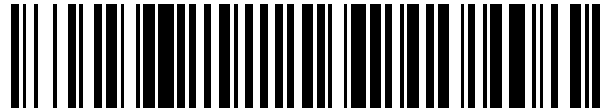


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 401 573**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/00**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.03.2003 E 03711857 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.11.2012 EP 1485610**

54 Título: **Zona de transición en pala de turbina eólica**

30 Prioridad:

**19.03.2002 DK 200200425**

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

**22.04.2013**

73 Titular/es:

**LM GLASFIBER A/S (100.0%)  
ROLLES MOELLEVEJ 1  
6640 LUNDERSKOV, DK**

72 Inventor/es:

**GRABAU, PETER y  
ANDERSEN, LARS, FUGLSANG**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 401 573 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**

Zona de transición en pala de turbina eólica

Campo técnico

5 La invención se refiere a una pala de turbina eólica de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 y a un laminado prefabricado de transición de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 14.

10 Las palas de turbinas eólicas se fabrican típicamente por medio de dos mitades de carcasa de la pala de polímero reforzado con fibra. Cuando se moldean las dos mitades se pegan juntas a lo largo de los bordes y por medio de dos elementos de arriostramiento, que anteriormente han sido pegados a la cara interna de una de las mitades de carcasa de la pala. La otra mitad de carcasa de la pala se dispone entonces en la parte superior de los elementos de arriostramiento y se pega a la misma y a lo largo de los bordes.

15 Las mitades de carcasa de la pala típicamente están fabricadas, per se, por infusión al vacío, en las que las fibras, mechas, que son manojos de fibras, bandas de mechas o esteras, que pueden ser esteras de fieltro de fibras o esteras de fibras individuales o tejidas de mechas de fibra, uniformemente distribuidas, se disponen en capas en una parte de molde y en la cubierta por una bolsa de vacío. Al crear vacío (normalmente 80-90%) en la cavidad entre la cara interna de la parte de molde y la bolsa de vacío, la resina se aspira en y llena la cavidad que contiene el material de fibra. Para obtener la distribución óptima de la resina, se utilizan a menudo las denominadas capas de distribución y canales de distribución entre la bolsa de vacío y el material de fibra.

20 El polímero utilizado es típicamente poliéster o epoxi, y el refuerzo de fibra se basa, generalmente, en fibra de vidrio. Sin embargo, también se conoce el uso de fibras de carbono que son más rígidas que las fibras de vidrio, pero tienen un menor alargamiento a rotura que las fibras de vidrio. Las fibras de carbono se pueden añadir para obtener un mayor grado de rigidez y/o un peso inferior. Por tanto, es posible dejar que una porción del refuerzo de fibra se forme de fibras de carbono para reducir el peso de la pala sin que la pala pierda demasiada rigidez. Las fibras de carbono, sin embargo, se ven entorpecidas por el inconveniente de ser significativamente más costosas que las fibras de vidrio, lo que es una de las razones por las que las palas de turbinas eólicas de polímero reforzado con  
25 fibras de carbono no son ampliamente utilizadas. Otros tipos de fibras de refuerzo, por ejemplo, fibras de aramida (Kevlar®) y otros tipos de fibras de plástico, fibras naturales, por ejemplo, fibras de cáñamo y fibras de lino pueden utilizarse también para la fabricación de palas de turbinas eólicas.

Antecedentes de la técnica

30 A partir de los documentos WO 98/53200 y WO 00/79128 se sabe cómo proporcionar una carcasa de la pala de turbina eólica de polímero reforzado con fibras de vidrio con una capa de fibra de carbono, cuyas propiedades eléctricamente conductores pueden ser utilizadas para el calentamiento de la pala para la descongelación de hielo en las mismas. La capa de fibra de carbono puede estar incrustada en el laminado de fibra de vidrio.

35 A partir del documento WO 00/14405 se sabe cómo reforzar una pala de turbina eólica de polímero de fibra de vidrio con tiras longitudinales de polímero reforzado con fibras de carbono. La misma publicación revela los denominados materiales compuestos híbridos, en los que una mezcla de fibras de vidrio y fibras de carbono se ha utilizado como refuerzo de fibra.

El documento US 6.287.122 revela la fabricación de productos compuestos alargados, en la que una variación en la rigidez del producto a lo largo de su longitud se obtiene mediante la alteración del contenido de fibras o la orientación angular de las fibras trenzadas.

40 El documento US 5.520.532 revela una parte de molde de polímero reforzado con fibras de rigidez variable, obteniéndose dicha rigidez variando el número de capas de esteras de fibra.

El documento US 4.077.740 revela un álabe de helicóptero de un material compuesto de fibras, variando la rigidez de la pala cuando se ve en dirección longitudinal. Esta característica se obtiene variando la orientación de las fibras para obtener una mayor amortiguación de las vibraciones.

