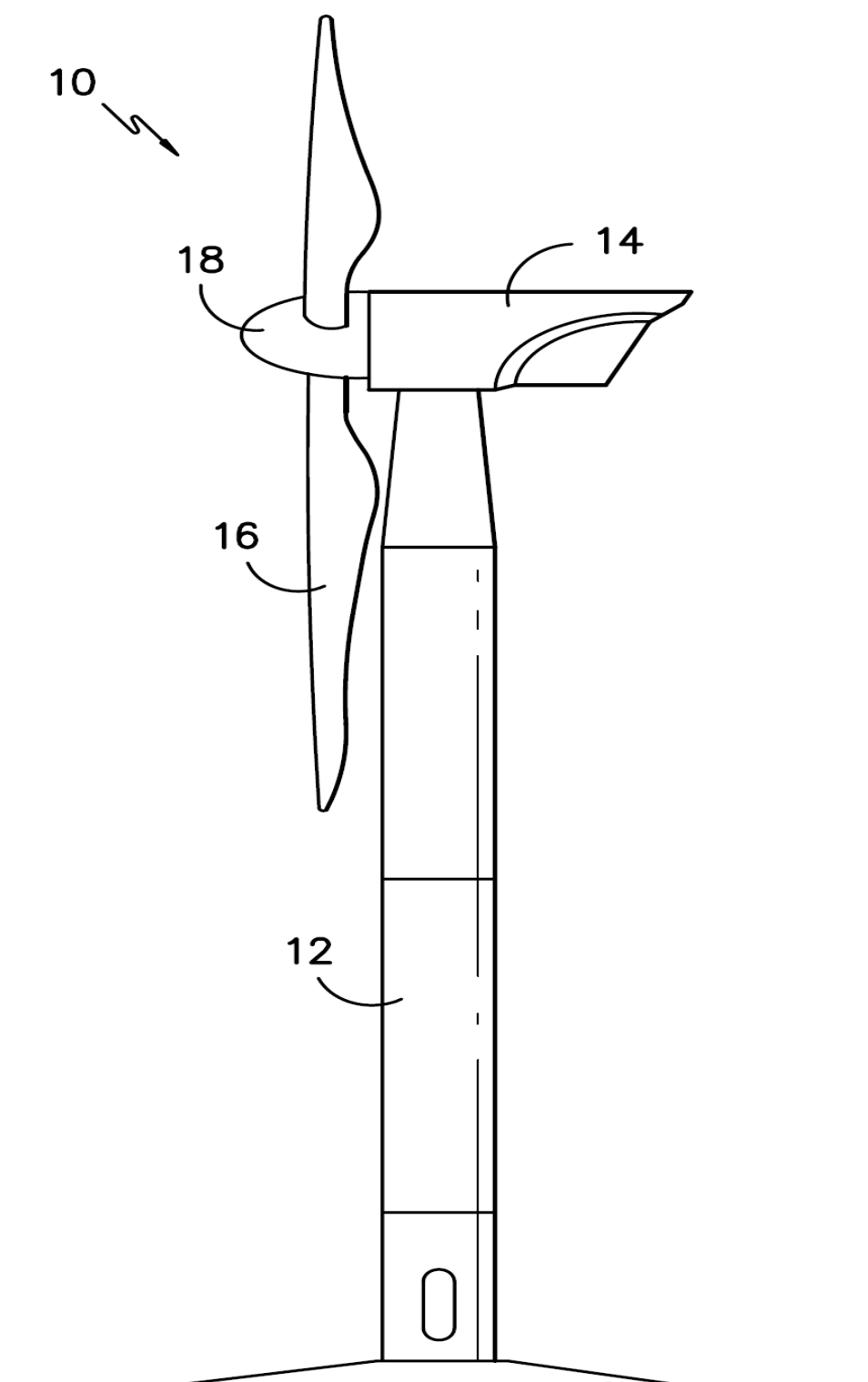
operar o dispositivo de corte (104) durante movimento ao longo do eixo geométrico no sentido da envergadura para remover material de um dentre o lado de pressão (32) ou o lado de sucção (34).

13. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo primeiro guia (110) compreender um primeiro trilho curvado (120) e um segundo trilho curvado (122) separado do primeiro trilho curvado (120), sendo que o primeiro trilho curvado (120) e o segundo trilho curvado (122) têm, cada um, uma curvatura que corresponde a uma curvatura de um dentre o lado de pressão (32) ou o lado de sucção (34); e

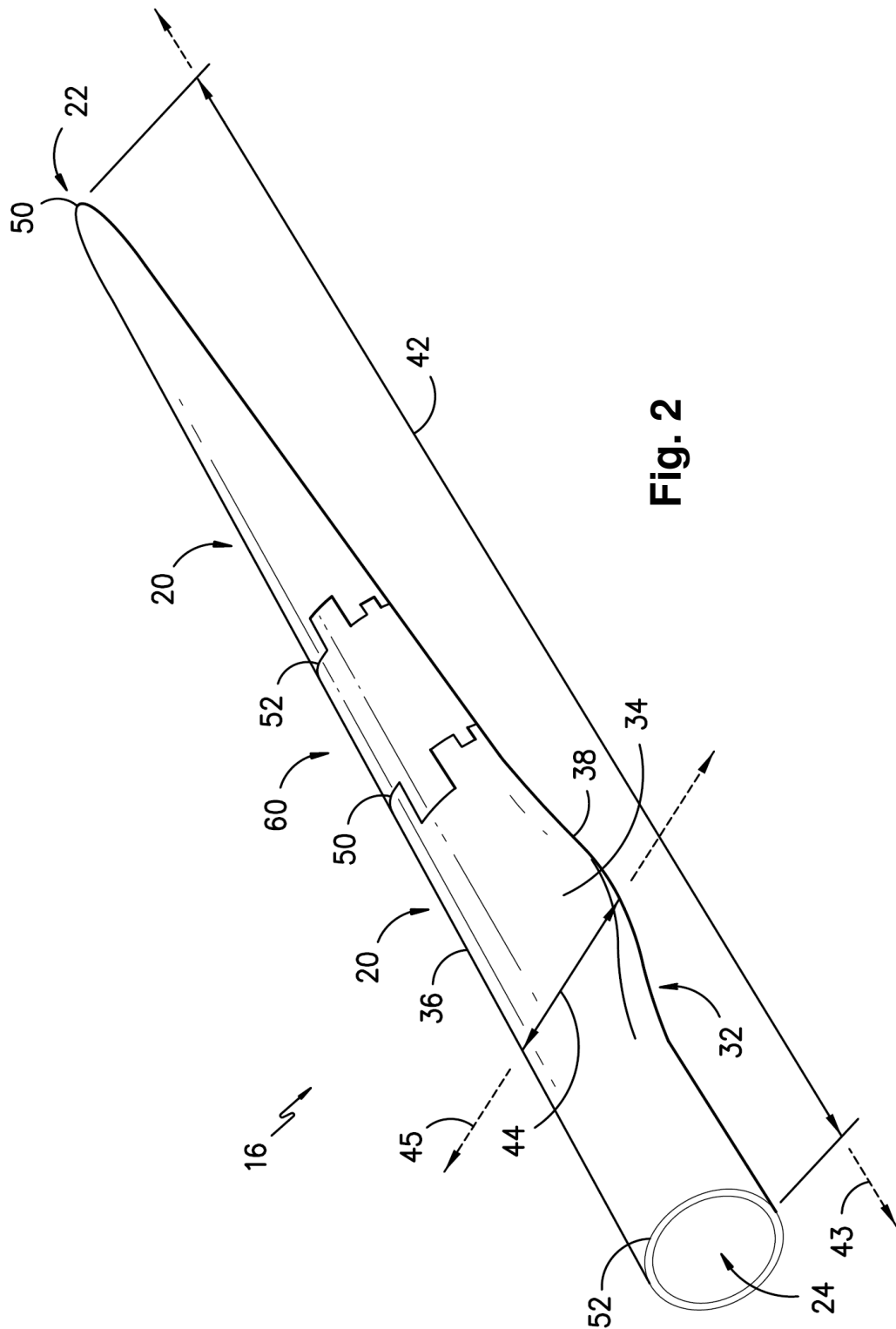
um segundo guia (112) acoplado de forma móvel ao primeiro guia (110) em um ângulo de escafagem (80), sendo que o segundo guia (112) compreende um trilho guia (130) que se estende entre e é móvel ao longo do primeiro trilho curvado (120) e do segundo trilho curvado (122).

14. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo dispositivo de corte (104) ser móvel ao longo do trilho guia (130).

15. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 13 a 14, caracterizado pelo segundo guia (112) ser móvel ao longo de um eixo geométrico em forma de corda do segmento de pá de rotor (20).

