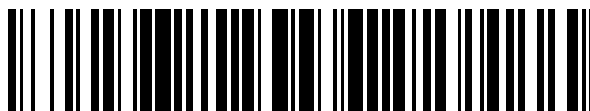


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 379 985**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09777267 .7**

96 Fecha de presentación: **17.07.2009**

97 Número de publicación de la solicitud: **2318703**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.05.2011**

54 Título: **Pala de turbina eólica**

30 Prioridad:  
**18.07.2008 GB 0813240**  
**18.07.2008 US 135337**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**07.05.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**07.05.2012**

73 Titular/es:  
**Vestas Wind Systems A/S**  
**Hedeager 44**  
**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:  
**HANCOCK, Mark**

74 Agente/Representante:  
**Arias Sanz, Juan**

ES 2 379 985 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

Pala de turbina eólica

5 La presente invención se refiere a una pala para una turbina eólica. En particular, la invención se refiere a una pala que tiene al menos un componente formado de un material compuesto reforzado con dos o más tipos diferentes de fibras de carbono que tienen un módulo de elasticidad diferente entre sí.

10 Con el desarrollo de turbinas eólicas cada vez más grandes, existe una necesidad de palas de turbina eólica de mayor longitud. Sin embargo, el uso de palas más largas plantea una serie de problemas. Uno de tales problemas es que, a medida que las palas se hacen más largas, la flexión en el plano de la punta de la pala durante el uso se incrementa, por lo que existe un mayor riesgo de que la punta de la pala choque con la torre de la turbina eólica durante vientos fuertes. Con el fin de asegurar que haya suficiente espacio entre las palas y la torre en todo momento, es necesario ya sea montar las palas a una distancia mayor desde la torre de la turbina, o alternativamente, aumentar la rigidez de las puntas de la pala de tal manera que la desviación se reduzca. La última de estas soluciones se prefiere, ya que la primera solución se sabe que aumenta los costes de la turbina eólica en su conjunto.

15 También se ha reconocido que es ventajoso reducir la cuerda de la punta de las palas de turbina eólica tanto como sea posible. Las palas con una cuerda de punta más estrecha ofrecen una serie de ventajas sobre las palas estándar, incluyendo cargas y coste reducidos para el resto de la turbina. Sin embargo, el problema de la desviación de la punta, como se ha descrito anteriormente, se hace mayor cuando la porción de punta de la pala se hace más estrecha. La mayor parte de la desviación de la punta se genera en la parte exterior de la pala hacia el extremo de la punta donde hay menos material. Las palas con una cuerda de punta reducida, por lo tanto, sólo son viables si pueden formarse de materiales que tienen un nivel suficientemente elevado de rigidez, para compensar la rigidez reducida de la porción de punta de la pala resultante de la sección transversal más pequeña. Generalmente, es económicamente más viable endurecer la pala hacia el extremo de la punta, donde hay menos material.

20 Convencionalmente, se han utilizado materiales compuestos reforzados con fibras de vidrio para producir palas de turbinas eólicas. Sin embargo, para obtener el nivel más alto de rigidez requerido para palas más largas y/o más estrechas, se requieren cantidades aumentadas de fibras de vidrio. Esto resulta en una pala más pesada y menos eficiente.

30 Las fibras de carbono también se utilizan en materiales compuestos para su uso en palas de turbinas eólicas a pesar de sus costes más altos de materias primas, ya que son más ligeras y más rígidas que las fibras de vidrio y por tanto, ofrecen un refuerzo mejorado. Los documentos WO-A-03/078832 y WO-A-03/078833 divulgan ambos una pala de turbina eólica que tiene una porción de extremo de la punta hecha sustancialmente de polímero reforzado con fibra de carbono y una porción de extremo de raíz hecho sustancialmente de polímero reforzado con fibra de vidrio. Además, el documento EP 1 746 284 divulga una pala de turbina eólica en la que las mitades de la carcasa exterior están reforzadas por la inclusión de tiras prefabricadas de fibras de carbono.

35 Sería deseable proporcionar una pala de turbina eólica mejorada, que está formada de un material que optimiza la resistencia y rigidez de la pala, de tal manera que la desviación del extremo de la punta de la pala puede reducirse. Sería particularmente deseable proporcionar una pala con una rigidez suficiente en la punta de forma que la cuerda de la punta podría reducirse considerablemente, sin el problema de la desviación de la punta. También sería deseable proporcionar una pala de turbina eólica de mayor longitud en comparación con las palas estándar, que es a la vez eficaz y económica.