45 La rigidez de una pala de turbina eólica depende, por supuesto, del espesor de la carcasa, de la geometría en sección transversal y del material. Las dimensiones en sección transversal de la pala de turbina eólica y el espesor de la carcasa varían en la dirección longitudinal de la pala. Naturalmente, las mayores dimensiones en sección transversal se encuentran en la raíz de la pala, en la que la sección transversal de la pala es, a menudo, sustancialmente circular. Además a lo largo de la pala, adopta una forma más plana, que corresponde  
50 sustancialmente a una elipse.

5 Como se ha mencionado anteriormente, se sabe cómo combinar tipos de fibra en el laminado para obtener las propiedades o compromisos deseados entre las propiedades de los diferentes tipos de fibras en cuanto al peso, rigidez y alargamiento a rotura. La construcción de una pala que tiene diferentes propiedades del material en la dirección longitudinal de la pala puede, sin embargo, también ser deseable. Las fibras de carbono son ventajosas debido a su rigidez y baja densidad, pero son por otro lado costosas en comparación con las fibras de vidrio. Por consiguiente, puede ser deseable utilizar refuerzos de fibra de carbono, puesto que el uso de las mismas es más ventajoso. Por lo tanto, puede ser ventajoso reforzar la porción más exterior de la pala con fibras de carbono y la porción más interior de la pala con fibras de vidrio para reducir el peso en la porción más exterior y minimizar con ello el momento de carga muerta. Menos material y/o una sección transversal menor se requieren, por tanto, en la porción más interior de la pala y la carga sobre el cubo de la turbina se reduce. La porción más exterior de la pala puede estar, además, provista de una mayor rigidez, con lo que se reduce el riesgo de que la pala sufra una fuerte deflexión de forma que la punta de la pala impacte sobre la torre de la turbina. Los problemas con la carga muerta elevada y la rigidez insuficiente han aumentado en los últimos años, puesto que la longitud de las palas de turbinas eólicas ha aumentado continuamente. Esta tendencia parece continuar en el futuro.

15 Para reducir el tamaño de las bridas de montaje y similares, puede surgir una demanda de pequeñas dimensiones en la sección transversal en la raíz de la pala. El peso total de la pala puede reducirse considerablemente mediante el uso de fibras de carbono como material de refuerzo para la porción más interior de la pala, es decir, para encástrela raíz de la pala.

20 Otros tipos de fibras, por ejemplo, fibras a base de celulosa, tales como fibras de cáñamo o fibras de lino son materiales potenciales para el refuerzo de palas de turbinas eólicas.

25 Pueden existir también otras razones para proporcionar diferentes posiciones en las palas de turbinas eólicas con diferentes tipos de fibras de refuerzo. Si dos zonas de una pala de turbina eólica, que están yuxtapuestas en la dirección longitudinal, están reforzadas con tipos de fibras diferentes entre sí y con rigidez y alargamiento a rotura diferentes, a la pala se le proporciona un cambio abrupto en su rigidez. En cargas dinámicas o estáticas pesadas, la mayor parte de la tensión que se recibe en las porciones más exteriores de las fibras más rígidas lo que da como resultado un alto riesgo de que estas fibras y, por lo tanto, la pala se destruyan. Dicho de otra manera, una deflexión de la pala provoca una concentración de pesadas tensiones en la superficie límite entre las dos zonas en la zona que tiene las fibras más rígidas. El problema es particularmente grave bajo cargas dinámicas a las que las palas de turbinas eólicas están sometidas.

30 Descripción de la invención

El objeto de la invención es proporcionar una pala de turbina eólica de polímero reforzado con fibras que incluya un primer tipo de fibras de una primera rigidez y un primer alargamiento a rotura, y un segundo tipo de fibras de una rigidez diferente y un alargamiento a rotura diferente, en la que las áreas de la pala puedan ser optimizadas en cuanto resistencia, carga muerta y la rigidez verse entorpecidas por efectos adversos, tales como un cambio abrupto en la rigidez.

De acuerdo con la invención, el objeto se obtiene ya que los dos tipos de fibras son así distribuidos en la matriz de polímero cuya relación cuantitativa de los dos tipos de fibras varía continuamente en la dirección longitudinal de la pala. En este contexto, la expresión "continuamente" debe entenderse en un sentido amplio y, por lo tanto, también como comprendiendo "gradualmente" y "uniformemente".

40 Esto da como resultado una suave transición entre las dos áreas de una pala de turbina eólica, teniendo dichas áreas dos grados de rigidez diferentes, debido a la diferente relación cuantitativa de un tipo de fibra con respecto a otro.

45 De acuerdo con una realización de la invención, el primer tipo de fibra puede ser fibras de vidrio y el segundo tipo pueden ser fibras de carbono, por lo que la pala de turbina eólica se conforma de tal modo que la cantidad de fibras de carbono aumenta hacia la punta de la pala. Por lo tanto, el peso se reduce en la porción más exterior, con lo que se minimiza el momento de carga muerta. Por tanto, se requiere menos material y/o una sección transversal menor, en la porción más interior de la pala y la carga sobre el cubo de la turbina se reduce.