**Fig. 1**

(Estado da Técnica)



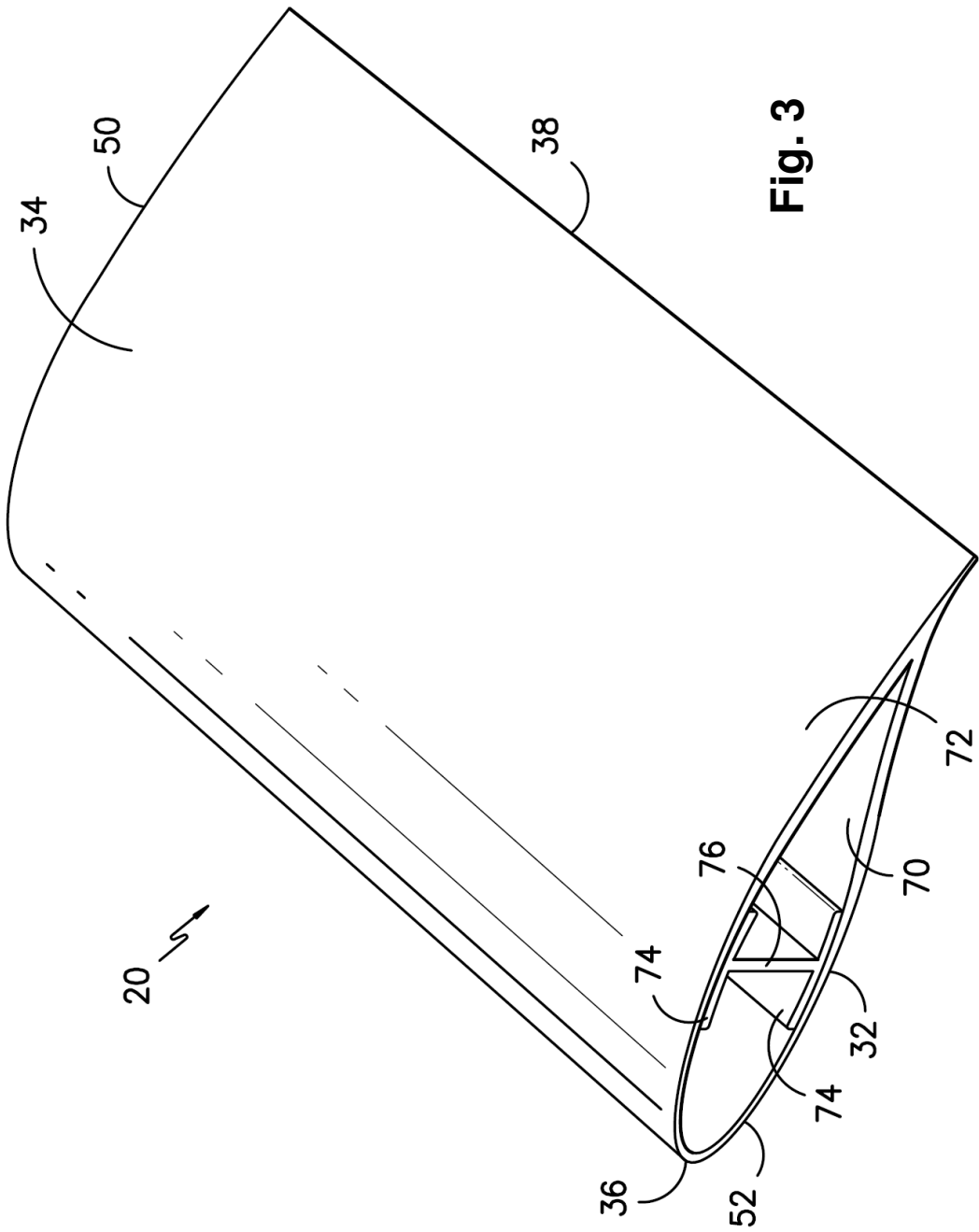