40 De acuerdo con la presente invención, se proporciona una turbina eólica que tiene un extremo de la punta y un extremo de raíz y que comprende al menos un componente formado de material compuesto fibroso que incluye dos o más tipos diferentes de fibras de carbono que tienen un módulo de elasticidad diferente entre sí, en la que las proporciones de los diferentes tipos de fibras de carbono en el al menos un componente varían en la dirección longitudinal de la pala, de tal manera que el módulo de elasticidad del material compuesto fibroso aumenta hacia el extremo de la punta de la pala.

45 El "al menos un componente" puede ser cualquier elemento de la pala, incluyendo, pero no limitado a, la viga interior o almas, las tapas de larguero, las porciones de carcasa exterior, o un elemento de conexión entre dos elementos de la pala.

El término "material compuesto fibroso" se refiere a un material que comprende una resina a través de la cual han sido distribuidas las fibras de refuerzo.

50 El término "fibras" se utiliza para referirse a partículas que tienen una relación de aspecto (longitud/diámetro equivalente) de más de 10. Por diámetro equivalente se entiende el diámetro de un círculo que tiene la misma área que el área de sección transversal de la partícula.

El "módulo de elasticidad" de un material se define como la pendiente de la curva tensión-deformación del material en la

- 5 región de deformación elástica y es una medida de la rigidez del material. La unidad de módulo de elasticidad es el Pascal (Pa). Los materiales más rígidos tienen valores más altos de módulo de elasticidad. La rigidez de una pala de turbina eólica en cualquier punto a lo largo de su longitud dependerá del módulo de elasticidad del material compuesto fibroso y el área de sección transversal en ese punto. El módulo de elasticidad es también conocido como el "módulo de elasticidad" o "módulo de Young".
- 10 La proporción de cada tipo de fibra de carbono en un componente de la pala en cualquier punto a lo largo de la longitud de la pala es igual a la fracción de ese tipo de fibra en la cantidad total de fibras de carbono que se incorpora en el componente en ese punto.
- 15 Las fibras de carbono son fibras en las que el constituyente principal es el carbono. Por ejemplo, las fibras de carbono incluyen fibras que contienen grafito, carbono amorfo o nanotubos de carbono. Las fibras de carbono pueden producirse a partir de precursores de poliacrilonitrilo (PAN), brea o rayón.
- 20 Ventajosamente, las fibras de carbono tienen una relación rigidez respecto a densidad significativamente mayor que la de las fibras de vidrio y, por lo tanto, pueden proporcionar el mismo o un mayor valor de módulo de elasticidad que un material compuesto como fibras de vidrio con un peso mucho menor de fibras. A pesar de que el coste por unidad de masa de carbono es mayor que el del vidrio, dado que se requiere un menor peso de carbono que el vidrio para proporcionar el módulo de elasticidad requerido, el coste total de las palas de acuerdo con la invención no tiene que ser mucho más alto que el de las palas estándar de longitud correspondiente.
- 25 Una ventaja adicional del uso de fibras de carbono en lugar de fibras de vidrio en una pala de turbina eólica es que el peso total de la pala se reduce significativamente. Como resultado, la carga sobre la viga interior y otras partes de la turbina también se reduce.
- 30 Están disponibles fibras de carbono que tienen una amplia variedad de diferentes niveles de módulo de elasticidad y esto significa que existe una excelente flexibilidad en el diseño de palas de acuerdo con la invención y, en particular, en la variación del módulo de elasticidad del material compuesto fibroso que forma los componentes de la turbina eólica. Las fibras de carbono de módulo estándar tienen un módulo de elasticidad de aproximadamente 230 GPa mientras que las fibras de carbono de módulo más alto pueden tener un módulo de elasticidad de hasta 800 GPa. También están disponibles muchos tipos diferentes de fibras de carbono que tienen un valor intermedio de módulo de elasticidad entre estos dos valores. Preferentemente, las palas de acuerdo con la invención incluyen al menos un tipo de fibras de carbono que tienen un módulo de elasticidad mayor de 230 GPa y, más preferentemente, la pala incluye al menos un tipo que tiene un módulo de elasticidad mayor de 280 GPa.
- 35 Típicamente, el coste de las fibras de carbono aumenta a medida que aumenta el módulo de elasticidad. Por lo tanto, no es deseable desde un punto de vista económico utilizar los tipos de carbono de módulos más altos, más caros a lo largo de toda la pala y utilizar carbono de módulo más alto que el requerido en cualquier punto a lo largo de la pala.
- 40 Mediante la combinación de dos o más tipos diferentes de fibras de carbono de módulos de elasticidad diferentes entre sí en palas de acuerdo con la invención y variando las proporciones de los diferentes tipos, es posible proporcionar un refuerzo general excelente a la pala, asegurando a la vez que la pala se mantiene tan rentable como sea posible. La amplia gama de tipos de fibra de carbono de módulo de elasticidad diferentes que están disponibles significa que la rigidez general de la pala puede adaptarse de forma muy precisa para reflejar las cargas variables a las que se somete cada parte de la pala. Las fibras de carbono incorporadas en cualquier punto a lo largo de la pala pueden seleccionarse de manera que la rigidez de la pala nunca tiene que ser mayor que la requerida en ese punto, asegurando así que el coste de las fibras de carbono se mantiene al mínimo. La adaptación del módulo de elasticidad del material compuesto también puede permitir que la sección transversal de la pala se optimice adicionalmente a lo largo de su longitud sin limitación de la rigidez del material.
- 45 La combinación de dos o más tipos de fibras de carbono de diferente módulo de elasticidad entre sí puede tener otras ventajas para las propiedades del material de la pala. Por ejemplo, las fibras de carbono tienden a ser más frágiles a medida que se vuelven más rígidas y, por lo tanto, puede ser ventajoso incorporar fibras de carbono de módulo inferior, incluso en partes de la pala donde se requiere una alta proporción de fibras de módulo mayor, con el fin de evitar que el material compuesto fibroso resultante sea demasiado frágil.
- 50 Las proporciones de los dos o más tipos de fibras de carbono diferentes que tienen diferentes módulos de elasticidad entre sí se varían en la dirección longitudinal de la pala con el fin de lograr el patrón deseado de rigidez a lo largo de la longitud de la pala. Si se desea, las proporciones de los diferentes tipos de fibras de carbono también se pueden variar a lo largo de la anchura de la pala. Con el fin de obtener un componente en el que el módulo de elasticidad del material compuesto fibroso aumenta hacia el extremo de la punta de la pala, la relación de fibras de carbono de módulo alto y/o intermedio respecto a fibras de carbono de módulo estándar aumenta hacia el extremo de la punta.
- Las palas de acuerdo con la invención tienen una rigidez aumentada en el extremo exterior más alejado del eje de la