50 A un cierto grado de rigidez, se puede reducir la carga muerta utilizando fibras de carbono en la porción más exterior, con lo que las cargas dinámicas sobre la carcasa de la pala y la raíz de la pala se pueden reducir también, siendo dichas particularmente sensibles a las cargas dinámicas. A un cierto grado de rigidez, se puede reducir la carga muerta utilizando fibras de carbono en la porción más exterior, con lo que las cargas dinámicas sobre la carcasa de la pala y la raíz de la pala se pueden reducir también, siendo dichas partes particularmente sensibles a las cargas dinámicas.

Al cambiar el contenido de fibras de carbono en la porción de extremo exterior o la longitud de las mismas, la rigidez así como las frecuencias naturales pueden variar. La rigidez y las frecuencias naturales se pueden optimizar por tanto para las condiciones específicas.

5 Una porción de extremo exterior comparativamente rígida y una porción de extremo interior comparativamente menos rígida dan como resultado una forma de deflexión ventajosa en lo que respecta a la amortiguación aerodinámica, dependiendo la amortiguación de la deflexión integrada a lo largo de la pala durante una vibración. Una amortiguación aerodinámica mayor es ventajosa porque la carga aerodinámica es por tanto reducida.

10 En comparación con una pala exclusivamente fabricada de polímero reforzado con fibras de vidrio o una pala exclusivamente fabricada de polímero reforzado con fibras de carbono, una pala de acuerdo con la invención proporciona una óptima relación de rigidez-costes.

El extremo de la pala de turbina eólica que incluye la raíz de la pala puede estar también provisto de una cantidad comparativamente grande de fibras de carbono que tienen una rigidez mayor que las fibras de vidrio, por lo que las dimensiones en sección transversal de la raíz de la pala y, por consiguiente, también el tamaño de las bridas de montaje y similares se pueden reducir.

15 De acuerdo con una realización, la relación cuantitativa puede aumentar o disminuir de forma continua de un primer nivel a un segundo nivel.

De acuerdo con una realización preferida, la relación cuantitativa varía solo en una zona de transición de una longitud más corta que la longitud de la pala. La relación cuantitativa se puede variar, por tanto, solo en un área limitada, lo que puede ser ventajoso para las razones de producción.

20 De acuerdo con una realización preferida, la zona de transición se proporciona entre una primera y una segunda zonas de una relación cuantitativa sustancialmente uniforme. Esta zona de transición puede tener, por ejemplo, una longitud comprendida entre 0,5 y 1 metro. Sin embargo, una longitud de hasta 10 metros o incluso por encima de la misma puede preferirse también. La primera zona, que puede incluir la raíz de la pala, puede contener también la mayoría de fibras de vidrio y la segunda zona, que puede incluir la punta de la pala, puede contener la mayoría de fibras de carbono, con lo que la zona de transición se proporciona a una posición en el centro de la pala.

25 De acuerdo con una realización opcional, la pala puede estar dividida en la zona de transición incluyendo la raíz de la pala y una zona adicional que incluye el resto de la pala. La cantidad de fibras de carbonos puede, por tanto, aumentar de manera constante de la raíz de la pala a la posición en la que comienza la zona adicional, con lo que el contenido de fibras de carbono permanece sustancialmente constante.

30 De acuerdo con una realización opcional, la pala puede estar dividida en la zona de transición incluyendo la punta de la pala y una zona adicional que incluye el resto de la pala.

La longitud de la zona que incluye la punta de la pala puede constituir un 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%, 75%, 80%, 85% o incluso un 90% de la longitud total de la pala.

35 De acuerdo con una realización, las fibras o manojos de fibras del primer tipo de longitudes diferentes se pueden extender desde un primer extremo de la zona de transición y la fibra o manojos de fibras del otro tipo se pueden extender desde el extremo opuesto de la zona de transición, con lo que se puede obtener una transición particularmente suave en rigidez.

40 De acuerdo con otra realización, la zona de transición puede estar formada de un laminado de varias capas de fibras, en el que cada capa de fibras tiene una superficie límite en una posición en la dirección longitudinal, incluyendo la capa de fibras las fibras de carbono en un lado de la superficie límite y las fibras de vidrio en el otro lado de la cara límite, estando las superficies límite de cada capa de fibras desplazadas cada una en relación con la otra en la dirección longitudinal de la pala. Como resultado, una variación gradual en la rigidez se obtiene en la zona de transición en una forma particularmente simple.

45 De acuerdo con una realización opcional, las superficies límite pueden estar dentadas en una vista en sección paralela a las capas de fibras. Una transición más suave en rigidez se obtiene así en la zona de transición.