Fig. 3

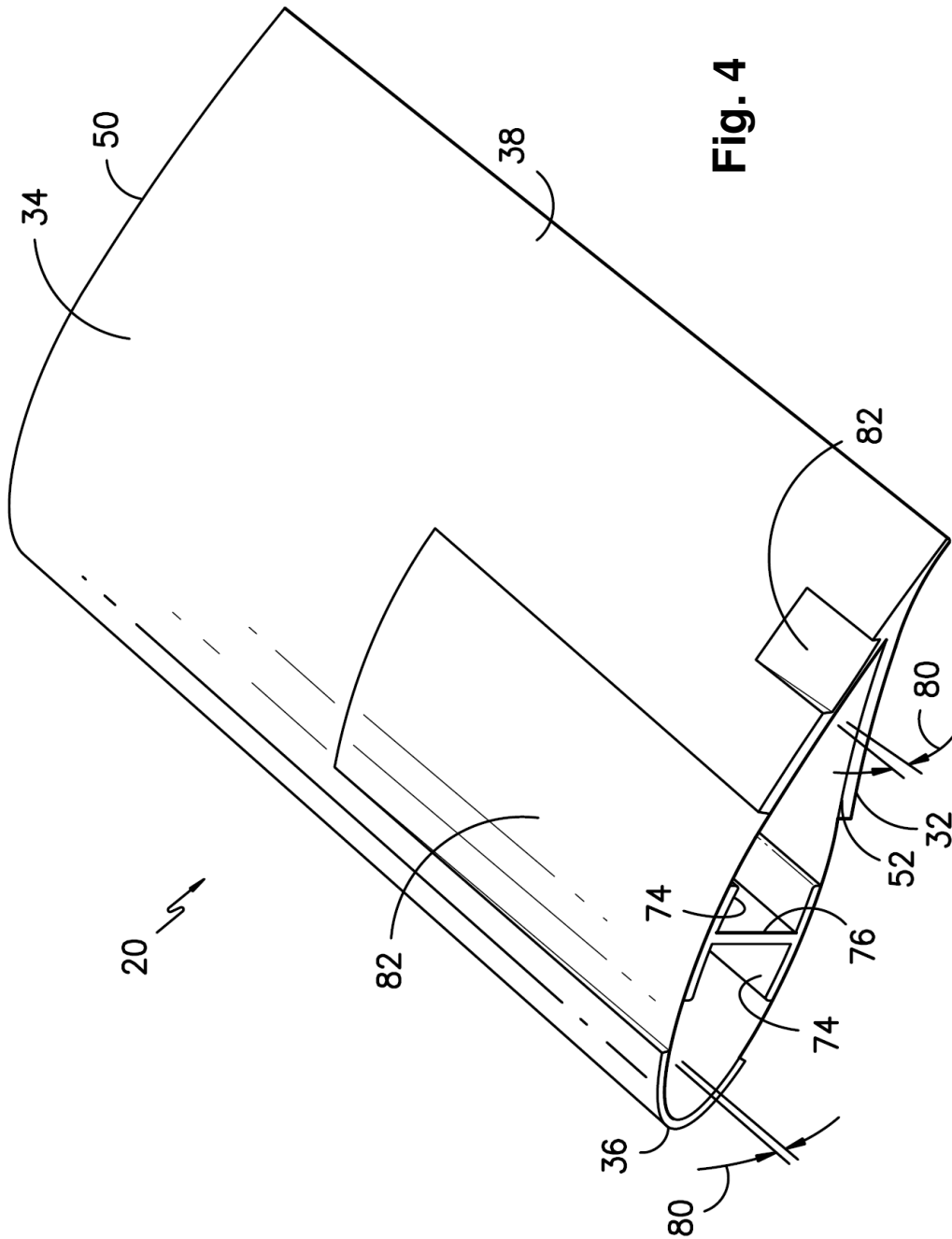


