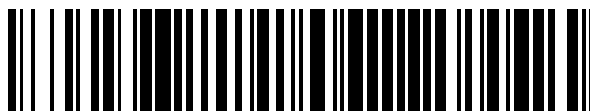


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 929 857**

51 Int. Cl.:

B29C 70/52 (2006.01)

B29D 99/00 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.03.2015** **PCT/EP2015/056876**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.10.2015** **WO15150317**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2015** **E 15712916 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.08.2022** **EP 3126127**

54 Título: **Un procedimiento y un aparato para fabricar una pieza de una pala de turbina eólica**

30 Prioridad:

02.04.2014 EP 14163192

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

02.12.2022

73 Titular/es:

LM WIND POWER A/S (100.0%)

Jupitervej 6

6000 Kolding, DK

72 Inventor/es:

NIELSEN, LARS

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 929 857 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Un procedimiento y un aparato para fabricar una pieza de una pala de turbina eólica

Campo de la invención

5 [0001] La presente invención se refiere a un procedimiento y un aparato asociado para fabricar una pieza de una pala de turbina eólica.

Antecedentes de la invención

10 [0002] En un esfuerzo por aumentar los niveles de generación de energía renovable, el diseño de las turbinas eólicas se orienta hacia un mayor tamaño de generación, lo que a menudo se traduce en una longitud de pala de turbina eólica cada vez mayor. En consecuencia, a medida que dichas palas de turbina eólica aumentan de tamaño, esto se traduce en un aumento correspondiente de la complejidad de la geometría de las palas, con palas de turbina eólica modernas que comprenden diferentes combinaciones de palas precurvaturas, en flecha ("sweeps") y curvaturas de perfiles aerodinámicos complejos. Estas estructuras relativamente complicadas introducen diferentes dificultades constructivas en la fabricación de los componentes utilizados en el conjunto de palas de turbinas eólicas y en su producción.

15 [0003] Uno de estos componentes es el alma a cortante ("shear web") de una pala de turbina eólica. Las almas a cortante suelen ser un elemento con una sección transversal en forma de I o de C que se extiende entre las superficies internas de una concha de una pala de turbina eólica. Las almas a cortante se suministran generalmente como un cuerpo de almas a cortante, por ejemplo, una construcción de panel sándwich, que se extiende entre pies de alma opuestos utilizados para unir el alma a cortante a las superficies internas de la pala de turbina eólica.

20 [0004] La fabricación de dichos pies de alma mediante pultrusión ("pultrusion") es conocida. La patente estadounidense nº 5.476.704 describe un procedimiento de fabricación de un alma a cortante para el rotor de una turbina eólica, en el que el pie de alma a cortante puede fabricarse mediante pultrusión. La altura del alma a cortante puede ajustarse mediante el mecanizado o el corte del pie de alma.

25 [0005] La patente estadounidense nº 5.820.804 divulga un procedimiento y un aparato para conformar ("shaping") un miembro alargado de manera que tenga una forma que varíe suavemente a lo largo de su longitud, utilizando unos primeros y segundos elementos que definen una abertura entre ellos. Los elementos son elementos de rodillo que tienen ranuras alrededor de su circunferencia que cambian de tamaño y forma.

30 [0006] US 2010/0024966 A1 divulga un procedimiento y un aparato para producir perfiles sólidos a partir de una tira de fibra preimpregnada con resina. El aparato incluye una unidad de corrugación con un par de rodillos de corrugación provistos de estrías circulares coincidentes, adecuados para corrugar la tira plana, y una unidad de compactación que incluye al menos un par de rodillos laterales enfrentados, adecuados para compactar la tira corrugada lateralmente hasta obtener el perfil sólido.

35 [0007] Sin embargo, un proceso de este tipo da lugar a un considerable desperdicio de material y no permite fácilmente su aplicación en las estructuras relativamente complejas de las palas de las turbinas eólicas modernas.

Resumen de la invención

40 [0008] En consecuencia, se proporciona un procedimiento de fabricación de una pieza de una pala de turbina eólica, la pieza tiene una longitud longitudinal, el procedimiento comprende las etapas de:
 pultrusionar ("pultruding") el material compuesto a través de al menos una matriz para formar una pieza de una pala de turbina eólica que tenga un perfil de sección transversal; y
 45 realizar una conformación en línea de dicha pieza para ajustar el perfil de la sección transversal de dicha pieza a lo largo de al menos una parte de la longitud de la pieza,
 en el que dicha conformación en línea comprende ajustar una trayectoria de pultrusión ("pultrusion path") del material compuesto para proporcionar una pieza de una pala de turbina eólica que tenga un perfil de sección transversal que varíe a lo largo de al menos una parte de la longitud de la pieza, y en el que dicho procedimiento comprende la etapa de proporcionar una brida de guía que tenga un perfil para definir la
 50 dirección de una trayectoria de pultrusión aguas abajo de dicha al menos una matriz, y en el que dicha etapa de conformación en línea comprende ajustar el perfil y/o la orientación de dicha brida de guía para proporcionar una pieza de una pala de turbina eólica que tenga un perfil de sección transversal que varíe a lo largo de al menos una parte de la longitud longitudinal de la pieza,
 en el que la pieza comprende una primera brida definida sustancialmente a lo largo de un primer plano de
 55 brida y una segunda brida definida sustancialmente a lo largo de un segundo plano de brida, dicho segundo

plano de brida dispuesto sustancialmente transversal a dicho primer plano de brida, y en el que dicha brida de guía ajustable está dispuesta para conformar la orientación de la segunda brida de dicha pieza con respecto a la primera brida de dicha pieza, en el que dicha brida de guía ajustable está dispuesta para ajustar el ángulo de dicha segunda brida con respecto a dicha primera brida a lo largo de dicha pieza.

5

[0009] Al realizar una conformación en línea de la pieza pultruida, no hay un desperdicio excesivo de piezas mecanizadas o cortadas. Además, el cambio de geometría puede controlarse con precisión y hacer una transición entre partes longitudinales de la pieza. Una pieza de este tipo, conformada con precisión, puede fabricarse fácilmente para que se corresponda con la superficie interna de una concha de pala de turbina eólica, a la que se va a fijar la pieza.

10

[0010] Preferentemente, dicha conformación en línea comprende el ajuste del perfil de dicha al menos una matriz para proporcionar una pieza de una pala de turbina eólica que tenga un perfil de sección transversal que varíe a lo largo de al menos una parte de la longitud de la pieza.

15

[0011] Preferiblemente, el procedimiento comprende la etapa de proporcionar al menos una matriz que tenga al menos una abertura de formación ("forming aperture"), y en la que dicha etapa de realizar una conformación en línea comprende el ajuste de las dimensiones, la forma y/o la orientación de dicha al menos una abertura de formación.

20

[0012] En un aspecto, la conformación se realiza mediante el uso de una matriz ajustable, preferentemente una matriz de pultrusión ajustable que permite ajustar el perfil de apertura de la matriz según sea necesario.

[0013] El procedimiento comprende la etapa de proporcionar una brida de guía que tenga un perfil para definir la dirección de una trayectoria de pultrusión aguas abajo de dicha al menos una matriz, y en la que dicha etapa de conformación en línea comprende ajustar el perfil y/o la orientación de dicha brida de guía para proporcionar una pieza de una pala de turbina eólica que tenga un perfil de sección transversal que varíe a lo largo de al menos una parte de la longitud de la pieza.

25

[0014] Como tal, o en combinación con una matriz ajustable, una brida de guía ajustable permite conformar la pieza pultruida. Preferiblemente, dicha brida de guía actúa sobre el perfil de la pieza pultruida mientras ésta es sustancialmente conformable o maleable para permitir la reconfiguración del perfil de la pieza. En consecuencia, una vez que la pieza ha sido reconformada, ésta puede ser curada o endurecida para fijar el perfil reformado.

30

[0015] Preferiblemente, el procedimiento comprende además la etapa de calentar dicha pieza, para permitir dicho conformado en línea de dicha pieza.