De acuerdo con una realización, las puntas de las superficies límite dentadas pueden desplazarse cada una en relación con la otra en la dirección transversal de la pala. Como resultado de ello, una suave variación adicional de la rigidez se obtiene en la zona de transición.

50 De acuerdo con la invención, los dos tipos de fibras pueden estar distribuidos en bandas de refuerzo que se extienden en la dirección longitudinal de la pala, teniendo las porciones restantes de la sección transversal de la pala

un contenido constante de las fibras del primer tipo y/o del segundo tipo. Las partes de soporte de carga de la pala suelen estar fabricadas de tales bandas de refuerzo y la invención es, naturalmente, especialmente adecuada para tales partes.

5 La invención se refiere también a una preforma de carcasa de transición prefabricada para la fabricación de la carcasa de una pala de turbina eólica, estando dicha preforma de carcasa de transición fabricada de polímero reforzado con fibras incluyendo un primer tipo de fibras con una primera rigidez y un primer alargamiento a rotura y un segundo tipo de fibras con una rigidez diferente y un alargamiento a rotura diferente, y en la que cuando se observa en una vista en sección perpendicular a la dirección longitudinal de la pala, la relación cuantitativa de los dos tipos de fibras varía en la dirección longitudinal de la pala, estando los dos tipos de fibras distribuidos en la matriz de polímero y la relación cuantitativa variando continuamente en la dirección longitudinal de la preforma de carcasa de transición. Una preforma de carcasa de transición prefabricada de este tipo hace que la producción de palas de turbinas eólicas sea más rápida y simple, dado que la preforma de carcasa de transición no tiene que ser fabricada durante la producción de la pala de turbina eólica per se.

15 La preforma de carcasa de transición prefabricada puede estar formada como una banda para el refuerzo de las áreas de la carcasa de la pala que forman los lados de presión y aspiración de la pala y estando lo más separada del centro de la sección transversal.

20 Si una turbina eólica existente debe ser provista de palas más largas, esto se puede obtener mediante la sustitución de la porción más exterior de la pala por una zona de transición que incluya una o más preformas de carcasa de transición y una punta de fibra de carbono. El peso de la pala no aumenta, o solo lo hace ligeramente, en comparación con las palas originales completamente fabricadas de polímero reforzado con fibras de vidrio. Opcionalmente, se pueden fabricar palas completamente nuevas para una turbina eólica existente o la porción más exterior de las palas se puede cortar y sustituir por una punta de fibra de carbono con o sin una zona de transición.

#### Breve descripción de los dibujos

25 A continuación, la invención se explica con mayor detalle por medio de diversas realizaciones de la invención en vistas esquemáticas en los dibujos, en los que

La Figura 1 muestra una turbina eólica con tres palas,

La Figura 2 muestra una pala de turbina eólica,

La Figura 3 muestra una variación continua de la relación cuantitativa de dos tipos de fibras diferentes de acuerdo con una primera realización de la invención,

30 La Figura 4 muestra una variación continua de la relación cuantitativa de dos tipos de fibras diferentes de acuerdo con una segunda realización de la invención,

La Figura 5 muestra una variación continua de la relación cuantitativa de dos tipos de fibras diferentes de acuerdo con una tercera realización de la invención, y

35 La Figura 6 muestra diagramas que ilustran cómo la relación cuantitativa de dos tipos de fibras diferentes se puede variar en la dirección longitudinal de la pala.

#### Mejores modos de realizar la invención

La Figura 1 muestra una turbina eólica moderna que incluye una torre 12 con un cubo 13 y tres palas de turbinas eólicas 14 que se extienden desde el cubo.

40 La Figura 2 ilustra una pala de turbina eólica que incluye una primera zona 17 que incluye la punta de la pala, estando dicha zona sustancialmente reforzada con fibras de carbono. La pala incluye además una segunda zona 15 que está sustancialmente reforzada con fibras de vidrio. La primera zona 17 se extiende en la segunda zona 15 a través de una zona de transición 16 o área de transición en la que un tipo de fibras se sustituye gradualmente por el otro tipo de fibras.

45 La primera realización de la invención mostrada en la Figura 3 es una vista en sección de una carcasa de la pala de turbina eólica en un área de transición en la que la relación cuantitativa de los dos tipos de fibras con diferentes propiedades cambia gradualmente. El primer tipo de fibras 1, por ejemplo, las fibras de carbono, se extienden desde el lado izquierda de la vista en sección en forma de manojos o fibras individuales de diferentes longitudes. El otro tipo de fibras 2, por ejemplo, las fibras de vidrio, no es visible en la Figura 3, pero son complementarias a las fibras

de carbono. La transición entre los dos tipos de fibras es, por tanto, difusa de manera que una suave transición se obtiene desde la parte de la pala, que está sustancialmente reforzada con fibras de carbono, hasta la parte de la pala, que está sustancialmente reforzada con fibras de vidrio 2. Dado que las fibras de vidrio toleran una deflexión mayor que las fibras de carbono, una deflexión de la pala provoca una fuerte concentración de tensiones en las porciones de las fibras de carbono que rodean la capa límite entre los dos tipos de fibras. Esta acción se evita en la realización mostrada en la Figura 3.