Fig. 4

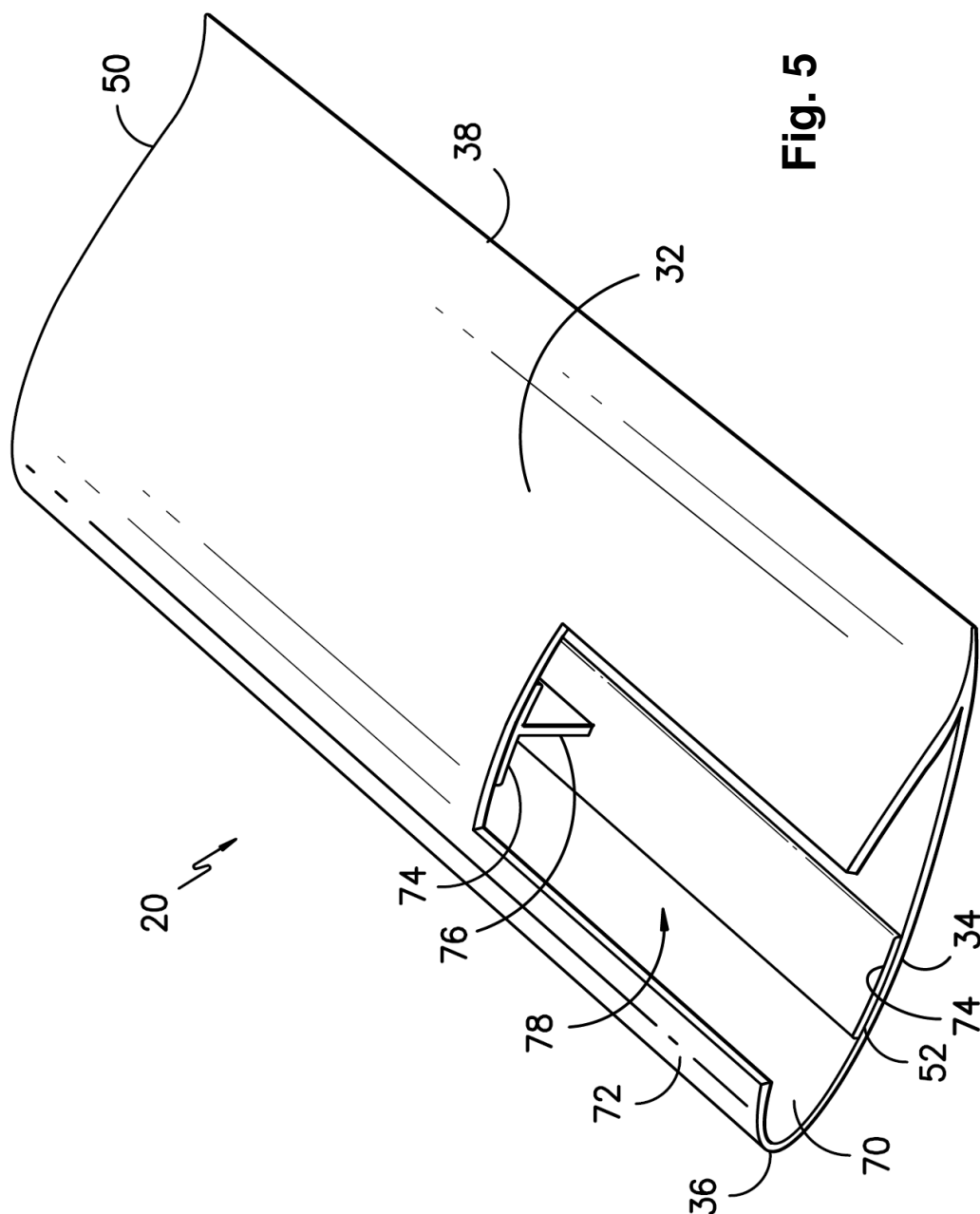


Fig. 5