35

[0016] El calentamiento puede disponerse de manera que la pieza se mantenga a una temperatura que permita un grado de reconformada del perfil general de la sección transversal de la pieza. El calentamiento puede llevarse a cabo mediante un elemento calefactor provisto a lo largo de una parte de la trayectoria de pultrusión del material compuesto, preferentemente en y/o aguas abajo de la matriz inicial utilizada para formar la pieza pultruida.

40

[0017] Preferiblemente, el procedimiento comprende además la etapa de: curar el material compuesto para formar dicha pieza, en la que dicha etapa de curado se realiza simultáneamente y/o posteriormente a dicha etapa de realizar una conformación en línea de dicha pieza.

45

[0018] Preferiblemente, el procedimiento comprende las etapas de:
proporcionar una matriz de formación por pultrusión dispuesta para producir un perfil transversal general para una pieza; y
proporcionar una brida de guía ajustable para proporcionar el ajuste del perfil de la sección transversal de una pieza, dicha brida de guía ajustable dispuesta aguas abajo de dicha matriz de formación.

50

[0019] Preferentemente, el procedimiento comprende la etapa de:
proporcionar un sistema de curado dispuesto para curar o endurecer el material pultruido, dicho sistema de curado dispuesto aguas abajo de dicha brida de guía ajustable.

55

[0020] Además, el procedimiento comprende la etapa de:
proporcionar una matriz de conformación ajustable que tenga un sistema de curado integrado.

60

[0021] Preferiblemente, la etapa de proporcionar un sistema de curado comprende proporcionar un sistema de refrigeración. Preferiblemente, el sistema de curado comprende un sistema de intercambio de calor refrigerado por agua. Preferiblemente, el sistema de curado se proporciona como pieza de una brida de guía refrigerada por agua.

[0022] En un aspecto, no según las reivindicaciones independientes, se proporciona un procedimiento para fabricar una pieza de una pala de turbina eólica, en el que la pieza comprende una primera brida definida sustancialmente a

65

lo largo de un primer plano de brida y una segunda brida definida sustancialmente a lo largo de un segundo plano de brida, dicho segundo plano de brida dispuesto sustancialmente de forma transversal a dicho primer plano de brida, y en el que dicha etapa de ajuste se realiza de forma que el ángulo de dicho segundo plano de brida varía con respecto al ángulo de dicho primer plano de brida a lo largo de al menos una parte de la longitud de dicha pieza.

[0023] Preferiblemente, dicha etapa de ajuste se realiza de forma que dicho segundo plano de brida varía en un intervalo de aproximadamente 75-105 grados respecto a dicho primer plano de brida, alternativamente en un intervalo de 80-100 grados respecto a dicho primer plano de brida. Además, puede disponerse una matriz ajustable para ajustar la forma y/o las dimensiones de la primera y/o segunda aberturas.

[0024] El procedimiento comprende la etapa de proporcionar una herramienta de conformación en línea que tiene una brida de guía ajustable, en la que dicha brida de guía ajustable está dispuesta para conformar la orientación de la segunda brida de dicha pieza con respecto a la primera brida de dicha pieza, en la que dicha brida de guía ajustable está dispuesta para ajustar el ángulo de dicha segunda brida con respecto a dicha primera brida a lo largo de la longitud de dicha pieza.

[0025] Preferiblemente, la pieza comprende un pie de alma para un alma a corte de turbina eólica, en el que dicha primera brida comprende una brida de pie de alma, y en el que dicha segunda brida comprende una brida de conexión de alma.

[0026] Preferiblemente, dicha segunda brida define sustancialmente un canal en forma de U para recibir el cuerpo de un alma a cortante. Preferiblemente, dicha brida de guía ajustable se recibe en dicho canal sustancialmente en forma de U.

[0027] Se proporciona además un procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la pieza es al menos una parte de un alma a cortante para una pala de turbina eólica, comprendiendo el procedimiento las etapas de: seleccionar un diseño de alma a cortante deseado para un alma a cortante de pala de turbina eólica, teniendo el diseño de alma a cortante un perfil de sección transversal que varía a lo largo de una extensión longitudinal del alma a cortante.

[0028] Preferiblemente, dicha etapa de ajuste de una trayectoria de pultrusión para el material compuesto comprende el ajuste de dicha al menos una matriz ajustable; el ajuste de una matriz de conformación, y el ajuste de una brida de guía ajustable.

[0029] Preferiblemente, dicho diseño de pala de turbina eólica define un perfil interno de una pala de turbina eólica, y en el que dicha etapa de ajuste comprende el ajuste de dicho al menos una matriz ajustable basada en el perfil interno de la pala de turbina eólica, para proporcionar dicha al menos una parte de un alma a cortante que tiene un perfil de sección transversal dispuesto para corresponder con dicho perfil interno de la pala de turbina eólica.

[0030] Se entenderá que el perfil interno de la pala de turbina eólica define la ubicación de las superficies internas de pala, y en el que el perfil interno varía a lo largo de una extensión longitudinal de la pala de turbina eólica.

[0031] Se proporciona además un procedimiento de fabricación de una parte de un alma a cortante para una pala de turbina eólica, el procedimiento comprendiendo las etapas de:

fabricar al menos un pie de alma para un alma a cortante como se ha descrito anteriormente, fijar un cuerpo de alma a cortante a dicho al menos un pie de alma a cortante para formar un conjunto de alma a cortante para una pala de turbina eólica.

[0032] Se proporciona además un procedimiento de fabricación de al menos una parte de una pala de turbina eólica que comprende las etapas de:

fabricar al menos una pieza para una pala de turbina eólica como se ha descrito anteriormente; proporcionar al menos una concha de pala de turbina eólica; y fijar dicha al menos una pieza a dicha concha de turbina eólica para formar al menos una parte de una pala de turbina eólica.

[0033] Se proporciona además un aparato para la fabricación de una pieza para una pala de turbina eólica, en el que la pieza comprende una primera brida definida sustancialmente a lo largo de un primer plano de brida y una segunda brida definida sustancialmente a lo largo de un segundo plano de brida, dicho segundo plano de brida dispuesto sustancialmente de forma transversal a dicho primer plano de brida, el aparato comprendiendo:

un aparato de formación continua dispuesto para formar una pieza para una pala de turbina eólica que tenga un perfil de sección transversal; al menos un aparato de conformación acoplado a dicho aparato de formación continua; y un controlador acoplado a dicho al menos un aparato de conformación, en el que dicho controlador es operable para ajustar dicho al menos un aparato de conformación para realizar una conformación en línea del perfil de la sección transversal de una pieza para una pala de turbina eólica, en el que el aparato de conformación comprende al menos una herramienta de conformación que tiene una brida de guía ajustable,

en la que dicha brida de guía ajustable está dispuesta para conformar la orientación de la segunda brida de dicha pieza en relación con la primera brida de dicha pieza, en la que dicha brida de guía ajustable está dispuesta para ajustar el ángulo de dicha segunda brida en relación con dicha primera brida a lo largo de la longitud de dicha pieza.

[0034] Preferentemente, dicho aparato de formación continua comprende al menos una matriz de pultrusión.

[0035] Preferentemente, el aparato comprende además un sistema de curado dispuesto para curar dicha pieza para una pala de turbina eólica, preferentemente dispuesto en y/o aguas abajo de dicho aparato de conformación. Se entenderá que el sistema de curado puede comprender un aparato de refrigeración, por ejemplo, un sistema de refrigeración por agua.

[0036] Preferiblemente, dicho sistema de curado está integrado, al menos en pieza, en dicho aparato de conformación.

[0037] Preferiblemente, el aparato comprende además un sistema de calentamiento dispuesto para calentar dicha pieza para una pala de turbina eólica, preferiblemente dispuesto en y/o aguas abajo de dicho aparato de formación continua, para permitir la conformación en línea de dicha pieza.

[0038] En un aspecto, dicho sistema de calentamiento está al menos parcialmente integrado en dicho aparato de conformación.