La Figura 4 ilustra una segunda realización en la que las esteras de fibras de fibras no tejidas o manojos de fibras hiladas se han perforado, con lo que se proporcionan con bordes dentados en uno de sus extremos. Dos esteras en base a diferentes tipos de fibras en la misma capa de fibras tienen bordes dentados conformados de forma similar y, por lo tanto, se engranan entre sí. Los bordes dentados de las dos capas de fibras apiladas pueden ser desplazados uno en relación con el otro, como se muestra en la Figura 4, con lo que una suave transición se obtiene desde la rigidez en el área que se muestra en el lado izquierdo hasta la rigidez en el área que se muestra en el lado derecho. La Figura 4 es una vista esquemática de dos capas de fibra de carbono 3, 4 apiladas. Dos capas de fibra de vidrio correspondientes se proporcionan en el área 5. Como se muestra también en la Figura 4 las puntas 12 de los bordes dentados 11 de las dos capas de fibra de carbono 3, 4 se encuentran desplazadas en la dirección transversal para asegurar una suave transición de la rigidez. Una zona de transición entre el área con fibras de carbono y el área con fibras de vidrio es así determinada por la longitud de los bordes dentados. En consecuencia, la zona de transición puede variar de acuerdo con las necesidades, ya sea acortando o extendiendo la longitud de los bordes dentados.

La Figura 5 muestra una disposición particularmente simple de la zona de transición entre una primera zona y una segunda zona. La Figura 5 es una vista esquemática de cuatro capas de fibras apiladas, en la que las capas de fibras 6 se forman, por ejemplo, de fibras de carbono y las capas de fibras 7 se forman de fibras de vidrio. Cada capa de fibras tiene una superficie límite 10, en la que las fibras de carbono son sustituidas por fibras de vidrio, obteniéndose una zona de transición de cierta longitud, ya que cada cara límite 10 está desplazada con respecto a las otras caras. La longitud de la zona de transición puede por supuesto variarse de acuerdo con las necesidades desplazando las caras límites más o menos en relación con cada otra y/o utilizando más capas de fibras.

La Figura 6 es una vista esquemática de la relación cuantitativa de un tipo de fibras con respecto al otro tipo de fibras en la dirección longitudinal de la pala. Una primera zona de transición I y una segunda zona de transición III que contienen ambas una relación cuantitativa constante del primer tipo de fibras 8 con respecto al segundo tipo de fibras 9. Se proporciona una zona de transición II entre las dos zonas, aumentando la relación del segundo tipo de fibras 9 en dicha zona constantemente desde el nivel en la primera zona I hasta el nivel en la segunda zona III. La Figura 6a muestra de este modo una realización, en la que la primera zona I está formada únicamente de fibras del primer tipo 8 y la segunda zona III está formada únicamente de fibras del segundo tipo 9. La Figura 6b muestra una realización, en la que la primera zona I está únicamente formada de fibras del primer tipo 8 y la segunda zona III incluye una cantidad minoritaria constante del primer tipo de fibras 9 y una cantidad mayoritaria constante del segundo tipo de fibras 9. La Figura 6c muestra una realización, en la que la primera zona I incluye una cantidad mayoritaria constante del primer tipo de fibras 8 y una cantidad minoritaria constante del segundo tipo de fibras 9, y en la que la segunda zona III está formada únicamente del segundo tipo de fibras 9. La Figura 6d muestra una realización, en la que la primera zona I incluye una cantidad mayoritaria constante del primer tipo de fibras 9 y en la que la segunda zona III incluye una cantidad minoritaria constante del primer tipo de fibras de 8 y una cantidad mayoritaria constante del segundo tipo de fibras 9.

La Figura 6a ilustra, por tanto, esquemáticamente una realización preferida de una pala de turbina eólica, en la que la primera zona I es la porción de extremo exterior de la pala que incluye la punta de la pala y en la que la segunda zona III es la porción de extremo interior de la pala que incluye la raíz de la pala. La porción de la pala que incluye la punta de la pala puede, por tanto, estar exclusivamente formada por fibras de carbono y la porción de la pala que incluye la raíz de la pala puede estar exclusivamente formada por fibras de vidrio. Por consiguiente, una posición entre los dos extremos de la pala puede ser una zona de transición II, en la que las fibras de carbono y las fibras de vidrio se sustituyen entre sí. Esta zona de transición II puede tener una longitud restringida de, por ejemplo, 0,5 a 1 metro. La pala puede, sin embargo, estar también formada de acuerdo con las relaciones cuantitativas mostradas en las Figuras 6b-6d. La pala puede incluir también solo dos zonas, es decir, ya sea la primera zona I y la zona II de transición o la zona II y la segunda zona III de transición. Finalmente, la pala puede incluir solamente la zona de transición II de tal manera que la cantidad del un tipo de fibras aumenta, por ejemplo, gradualmente en toda la longitud de la pala.