- 5 turbina y esto es ventajoso, ya que reduce la desviación por flexión en el plano de la punta de la pala durante el uso, garantizando así un espacio suficiente entre las palas y la torre de la turbina, incluso con vientos fuertes. Incluso con palas más largas, las turbinas pueden, por lo tanto, construirse con las palas más cerca de la torre de la turbina, lo que es preferible en términos de la construcción de la turbina. La reducción de la flexión de la punta de la pala también reduce la carga sobre las partes interiores de la pala y el resto de la turbina. Además, el uso de materiales compuestos fibrosos que tienen un mayor módulo de elasticidad ventajosamente reduce la flexión dinámica del borde de la pala durante el uso.
- 10 Con el uso de materiales compuestos con un mayor módulo de elasticidad hacia el extremo de la punta de la pala, tanto la cuerda de la punta como el espesor de la punta pueden reducirse en comparación con palas estándar de turbinas eólicas. Esto es ventajoso, no solamente porque la reducción de la sección transversal significa que se reduce el peso, sino también porque las cargas de fatiga en la parte interior de la pala y el resto de la turbina se reducen. Además, la reducción de la relación del espesor respecto a la cuerda en la punta optimiza la aerodinámica de la pala.
- 15 Las fibras de carbono en las palas de la presente invención pueden disponerse en cualquier orientación en el material compuesto fibroso. Por ejemplo, las fibras pueden estar orientadas unidireccionalmente, biaxialmente o al azar. Preferentemente, las fibras están orientadas principalmente unidireccionalmente, para proporcionar una mayor rigidez a la flexión y resistencia de la viga. Más preferentemente, las fibras están orientadas unidireccionalmente en la dirección longitudinal a la viga.
- Se pretende que el término "unidireccional" signifique que al menos el 75 % de las fibras están orientadas en una dirección o en un intervalo de 10 grados con respecto a esa dirección.
- 20 La resistencia y rigidez de las fibras de carbono dependerá de cuán rectas están las fibras. Cualquier doblez o pliegue en una fibra dará lugar a una concentración de esfuerzos y, por lo tanto, reducirá la resistencia de la fibra. Preferentemente, las fibras de carbono lo que se proporcionan sustancialmente en líneas rectas, con el número y tamaño de cualquier doblez o pliegue reducidos tanto como sea posible.
- 25 En ciertas realizaciones de la presente invención, las proporciones de los diferentes tipos de fibras de carbono en el al menos un componente varía en la dirección longitudinal de la pala de tal manera que a lo largo de al menos una parte del al menos un componente el aumento en el módulo de elasticidad del material fibroso es continuo o gradual.
- 30 Este aumento continuo en el módulo de elasticidad del material compuesto fibroso de al menos una componente puede lograrse, por ejemplo, introduciendo gradualmente fibras de carbono de módulo de elasticidad superior hacia el extremo de la punta de la pala o aumentando gradualmente la relación de fibras de módulos mayores respecto a fibras estándar. El cambio gradual en el módulo de elasticidad evita un cambio brusco o repentino en la rigidez del componente en uno o más puntos a lo largo de su longitud, que puede no ser deseable ya que las concentraciones de esfuerzos se encuentran típicamente en torno a la región donde cambia la rigidez.
- En realizaciones alternativas, el aumento en el módulo de elasticidad del material compuesto fibroso es un incremento escalonado.
- 35 El al menos un componente de la pala puede estar formado de dos o más porciones conectadas que tienen diferentes proporciones de los diferentes tipos de fibras de carbono entre sí, de tal manera que el módulo de elasticidad del material compuesto fibroso que forma cada una de las porciones es diferente. Además, la variación en las proporciones de los diferentes tipos de fibras de carbono en cada porción puede ser diferente a la otra porción o porciones.
- 40 A medida que el tamaño de las palas de turbina eólica aumenta, puede hacerse menos viable producir y transportar palas de una pieza. Por consiguiente, puede ser deseable preparar porciones más pequeñas de los componentes de la pala y conectar las porciones más pequeñas para formar la estructura final en una fase y/o instalación posterior.
- 45 Las dos o más porciones pueden conectarse entre sí directamente, o indirectamente por medio de un elemento conector intermedio. La inclusión de un elemento conector aumenta la resistencia mecánica de la pala en la unión entre las porciones y puede ser particularmente ventajoso cuando las propiedades mecánicas de las porciones que se conectan entre sí son diferentes, ya que puede haber una concentración de tensión en las zonas de la viga donde hay una transición brusca, por ejemplo, en la rigidez.
- 50 Es importante que el elemento conector proporcione una unión fuerte entre las diferentes porciones de la pala ya que la junta debe ser capaz de soportar altas tensiones. Por lo tanto, el elemento de conexión preferentemente también comprende dos o más tipos diferentes de fibras de carbono de módulo de elasticidad diferente entre sí. Las fibras en el elemento conector pueden estar orientadas en cualquier ángulo con respecto a las fibras en las porciones de extremo de la punta y de extremo de la raíz, pero están preferentemente orientadas en un ángulo respecto a la interfaz entre las porciones. Esto aumenta la resistencia mecánica de la conexión, comparada con cuando las fibras están paralelas a la interfaz. Ejemplos de elementos conectores adecuados se describen en, por ejemplo, los documentos WO-A-2004/078462 y US-A-2006/0083907.