[0039] Preferentemente, dicho controlador está dispuesto para recibir datos basados en un diseño de pala de turbina eólica que tiene un perfil de sección transversal que varía a lo largo de una extensión longitudinal de la pala de turbina eólica, y en el que dicho controlador es operable para ajustar dicho al menos un aparato de conformación para realizar una conformación en línea del perfil de sección transversal de una pieza para una pala de turbina eólica basada en dichos datos recibidos.

[0040] En un aspecto, dicho al menos un aparato de conformación comprende una matriz ajustable.

[0041] Preferiblemente, dicha matriz ajustable comprende al menos una abertura de formación, en la que las dimensiones, la forma y/o la orientación de dicha abertura de formación son ajustables.

[0042] Dicho aparato de conformación comprende al menos una herramienta de conformación que tiene una brida de guía ajustable.

[0043] Preferiblemente, la pieza comprende un pie de alma para un alma a cortante de una turbina eólica. Preferiblemente, la pieza comprende un canal sustancialmente en forma de U para recibir un cuerpo de alma a cortante.

Descripción de la invención

[0044] Las realizaciones de la invención se describirán ahora, sólo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La fig. 1 muestra una turbina eólica;

La fig. 2 muestra una vista esquemática de una pala de turbina eólica según la invención;

La fig. 3 muestra una vista esquemática de un perfil alar de la pala de la fig. 2;

La fig. 4 muestra una vista esquemática de la pala de la turbina eólica de la fig. 2, vista desde arriba y desde el lado;

La fig. 5 ilustra una vista en sección de una realización de un alma a cortante para su uso en la pala de la turbina eólica de la fig. 2;

La fig. 6 muestra un sistema para la fabricación de una pieza para una pala de turbina eólica según la invención;

La fig. 7 ilustra vistas en sección de una pieza para una pala de turbina eólica fabricada con el sistema de la fig. 6;

La fig. 8 ilustra una vista en sección de un aparato de conformación utilizado en el sistema de la fig. 6;

La fig. 9 ilustra una vista en sección de un aparato de refrigeración utilizado en el sistema de la fig. 6, y

La fig. 10 ilustra vistas transversales de una realización alternativa de un aparato de conformación para su uso en el sistema de la fig. 6.

[0045] Se entenderá que los elementos comunes a las diferentes realizaciones de la invención han sido provistos de los mismos números de referencia en los dibujos.

[0046] La fig. 1 ilustra una turbina eólica moderna convencional a barlovento 2 según el llamado "concepto danés" con una torre 4, una góndola 6 y un rotor con un eje de rotor sustancialmente horizontal. El rotor incluye un buje 8 y tres

palas 10 que se extienden radialmente desde el buje 8, cada una con una raíz de pala 16 más cercana al buje y una punta de pala 14 más alejada del buje 8. El rotor tiene un radio denotado R .

[0047] La fig. 2 muestra una vista esquemática de una pala de turbina eólica 10. La pala de la turbina eólica 10 tiene la forma de una pala de turbina eólica convencional y comprende una región de raíz 30 más cercana al buje, una región perfilada o de perfil alar 34 más alejada del buje y una región de transición 32 entre la región de raíz 30 y la región de perfil alar 34. La pala 10 comprende un borde de ataque 18 orientado en la dirección de rotación de la pala 10, cuando ésta está montada en el buje, y un borde de salida 20 orientado en la dirección opuesta al borde de ataque 18.

[0048] La región de perfil alar 34 (también llamada región perfilada) tiene una forma de pala ideal o casi ideal con respecto a la generación de sustentación, mientras que la región de raíz 30, debido a consideraciones estructurales, tiene una sección transversal sustancialmente circular o elíptica, lo que, por ejemplo, facilita y hace más seguro el montaje de la pala 10 en el buje. El diámetro (o la cuerda) de la región de raíz 30 suele ser constante a lo largo de toda la zona de raíz 30. La región de transición 32 tiene un perfil de transición 42 que cambia gradualmente de la forma circular o elíptica 40 de la región de raíz 30 al perfil alar 50 de la región de perfil alar 34. La longitud de la cuerda de la región de transición 32 suele aumentar de forma sustancialmente lineal con el incremento de la distancia r desde el buje.

[0049] La región de perfil alar 34 tiene un perfil 50 con una cuerda que se extiende entre el borde de ataque 18 y el borde de salida 20 de la pala 10. La anchura de la cuerda disminuye al aumentar la distancia r desde el buje.

[0050] Hay que tener en cuenta que las cuerdas de las diferentes secciones de la pala no suelen estar en un plano común, ya que la pala puede estar torsionada y/o curvada (es decir, precurvada), lo que proporciona al plano de cuerdas un curso correspondientemente torsionado y/o curvado, siendo esto lo más frecuente para compensar que la velocidad local de la pala depende del radio desde el buje.

[0051] La fig. 3 muestra una vista esquemática de un perfil alar 50 de una pala típica de una turbina eólica representada con los distintos parámetros que se suelen utilizar para definir la forma geométrica de una pala. El perfil alar 50 tiene un lado de presión 52 y un lado de succión 54, que durante su uso -es decir, durante la rotación del rotor- se orientan normalmente contra el viento (o barlovento) y a favor del viento (o sotavento), respectivamente. El perfil alar 50 tiene una cuerda 60 con una longitud de cuerda c que se extiende entre un borde de ataque 56 y un borde de salida 58 de la pala. El perfil alar 50 tiene un grosor t , que se define como la distancia entre el lado de presión 52 y el lado de succión 54. El espesor t del perfil alar varía a lo largo de la cuerda 60. La desviación de un perfil simétrico viene dada por una línea de curvatura 62, que es una línea mediana que atraviesa el perfil alar 50. La línea mediana puede encontrarse trazando círculos inscritos desde el borde de ataque 56 hasta el borde de salida 58. La línea mediana sigue los centros de estos círculos inscritos y la desviación o distancia desde la cuerda 60 se denomina curvatura f . La asimetría también puede definirse mediante el uso de parámetros denominados curvatura superior (o curvatura de lado de succión) y curvatura inferior (o curvatura de lado de presión), que se definen como las distancias desde la cuerda 60 y el lado de succión 54 y el lado de presión 52, respectivamente.

[0052] Los perfiles alares suelen caracterizarse por los siguientes parámetros: la longitud de cuerda c , la curvatura máxima f , la posición d_f de la curvatura máxima f , el espesor máximo del perfil alar t , que es el mayor diámetro de los círculos inscritos a lo largo de la línea de curvatura media 62, la posición d_t del espesor máximo t , y un radio de punta ("nose radius") (no mostrado). Estos parámetros se definen típicamente como relaciones con la longitud de cuerda c . Así, el espesor relativo local de la pala t/c se da como la relación entre el espesor máximo local t y la longitud de cuerda local c . Además, la posición d_p de la curvatura máxima del lado de presión puede utilizarse como parámetro de diseño, y por supuesto también la posición de la curvatura máxima del lado de succión.

[0053] La Fig. 4 muestra algunos otros parámetros geométricos de la pala. La pala tiene una longitud total de pala L . Como se muestra en la Fig. 2, el extremo de raíz está situado en la posición $r=0$, y el extremo de punta situado en $r=L$. El hombro 40 de pala está situado en una posición $r=L_w$, y tiene una anchura de hombro W , que es igual a la longitud de la cuerda en el hombro 40. El diámetro de raíz se define como D . Además, la pala está provista de una precurvatura, que se define como Δy , que corresponde a la desviación fuera de plano de un eje de pitch 22 de la pala.

[0054] La pala de la turbina eólica 10 comprende generalmente una concha hecha de polímero reforzado con fibra, y se fabrica típicamente como una pieza de concha de lado de presión o barlovento 24 y una pieza de concha de lado de succión o barlovento 26 que se pegan a lo largo de las líneas de unión 28 que se extienden a lo largo del borde de salida 20 y del borde de ataque 18 de la pala 10. Las palas de las turbinas eólicas suelen estar formadas por material plástico reforzado con fibras, por ejemplo, fibras de vidrio y/o fibras de carbono que se disponen en un molde y se curan con una resina para formar una estructura sólida. Las palas de las turbinas eólicas modernas pueden superar a menudo los 30 o 40 metros de longitud y tener diámetros de raíz de pala de varios metros. Las palas de turbinas eólicas suelen estar diseñadas para una vida útil relativamente larga y para soportar una carga estructural y dinámica considerable.