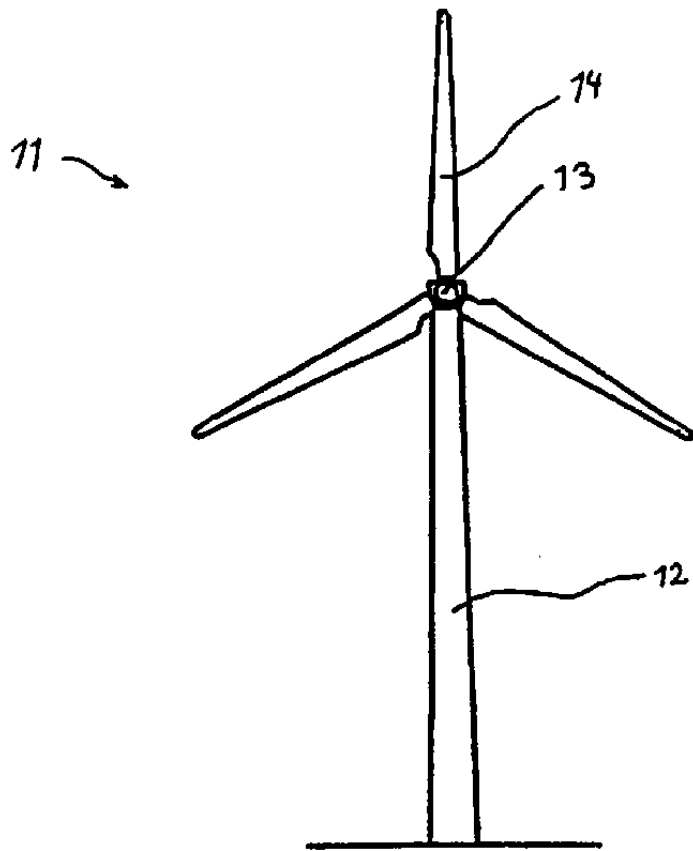
Puede proporcionarse una zona de transición en la pala durante la colocación de fibra per se en las partes de molde. Sin embargo, también es posible utilizar laminados prefabricados de transición producidos de acuerdo con los principios mostrados en las Figuras 3, 4 y 5. Tales laminados prefabricados de transición son ventajosos por razones de producción porque el tiempo de proceso de colocación de fibras es sustancialmente el mismo que en la producción de palas de turbinas eólicas convencionales, en los que se utiliza el mismo material en toda la dirección longitudinal de la pala.

- Las pruebas han demostrado que las porciones más exteriores del tipo de fibras que tiene la mayor rigidez en la zona de transición se pueden romper en la deflexión de la zona de transición, pero esto no es un efecto totalmente indeseable, ya que contribuye a un suavizar más la transición de la rigidez. La frecuencia de las fibras rotas puede, por tanto, ser alta pero no crítica, puesto que están rodeadas por fibras más elásticas. Sin embargo, las fibras rotas siguen contribuyendo a la reducción de la deflexión y, por lo tanto, a la rotura de fibras adicionales. La transición gradual y uniforme entre las propiedades del material compuesto en base a los dos tipos diferentes de fibras se obtiene, por tanto, por medio de dos factores. El primer factor es la distribución de fibras rígidas y compatibles para obtener una suave transición de la rigidez en la zona compatible. El segundo factor es la rotura no crítica, que suaviza adicionalmente la transición.
- 5
- 10 Una realización adicional no mostrada de una pala de turbina eólica de acuerdo con la invención se puede obtener por medio de un denominado proceso de pulverización. En este proceso, una pistola de pulverización se utiliza para el material polímero y una mezcla de fibras cortadas de los dos tipos se expulsa en una corriente de resina y se pulveriza en el molde. Mediante la variación de la relación de mezcla durante el proceso de pulverización, se puede obtener la zona de transición prevista.
- 15 La invención no se limita a las realizaciones anteriores. Además de fibras de vidrio y de carbono otros tipos de fibras pueden ser utilizados para la fabricación de una pala de turbina eólica de acuerdo con la invención. Los ejemplos de posibles fibras incluyen las fibras de cáñamo u otras fibras celulósicas, como fibras de aramida y otras fibras de plástico.
- 20 Por consiguiente, es posible una pala de turbina eólica en la que el extremo provisto de la raíz de la pala está principalmente fabricado de polímero reforzado con fibras de vidrio y en la que una porción central de la pala se fabrica de polímero reforzado con fibras de carbono, mientras que la punta de la pala está fabricada de polímero reforzado con fibras de aramida, la densidad de las fibras de aramida es incluso menor que la de las fibras de carbono. Por tanto, puede proporcionarse una zona de transición entre la porción reforzada con fibras de vidrio y la porción reforzada con fibras carbono y entre la porción reforzada con fibras carbono y la porción reforzada con fibras de aramida.
- 25 Además de la carcasa de la pala per se, las vigas de refuerzo y otros elementos de refuerzo internos en la pala de turbina eólica pueden estar fabricados de polímeros reforzadas con diferentes tipos de fibras, variando continuamente la relación cuantitativa de un tipo a otro tipo en la dirección longitudinal de la pala.
- 30 Las ventajas de acuerdo con la invención se obtienen especialmente en relación con las partes de soporte de carga. Las partes de soporte de carga incluyen, entre otras cosas, los laminados principales en forma de bandas longitudinales de polímero reforzado con fibras que se extienden en las áreas de lados de aspiración y de presión de la carcasa de la pala más lejos del centro de la sección transversal de la pala. Los laminados de arriostamiento de la pala en la dirección de canto en los bordes principal y secundario de la pala pueden también tener ventajosamente una relación cuantitativa continuamente variable de los dos tipos de fibras.
- 35 Debido a los rayos, puede ser ventajoso fabricar la porción más exterior de la punta de la pala completamente de fibra de vidrio para garantizar que los impactos de rayos golpeen un receptor de rayos integrado y no el material de fibra de carbono eléctricamente conductor.
- 40 El alargamiento a rotura de las fibras de vidrio es típicamente aproximadamente 4,8%, mientras que oscila típicamente entre 0,3% y 1,4% para las fibras de carbono. El módulo de Young de las fibras de vidrio es de aproximadamente 73.000 MPa, mientras que el módulo de las fibras de carbono (módulo medio) es típicamente aproximadamente 245.000 MPa. Las fibras de carbono son típicamente 3-4 veces más rígidas que las fibras de vidrio. La densidad del vidrio es de aproximadamente 2,54 g/cm<sup>3</sup>, mientras que la densidad del carbono es de aproximadamente 1,75 g/cm<sup>3</sup>.