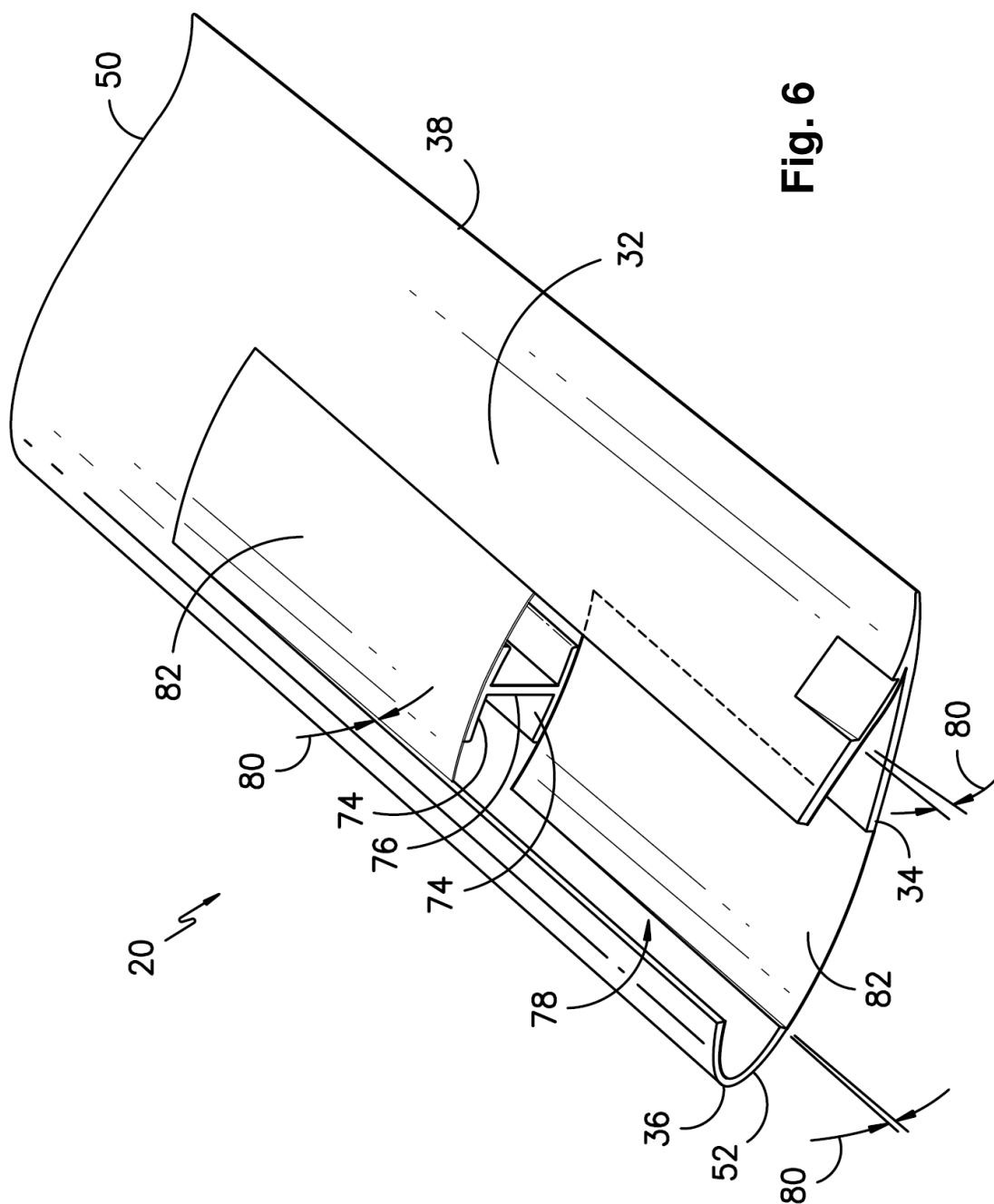


Fig. 6

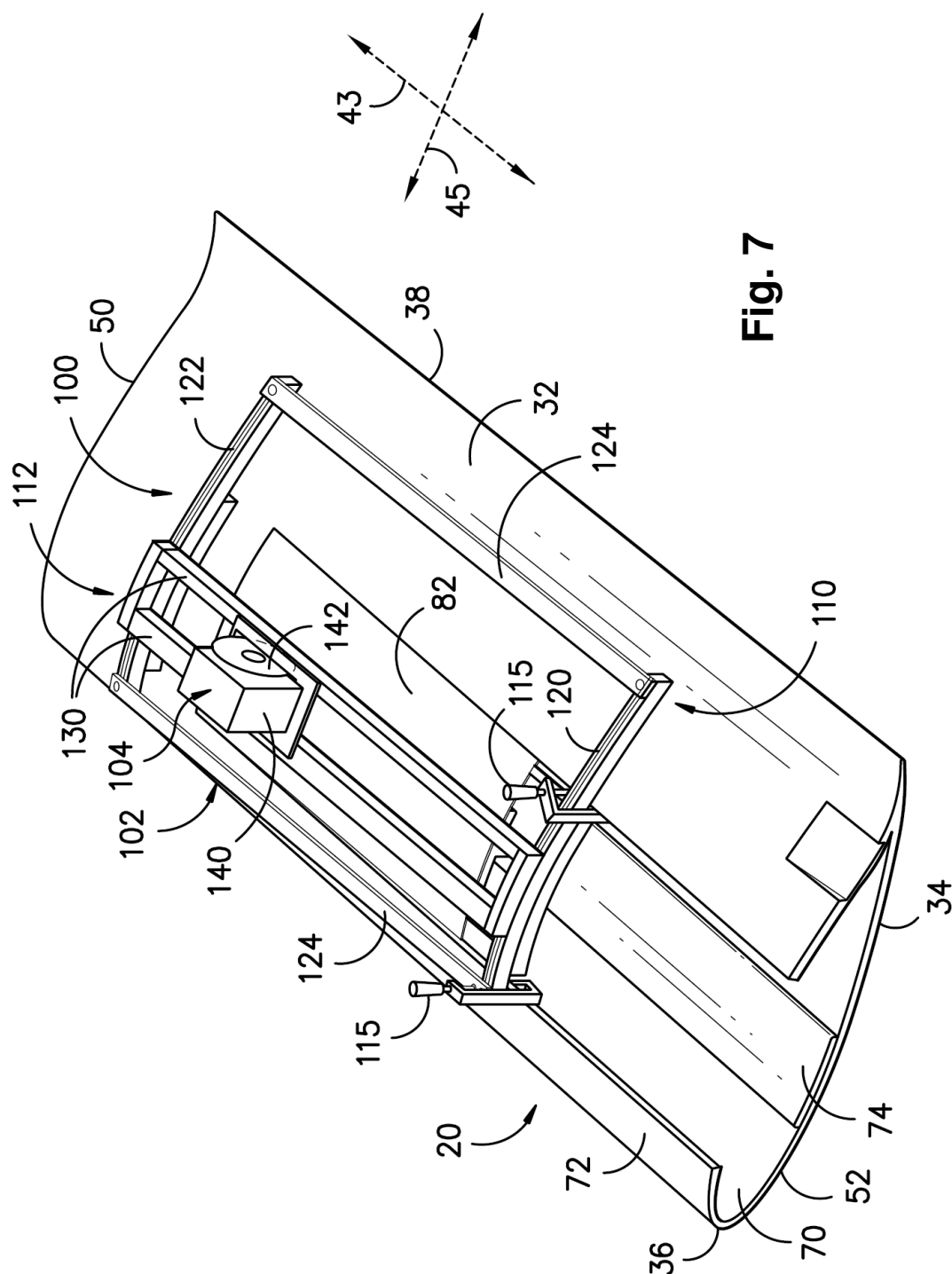