[0055] En el interior de la pala 10, se proporciona al menos un alma a cortante, que se extiende entre las superficies

internas de la pala 10, entre los lados de presión y de succión de la pala 10. Las almas a cortante pueden extenderse a lo largo de la dirección longitudinal de pala, desde una zona próxima al extremo de raíz hasta una zona próxima al extremo de punta de la pala. Las almas a cortante proporcionan rigidez estructural y resistencia al pandeo a la estructura de pala. Con referencia a la Fig. 5, se indica en 70 un ejemplo de alma a cortante según la invención. El alma a cortante 70 comprende un cuerpo principal 72 sustancialmente plano que se extiende a lo largo del alma a cortante 70. El cuerpo principal 72 puede estar provisto de una construcción de panel de sándwich. El cuerpo principal 72 comprende una primera y una segunda superficie mayor 74a,74b una frente a la otra, y una primera y una segunda superficie menor 76a,76b, estando la primera y la segunda superficie menor 76a,76b dispuestas en los respectivos extremos superior e inferior del cuerpo principal 72.

[0056] El alma a cortante 70 comprende además conectores de pie de alma superior e inferior 78a,78b, acoplados a los respectivos extremos superior e inferior del cuerpo principal 72 en dichas superficies menores primera y segunda 76a,76b. Los conectores de pie de alma 78a,78b comprenden cada uno un cuerpo 80 que tiene un canal 82 sustancialmente en forma de U definido en el mismo, el canal 82 en forma de U dispuesto para recibir un extremo del cuerpo principal 72 del alma a cortante 70. El cuerpo principal 72 se fija preferentemente a los respectivos conectores de pie de alma 78a,78b a través de una unión adhesiva 84 prevista en el canal 82 en forma de U. Adicional o alternativamente, pueden establecerse otros tipos de conexiones mecánicas entre el cuerpo principal 72 y los conectores de pie de alma 78a,78b, por ejemplo, una conexión atornillada.

[0057] El cuerpo 80 de los conectores de pie de alma 78a,78b comprende una superficie de brida de alma 85. La superficie de brida de alma 85 forma las respectivas superficies primarias de unión 70a,70b del alma a cortante 70, cuando los conectores de pie de alma 78a,78b están unidos al cuerpo principal 72 del alma a cortante 70. El alma a cortante 70 se fija a las superficies internas de una pala de turbina eólica a través de dichas superficies de unión primarias superior e inferior 70a,70b, preferentemente mediante una unión adhesiva entre las superficies de unión primarias del alma a cortante 70 y las superficies internas de pala. Aunque las superficies de unión primarias 70a,70b del alma a cortante 70 se muestran como superficies sustancialmente planas en la Fig. 5, se entenderá que las superficies 70a,70b pueden estar perfiladas para mejorar el rendimiento de la unión, por ejemplo, estriadas ("scoring"), onduladas ("rippled"), etc.

[0058] El cuerpo 80 de los conectores de pie de alma 78a,78b comprende superficies laterales 86a,86b, que se extienden desde los lados opuestos de las respectivas superficies de unión primarias 70a,70b hasta los extremos distales del canal en forma de U 82 definido en el cuerpo del pie de alma 80. Las superficies laterales 86a,86b tienen un perfil sustancialmente curvado, cuya forma permite una transferencia eficaz de fuerzas entre las superficies de unión primarias 70a,70b del alma a cortante 70 y el cuerpo principal del alma 82.

[0059] El perfil de la sección transversal de la pala de turbina eólica 10 cambia a lo largo de la longitud de la pala 10 desde el extremo de raíz 16 hasta el extremo de punta 14, debido a diversos factores como el grosor del perfil, la forma del perfil alar, la longitud de la cuerda, etc. En consecuencia, las superficies internas de la pala 10 pueden cambiar de orientación en la ubicación de las almas a cortante 70 utilizadas en la pala 10. Para acomodar dichos cambios de orientación, los conectores de pie de alma 78a,78b están configurados de manera que la orientación de las superficies de unión primarias 70a,70b en relación con el canal en forma de U 82 de los conectores de pie de alma 78a,78b varía a lo largo de la longitud del alma a cortante 70. En consecuencia, las superficies de unión primarias 70a,70b están dispuestas para seguir de cerca el perfil cambiante de las superficies internas de la pala 10, de manera que la línea de unión entre el alma a cortante 70 y las superficies internas de pala puede controlarse con precisión para seguir la geometría interna de la pala y tener una altura de línea de unión constante, garantizando así una unión segura entre los componentes a lo largo de la longitud de la pala de la turbina eólica 10.

[0060] Los conectores de pie de alma 78a,78b se proporcionan utilizando un proceso de formación continua, por ejemplo, un proceso de pultrusión o de extrusión. El uso de un proceso de formación continua permite un proceso de fabricación a gran escala, que puede ser controlado con precisión. El proceso de formación continua se mejora aún más mediante el uso de un procedimiento de conformación en línea, que permite variar la geometría de la sección transversal de los conectores de pie de alma 78a,78b a lo largo de su longitud. En la Fig. 6 se muestra un resumen de dicho proceso según un aspecto de la invención.

[0061] En la Fig. 6, se realiza un proceso de formación continua, en este caso un proceso de pultrusión, utilizando un aparato de pultrusión adecuado 90, en el que se produce una pieza continua que tiene un perfil de sección transversal mediante la pultrusión de fibras soportadas en una matriz de resina a través de una matriz de pultrusión de forma adecuada 92. Las fibras utilizadas en el proceso de pultrusión pueden comprender cualquier material adecuado para su uso en el proceso de pultrusión, por ejemplo, fibras de carbono, fibras de vidrio o una combinación de ellas. Se entenderá que las fibras pueden estar provistas de cualquier material de resina adecuado, por ejemplo, PET, poliuretano, poliéster, éster de vinilo.

[0062] En la realización de la fig. 6, la matriz de pultrusión inicial 92 produce una pieza continua 94 que tiene un perfil de sección transversal correspondiente a un conector de pie de alma 78a,78b, como se muestra en la sección transversal I-I, fig. 7(a).

[0063] Con referencia a la Fig. 8, la pieza pultruida 94 se hace pasar a continuación por una herramienta de conformación en línea 96. La herramienta de conformación 96 comprende una brida de guía ajustable 98, que está dispuesta para ser recibida en el canal en forma de U 82 de la pieza 94. La orientación de la brida 98 puede ajustarse para cambiar la forma de la sección transversal de la pieza 94. En el contexto de un conector de pie de alma 78a,78b, la forma de la pieza 94 se ajusta para cambiar la orientación del canal en forma de U 82 con respecto a la superficie de unión primaria 70a,70b del conector de pie de alma 78a,78b.

[0064] La brida 98 está provista de forma pivotante sobre un raíl 100 y acoplada con actuadores adecuados, de manera que la orientación angular y el desplazamiento lateral de la brida 98 pueden ajustarse, como indican las flechas de la fig. 8, en función de la reconformación deseada del conector del alma a cortante 78a,78b a lo largo de la longitud del alma 70.

[0065] Se entenderá que la herramienta de conformación 96 puede comprender una pieza de retención configurada para retener la superficie de unión primaria 70a,70b de la pieza 94, mientras se ajusta el canal en forma de U 82. En la realización mostrada en la Fig. 8, se proporciona un raíl o dispositivo de sujeción 102 adyacente a los extremos de las superficies laterales 86a,86b más cercanas a la superficie de unión primaria 70a,70b de la pieza 94, de tal manera que el ajuste del canal en forma de U 82 puede realizarse sin perturbar la orientación de la superficie de unión primaria 70a,70b.