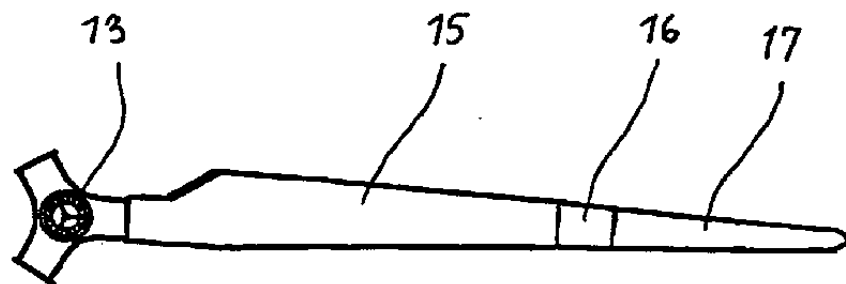
**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Pala de turbina eólica de polímero reforzado con fibras que incluye un primer tipo de fibras (1, 3, 6) de una primera rigidez y un primer alargamiento a rotura, y un segundo tipo de fibras (2, 5, 7) de una rigidez diferente y un alargamiento a rotura diferente, **caracterizada por que** los dos tipos de fibras están distribuidas en la matriz polimérica y por que, cuando se observa en una vista en sección perpendicular a la dirección longitudinal de la pala, la relación cuantitativa de los dos tipos de fibras varía continuamente en la dirección longitudinal de la pala.
2. Pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el primer tipo de fibras son las fibras de vidrio (1) y el segundo tipo de fibras son las fibras de carbono (2).
- 10 3. Pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizada por que** la relación cuantitativa aumenta o disminuye continuamente de un primer nivel a un segundo nivel.
4. Pala de turbina eólica de acuerdo con una de las reivindicaciones 1-3, **caracterizada por que** la relación cuantitativa varía continuamente en una zona de transición de una longitud menor que la longitud de la pala.
- 15 5. Pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizada por que** la zona de transición se proporciona entre una primera zona (I) y una segunda zona (III), teniendo ambas de dichas zonas una relación cuantitativa sustancialmente uniforme entre los dos tipos de fibras.
6. Pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 5, en la que la longitud de la zona de transición (II) está comprendida entre 0,5 y 1 metro.
7. Pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 4, en la que la pala está dividida en la zona de transición (II) que incluye la raíz de la pala y una zona adicional que incluye el resto de la pala.
- 20 8. Pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 4, en la que la pala está dividida en la zona de transición (II) que incluye la punta de la pala y una zona adicional que incluye el resto de la pala.
- 25 9. Pala de turbina eólica de acuerdo con una de las reivindicaciones 4-8, **caracterizada por que** las fibras o manojos de fibras del primer tipo (1) con diferentes longitudes se extienden desde un primer extremo de la zona de transición (II) y las fibras o manojos de fibras del segundo tipo (2) se extienden desde el extremo opuesto de la zona de transición (II).
- 30 10. Pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizada por que** la zona de transición (II) está formada por un laminado de varias capas de fibras (6, 7), en la que cada capa de fibras tiene una superficie límite (10) en una posición en la dirección longitudinal, incluyendo la capa de fibras las fibras del primer tipo (6) en un lado de la superficie límite y las fibras del segundo tipo (7) en el otro lado de la cara límite, estando las superficies límite (10) de cada capa de fibras desplazadas en relación con las otras capas en la dirección longitudinal de la pala.
11. Pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 10, en la que las superficies límite (11) tienen bordes dentados cuando se observan en una vista en sección paralela a las capas de fibras (3, 4, 5).
12. Pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 11, en la que las puntas (12) de las superficies límite (11) dentadas están desplazadas unas en relación con otras en la dirección transversal de la pala.
- 35 13. Pala de turbina eólica de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** los dos tipos de fibras (1, 2, 3, 5, 6, 7) están distribuidas en bandas de refuerzo que se extienden en la dirección longitudinal de la pala, teniendo las porciones restantes de la sección transversal de la pala un contenido constante de las fibras del primer tipo (1, 3, 6) y/o del segundo tipo (2, 5, 7).
- 40 14. Preforma de carcasa de transición prefabricada para la fabricación de la carcasa de una pala de turbina eólica, estando dicha preforma de carcasa de transición fabricada de polímero reforzado con fibras que incluye un primer tipo de fibras (1, 3, 6) de una primera rigidez y de un primer alargamiento a rotura, y de un segundo tipo de fibras (2, 5, 7) de una rigidez diferente y de un segundo alargamiento a rotura, **caracterizada por que** los dos tipos de fibras están distribuidas en la matriz polimérica y que, cuando se observa en una vista en sección perpendicular a la dirección longitudinal de la pala, la relación cuantitativa varía continuamente en la dirección longitudinal de la preforma de carcasa de transición.
- 45 15. Preforma de carcasa de transición prefabricada de acuerdo con la reivindicación 14, **caracterizada por que** está conformada como una banda para el refuerzo de las áreas de la carcasa de la pala que forman los lados de presión y aspiración de la pala y que están más lejos del centro de la sección transversal de la pala.