Fig. 7

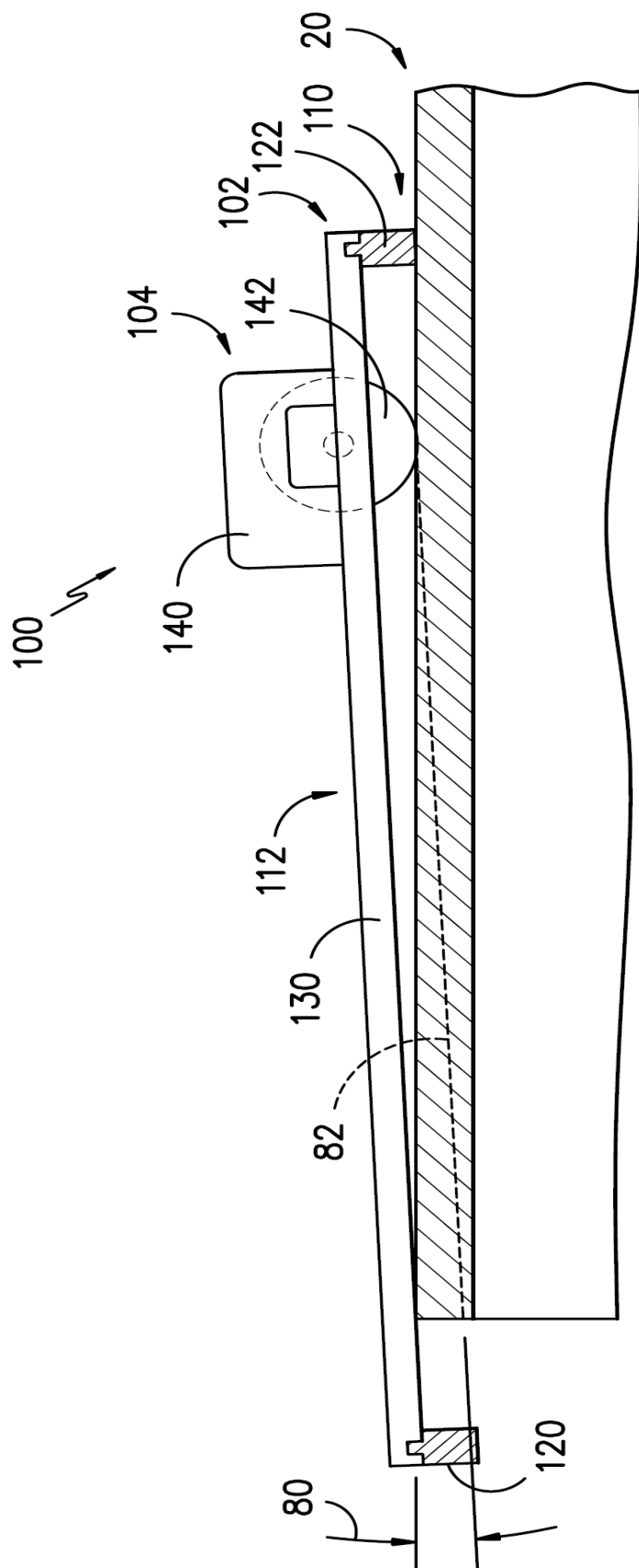