[0066] La herramienta de conformación 96 puede comprender además elementos calefactores 104 dispuestos para calentar la pieza 94 a una temperatura que permita la reconformación del perfil transversal de la pieza 94 a medida que pasa por la herramienta de conformación 96. En la realización de la fig. 8, los elementos calefactores 104 están dispuestos en lados opuestos de la herramienta 96, para no impedir el movimiento de la brida ajustable 98. Adicional o alternativamente, la brida 98 puede comprender un sistema de calentamiento integrado, por ejemplo, elementos calefactores incrustados, para proporcionar un calentamiento directo del canal en forma de U 82 de la pieza 94.

[0067] Preferiblemente, la herramienta de conformación 96 está configurada para ajustar la orientación del canal en forma de U 82 con respecto a la superficie de unión primaria 70a,70b de la pieza 94, de manera que un plano de brida teórico definido como el plano primario del canal en forma de U es variado con respecto a un plano definido en la superficie de unión primaria 70a,70b de la pieza 94, variando el plano de brida teórico en un intervalo de aproximadamente 75-105 grados con respecto al plano definido en la superficie de unión, alternativamente en un intervalo de 80-100 grados con respecto a dicho plano de la superficie de unión.

[0068] Cuando la pieza 94 sale de la herramienta de conformación en línea 96, la pultrusión comprende un perfil de sección transversal ajustado, como se muestra en la sección transversal II-II, Fig. 7(b). A continuación, la pieza 94 pasa por una herramienta de curado o enfriamiento en línea 106, como se muestra en la Fig. 9. La herramienta de enfriamiento 106 de la realización es operable para enfriar la pieza 94 para endurecerla o curarla en un perfil de sección transversal relativamente fijo. La herramienta de enfriamiento 106 puede comprender cualquier aparato de enfriamiento adecuado, por ejemplo, ventiladores de enfriamiento dispuestos en lados opuestos de la herramienta 106, para soplar aire enfriado sobre la pieza 94. En la realización mostrada en la Fig. 9, la herramienta de enfriamiento 106 comprende una brida ajustable 108 similar a la brida de conformación 98 de la herramienta de conformación 96, la brida ajustable 108 dispuesta para ser recibida en el canal en forma de U 82 de la pieza 94. La brida 108 de la herramienta de enfriamiento 106 comprende un sistema integrado de enfriamiento por agua 110, que está dispuesto para enfriar directamente la superficie del canal en forma de U 82.

[0069] Una vez que la pieza pultruida 94 sale de la herramienta de enfriamiento 106, forma una pieza relativamente fija de extensión longitudinal, con un perfil de sección transversal variable. En este punto, la pieza puede cortarse en piezas que tengan la longitud deseada para su uso en una pala de turbina eólica. Las piezas pueden proporcionarse como una única pieza integrada que tenga una longitud correspondiente a una parte sustancial de la longitud de la pala, o las piezas pueden proporcionarse como partes separadas de longitud reducida, por ejemplo, para fines de transporte, que pueden ensamblarse posteriormente en una única pieza.

[0070] Se entenderá que los conectores de pie de alma producidos como pieza del proceso pueden ser ensamblados en un alma a cortante 70, aplicando un adhesivo en los respectivos canales en forma de U de los conectores y/o en el respectivo extremo de un cuerpo principal de alma a cortante. A continuación, el cuerpo principal de alma a cortante puede introducirse en los respectivos canales en forma de U, y el adhesivo se cura para unir los conectores de pie de alma al cuerpo principal, para formar el alma a cortante 70.

[0071] Preferiblemente, el proceso descrito anteriormente se lleva a cabo como pieza de un proceso más amplio de fabricación de palas, en el que el alma a cortante 70 puede colocarse en una superficie interna de concha de pala, de forma que el perfil transversal variable de los conectores de alma a cortante se corresponda precisamente con el perfil geométrico cambiante de las superficies internas de la concha de pala, permitiendo que el alma a cortante se adhiera con precisión a las paredes de la concha de pala.

[0072] Se entenderá que la disposición del sistema tal y como se muestra en las Figs. 6, 8 y 9 se proporciona a modo

de ejemplo, y las particularidades del sistema pueden ajustarse según sea necesario. Por ejemplo, el calentamiento de la pieza 94 puede llevarse a cabo antes de la herramienta de conformación 96, mientras que el sistema de enfriamiento o curado posterior está integrado en la propia herramienta de conformación 96.

5 **[0073]** En una realización particularmente preferida, el aparato 90 comprende un controlador (no mostrado) dispuesto para controlar el funcionamiento de la herramienta de conformación 96 y la herramienta de enfriamiento 106. El controlador está dispuesto para recibir los datos correspondientes a la forma geométrica de la pala de la turbina eólica 10 que se va a fabricar. El controlador es capaz de determinar el perfil variable de la sección transversal de la pala 10 y, en consecuencia, puede determinar el perfil longitudinal variable de las superficies internas de la pala, a las que se debe adherir un alma a cortante 70. En función de los requisitos adicionales específicos del proceso, por ejemplo, el espesor de la concha de pala, la altura deseada de la línea de unión, etc., el controlador puede calcular el perfil deseado de alma a cortante necesario para dicha pala. En consecuencia, el controlador puede determinar los cambios necesarios en el perfil de la sección transversal del alma a cortante 70 en la dirección longitudinal del alma a cortante 70 y, en particular, los cambios deseados en la orientación de las superficies de unión primarias 70a,70b en relación con los canales en forma de U 82 de los conectores de pie de alma 78a,78b.

15 **[0074]** El controlador es entonces operable para variar la conformación en línea realizada en la pieza pultruida 94, con el fin de ajustarse con precisión a los requisitos deseados para la pala concreta que se está construyendo, basándose en el perfil geométrico diseñado de la pala. Este proceso proporciona una fabricación precisa y eficiente de las piezas para la pala de la turbina eólica, con un mínimo de residuos y una fabricación controlada con precisión de los componentes adecuados de la pala.

20 **[0075]** La forma de realización de la invención descrita anteriormente utiliza una herramienta de conformación en línea 96 que tiene una brida de guía ajustable 98. En un aspecto adicional de la invención, el aparato 90 puede comprender una matriz de pultrusión ajustable, en la que la forma de la matriz puede variar en función del perfil de pultrusión deseado. En la Fig. 10 se indica en el punto 112 una realización de una matriz ajustable de este tipo. En la Fig. 10(a), la matriz ajustable comprende una placa de matriz fija 114 que tiene un perfil de borde que corresponde generalmente a una primera parte de una forma de perfil de pultrusión deseada, y una placa de matriz móvil 116 que tiene un perfil de borde que corresponde generalmente a una segunda parte de una forma de perfil de pultrusión deseada. En su uso, las placas de matriz fija y móvil 114,116 se superponen al menos parcialmente entre sí, de manera que la combinación de los respectivos perfiles de borde define una abertura de matriz 118 correspondiente al perfil de sección transversal de pultrusión deseado.

25 **[0076]** Con referencia a la Fig. 10(b), durante el proceso de pultrusión, la orientación de la placa de matriz móvil 116 puede variar con respecto a la placa de matriz fija 114, de manera que la abertura de matriz 118 definida por las placas de matriz 114,116 puede variar a lo largo de la longitud de una pieza pultruida a través de la abertura 118.