Las proporciones de los diferentes tipos de fibras de carbono en el al menos un componente puede variar en la dirección longitudinal de la pala para proporcionar al menos dos regiones en las que el material compuesto fibroso tiene un mayor módulo de elasticidad que en el resto del componente. Esto puede ser deseable por un número de razones, por ejemplo, para adaptar las frecuencias naturales de la pala.

5 En una primera realización preferida de la presente invención, la pala de la turbina eólica comprende una viga longitudinal interior que se extiende a través del centro de la pala, en el que la viga interior está formada de material compuesto fibroso que incluye dos o más tipos diferentes de carbono que tienen un módulo de elasticidad diferente entre sí, en el que las proporciones de los diferentes tipos de fibras varían en la dirección longitudinal de la viga interior de forma tal que el módulo de elasticidad de los materiales fibrosos compuestos aumenta hacia el extremo de la punta de la pala.

10 Las proporciones de los diferentes tipos de fibras de carbono pueden variar sustancialmente de forma continua a lo largo de la viga o pueden variar de una manera escalonada. Preferentemente, hay un continuo aumento en el módulo de elasticidad del material fibroso que forma la viga hacia el extremo de la punta, que se puede conseguir mediante el aumento de la proporción de fibras de carbono de módulo más alto hacia el extremo de la punta. Además de la región de mayor módulo de elasticidad hacia el extremo de la punta, la viga puede incluir una o más de otras regiones a lo largo de su longitud donde el material compuesto fibroso tiene un mayor módulo de elasticidad que en el resto de la viga.