Fig. 8

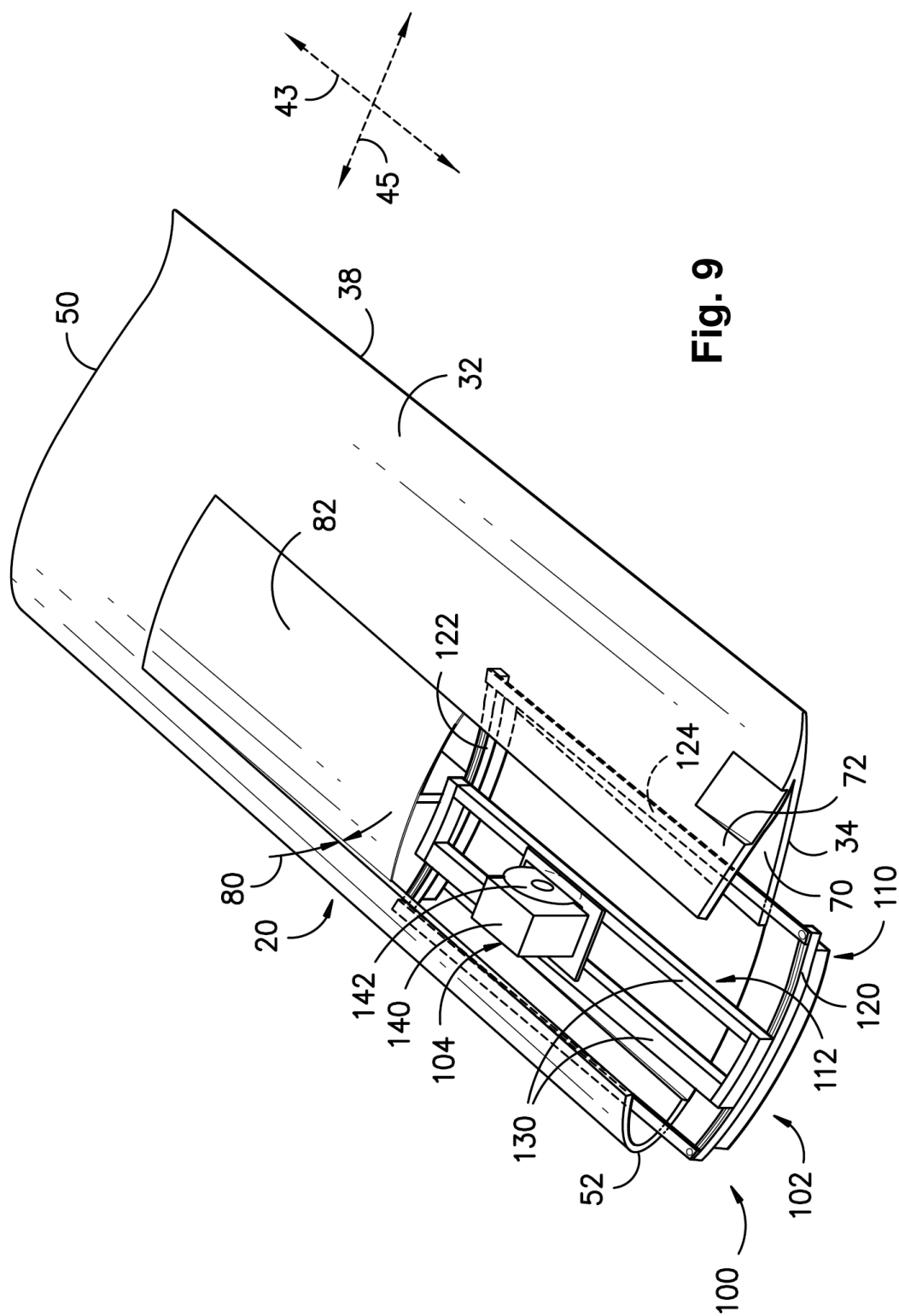


Fig. 9