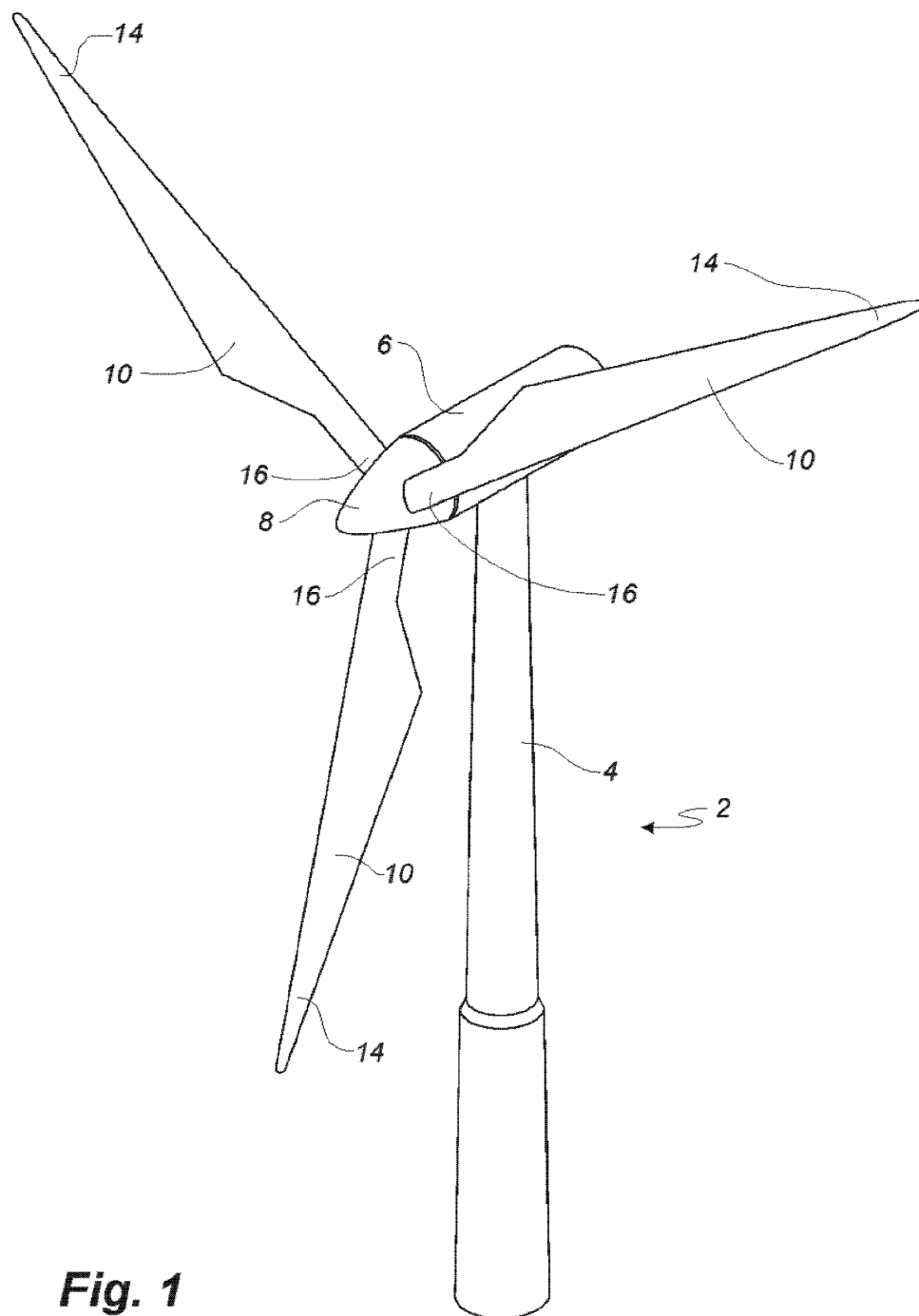
30 **[0077]** Mediante el uso del proceso descrito anteriormente, la fabricación de piezas para pala de turbina eólica, en particular almas a cortante para palas de turbina eólica, puede controlarse con precisión y producirse en masa, con un mínimo de residuos, defectos o problemas de control de calidad.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para fabricar una pieza (94) de una pala de turbina eólica, teniendo la pieza una longitud longitudinal, en el que la pieza comprende una primera brida (70a, 70b) definida sustancialmente a lo largo de un primer plano de brida y una segunda brida (82) definida sustancialmente a lo largo de un segundo plano de brida, dicho segundo plano de brida dispuesto sustancialmente transversal a dicho primer plano de brida, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
5 pultrusionar el material compuesto a través de al menos una matriz (92) para formar una pieza de una pala de turbina eólica que tiene un perfil de sección transversal; caracterizado porque el procedimiento comprende además las etapas de
10 realizar una conformación en línea de dicha pieza (94) para ajustar el perfil de la sección transversal de dicha pieza a lo largo de al menos una parte de la longitud longitudinal de la misma,
 en el que dicha conformación en línea comprende ajustar una trayectoria de pultrusión para el material compuesto para proporcionar una pieza de una pala de turbina eólica que tenga un perfil de sección transversal que varíe a lo largo de al menos una parte de la longitud de la pieza, en el que el procedimiento comprende la etapa de proporcionar una brida de guía (98) que tiene un perfil para definir la dirección de una trayectoria de pultrusión aguas abajo de dicha al menos una matriz, y en el que dicha etapa de conformación en línea comprende ajustar el perfil y/o la orientación de dicha brida de guía para proporcionar una pieza de una pala de turbina eólica que tenga un perfil de sección transversal que varíe a lo largo de al menos una parte de la longitud de la pieza,
20 y en el que dicha brida de guía ajustable (98) está dispuesta para conformar la orientación de la segunda brida de dicha pieza con respecto a la primera brida de dicha pieza, en el que dicha brida de guía ajustable está dispuesta para ajustar el ángulo de dicha segunda brida con respecto a dicha primera brida a lo largo de la longitud de dicha pieza.
25
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el procedimiento comprende además la etapa de calentar dicha pieza, para permitir dicha conformación en línea de dicha pieza.
3. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en el que el procedimiento comprende además la etapa de:
30 curar el material compuesto para formar dicha pieza, en la que dicha etapa de curado se realiza simultáneamente y/o posteriormente a dicha etapa de realizar una conformación en línea de dicha pieza.
4. El procedimiento de cualquier reivindicación anterior, en el que el procedimiento comprende las etapas de:
35 proporcionar una matriz (92) de formación de pultrusión dispuesta para producir un perfil general de sección transversal para una pieza; y
 proporcionar una matriz de conformación ajustable para proporcionar el ajuste del perfil de la sección transversal de una pieza, dicha matriz de conformación ajustable dispuesta aguas abajo de dicha matriz de formación.
40
5. El procedimiento de la reivindicación 4, en el que el procedimiento comprende la etapa de:
45 proporcionar un sistema de curado dispuesto para curar o endurecer el material pultruido, dicho sistema de curado dispuesto a continuación de dicha matriz de conformación ajustable o de dicha brida de guía ajustable.
6. El procedimiento de la reivindicación 4 o de la reivindicación 5, en el que el procedimiento comprende la etapa de:
50 proporcionar una matriz de conformación ajustable o una brida de guía ajustable que tenga un sistema de curado integrado.
7. Un procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la pieza es al menos una parte de un alma a cortante para una pala de turbina eólica, el procedimiento comprendiendo las etapas de:
55 seleccionar un diseño de alma a cortante deseado para un alma a cortante de una pala de turbina eólica, el diseño de alma a cortante teniendo un perfil de sección transversal que varía a lo largo de una extensión longitudinal del alma a cortante.
8. El procedimiento de la reivindicación 7, en el que el procedimiento comprende la etapa de:
60 proporcionar un perfil de forma aerodinámica para una pala de turbina eólica;
 proporcionar datos estructurales característicos de la pala de la turbina eólica;
 calcular un perfil de alma a cortante deseado en base a dicho perfil de forma y a dichos datos característicos;
 y
 controlar dicho proceso de formación en función de dicho perfil de alma a cortante deseado.
9. Un procedimiento de fabricación de al menos una parte de una pala de turbina eólica que comprende las etapas de:

5 fabricar al menos una pieza para una pala de turbina eólica, tal y como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8;
proporcionar al menos una concha de pala de turbina eólica; y
fijar dicha al menos una pieza a dicha concha de turbina eólica para formar al menos una parte de una pala de turbina eólica.