**Fig. 1**



**Fig. 2**



Fig. 3

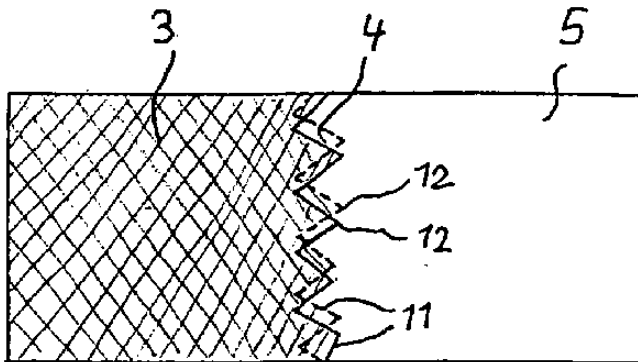


Fig. 4

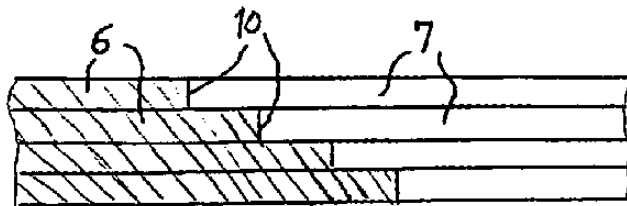


Fig. 5

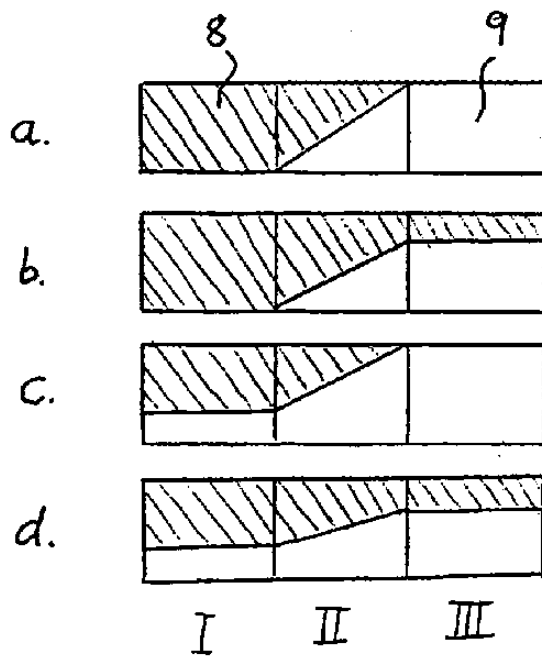


Fig. 6