10. Aparato para la fabricación de una pieza para una pala de turbina eólica, en el que la pieza comprende una primera brida definida sustancialmente a lo largo de un primer plano de brida y una segunda brida definida sustancialmente a lo largo de un segundo plano de brida, dicho segundo plano de brida dispuesto sustancialmente de forma transversal a dicho primer plano de brida, el aparato comprendiendo
- 10 un aparato de formación continua (90) dispuesto para formar una pieza para una pala de turbina eólica que tenga un perfil transversal, que comprende preferentemente al menos una matriz de pultrusión (92); al menos un aparato de conformación acoplado a dicho aparato de formación continua; caracterizado porque el aparato comprende además
- 15 un controlador acoplado a dicho al menos un aparato de conformación, en el que dicho controlador es operable para ajustar dicho al menos un aparato de conformación para realizar una conformación en línea del perfil de la sección transversal de una pieza para una pala de turbina eólica, en la que el aparato de conformación comprende al menos una herramienta de conformación (96) que tiene una brida de guía ajustable (98), en el que dicha brida guía ajustable está dispuesta para conformar la
- 20 orientación de la segunda brida de dicha pieza con respecto a la primera brida de dicha pieza, en el que dicha brida de guía ajustable está dispuesta para ajustar el ángulo de dicha segunda brida con respecto a dicha primera brida a lo largo de dicha pieza.
11. El aparato de la reivindicación 10, en el que dicho controlador está dispuesto para recibir datos basados en un
- 25 diseño de pala de turbina eólica que tiene un perfil de sección transversal que varía a lo largo de una extensión longitudinal de la pala de turbina eólica, y en el que dicho controlador es operable para ajustar dicho al menos un aparato de conformación para realizar una conformación en línea del perfil de sección transversal de una pieza para una pala de turbina eólica basada en dichos datos recibidos.



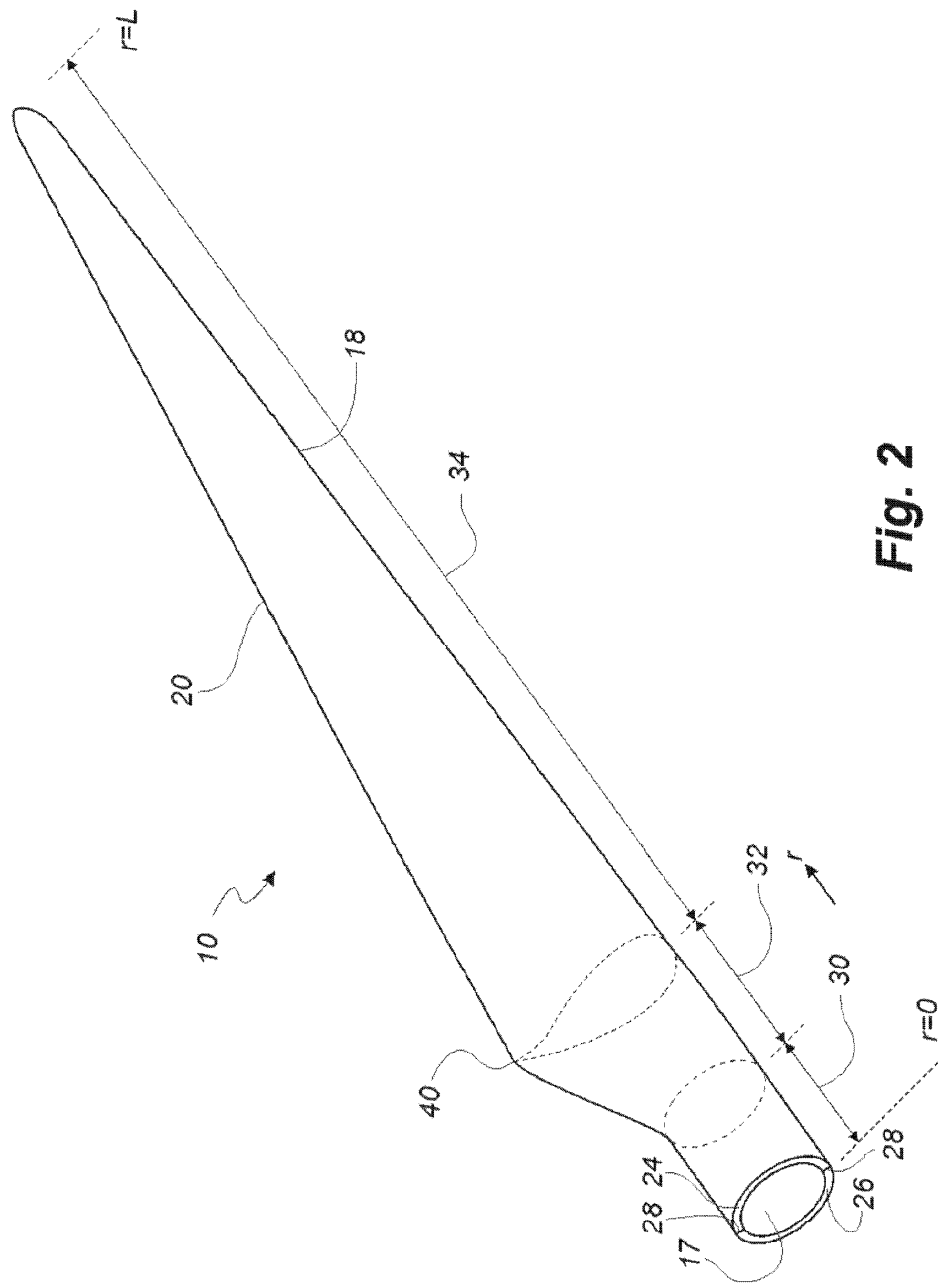


Fig. 2

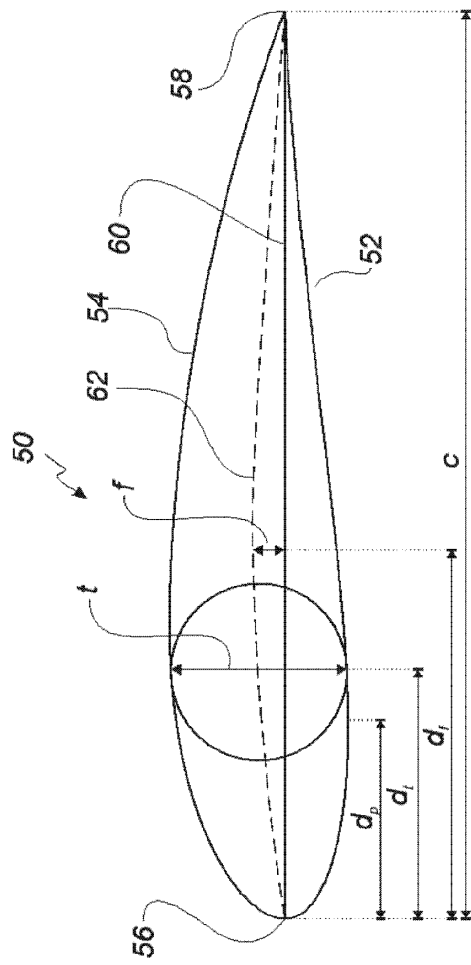


Fig. 3

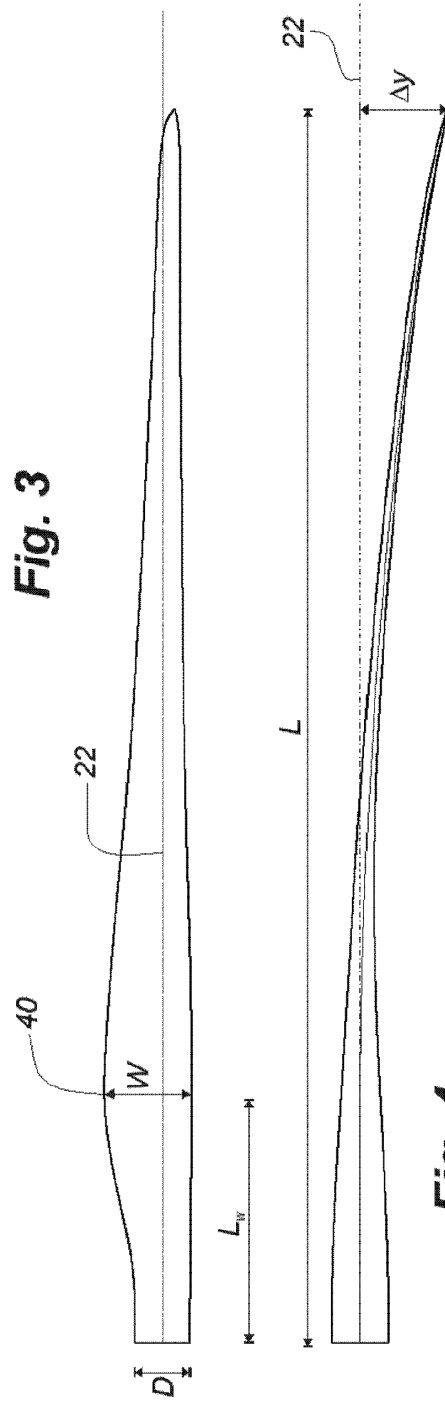
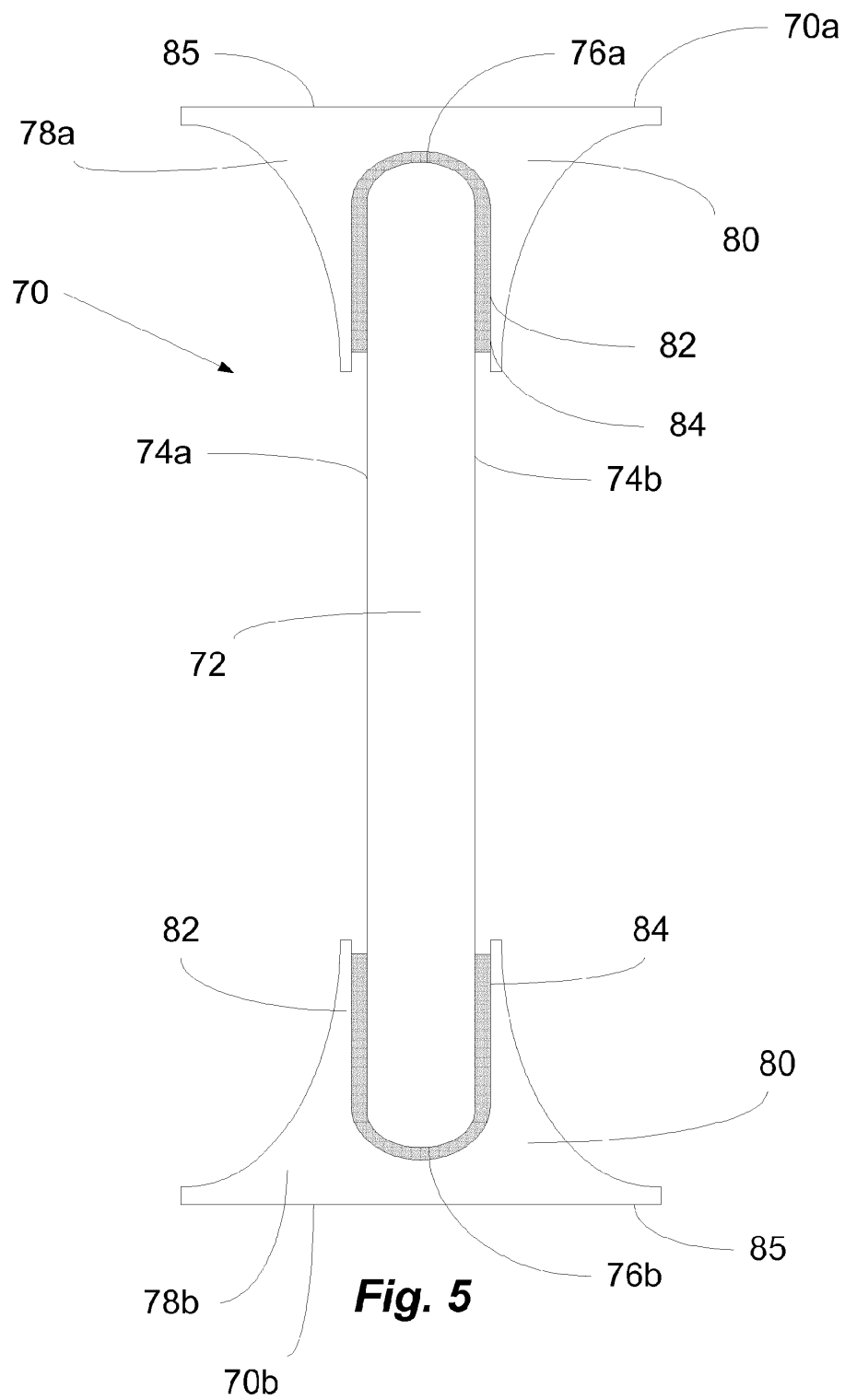


Fig. 4



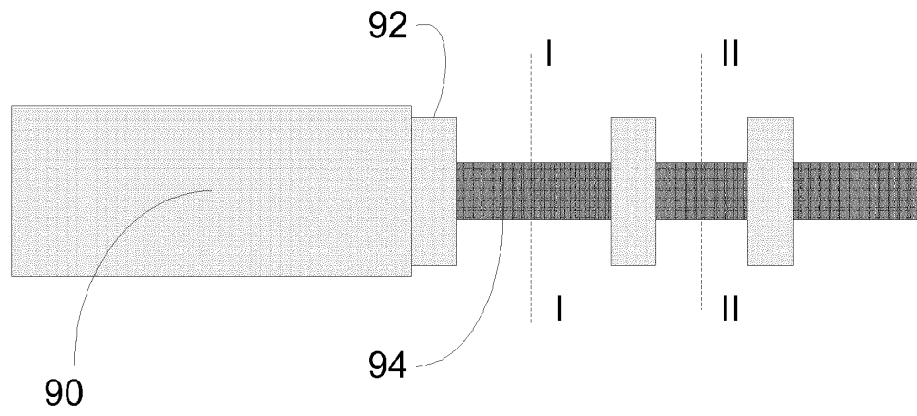


Fig. 6

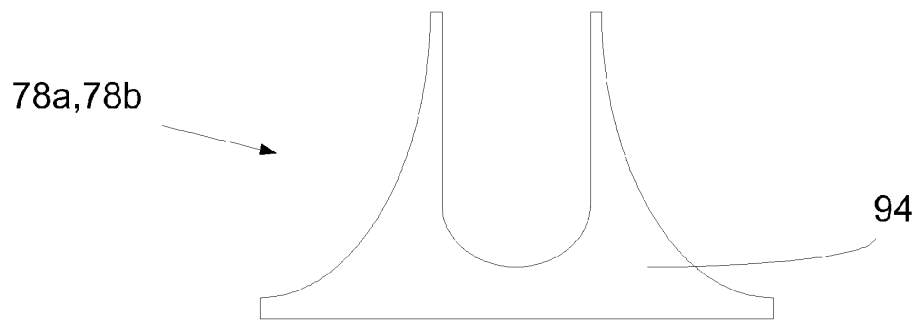


Fig. 7(a)

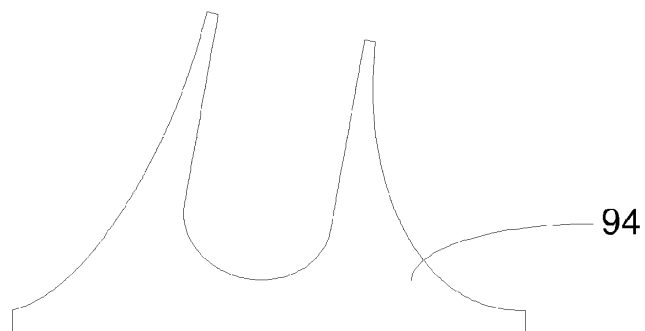


Fig. 7(b)