15 Las palas de turbina eólica de acuerdo con la primera realización de la invención son preferentemente de un diseño conocido, en el que la pala comprende dos o más porciones de carcasa exterior que forman la superficie aerodinámica de la pala y una o más vigas centrales, interiores, que se extienden longitudinalmente a través de la cavidad interior de la pala y que están conectadas a cada una de las porciones de carcasa exterior. Típicamente, la viga interior es el principal componente de soporte de carga y, por tanto, es importante optimizar su rigidez, particularmente en el extremo de la punta de la pala. Las porciones de carcasa exterior pueden contribuir significativamente o no a la rigidez general de las palas. Dependiendo de la rigidez requerida, las porciones de carcasa exterior pueden incluir uno o más tipos diferentes de fibras de carbono.

20 La viga interior es preferentemente cuadrangular en su sección transversal, pero otras secciones transversales también pueden ser adecuadas, tal como una sección transversal circular, en forma de I o en forma de C. Las vigas interiores de sección transversal en forma de I o en forma de C a veces son llamadas almas. La sección transversal de la viga interior puede adaptarse a fin de optimizar el contacto entre la viga interior y las porciones de carcasa exterior. Por ejemplo, las superficies de la viga a la que las porciones de carcasa exteriores están conectadas (conocidas como "tapas de larguero") pueden tener una forma tal que se maximiza el área de contacto entre la viga y las porciones de carcasa exterior.

25 Típicamente, para justificar el tamaño decreciente de la sección transversal de la pala hacia el extremo de la punta, habrá una disminución correspondiente en la sección transversal de la viga interior hacia el extremo de la punta.

30 Durante el uso, la carga será diferente en los diferentes lados de la viga interior. Por ejemplo, en cualquier momento, una de las tapas de larguero de la viga se cargará principalmente en tensión, mientras que la tapa de larguero opuesta principalmente se cargará en la compresión. El uno o más lados, o las almas que se extienden entre las tapas de larguero se cargarán principalmente por cizalladura. Las fuerzas sobre cada lado de la viga se alteran a medida que el viento pasa por la pala de turbina. Durante el uso, las tapas de larguero se someten a fuerzas mucho mayores que los lados o las almas de conexión y, por lo tanto, la mayoría del refuerzo en la viga se proporciona en las tapas de larguero. Preferentemente, por lo tanto, el módulo de elasticidad del material compuesto fibroso que forma las tapas de larguero es mayor que en el resto de la viga.

35 El aumento en el módulo de elasticidad de las tapas de larguero a través de la inclusión de fibras de carbono de módulo superior permite que el espesor de las tapas de larguero se reduzca. La distancia entre los centroides de las dos tapas de larguero se incrementa y, ventajosamente, la cantidad de material requerido para formar las tapas de larguero se reduce. Además, hay un aumento en la rigidez de flexión en el plano por unidad de superficie de la tapa de larguero. La eficiencia general y el coste de las palas, por lo tanto, se optimizan.

40 Las tapas de larguero de la viga interior pueden estar formadas de una única capa de material, pero se forman preferentemente a partir de un material laminar que comprende dos o más capas del mismo, o de materiales diferentes. Algunas, o todas las capas del material laminar pueden comprender fibras de carbono. Las fibras de carbono en cada capa pueden estar orientadas en la misma o en una dirección diferente a las fibras en la capa o capas contiguas. En ciertas realizaciones, la orientación de las capas puede variar con el fin de alterar las propiedades mecánicas del material. Un ejemplo de un material laminar adecuado se describe en el documento WO 2004/078465.

45 Las tapas de larguero pueden estar completamente cubiertas por las porciones de carcasa exterior, o pueden estar al menos parcialmente expuestas, de modo que sus superficies forman una parte de la superficie exterior de la pala.

50 La viga interior de las palas de acuerdo con la primera realización preferida de la presente invención puede estar formada por dos o más porciones conectadas. Por ejemplo, la viga interior puede comprender una porción exterior, de extremo de la punta y una porción interior, de extremo de la raíz, que se forman por separado, pero conectadas entre sí para formar la

- viga final. Las proporciones de los diferentes tipos de fibras de carbono son diferentes en la porción de extremo de la punta y en la porción de extremo de la raíz, de tal manera que el módulo de elasticidad del material compuesto fibroso que forma la porción de extremo de la punta es más alto que el del material compuesto fibroso que forma la porción de extremo de la raíz. Esto podría lograrse, por ejemplo, incorporando una mayor proporción de fibras de carbono de alto módulo en la porción de punta que en la porción de la raíz. Dentro de cada porción, las proporciones de los diferentes tipos de carbono también se pueden variar en la dirección longitudinal de la pala para explicar las diferencias en la carga en diferentes posiciones a lo largo de la longitud de esa parte.
- En una segunda realización preferida de la presente invención, la pala de turbina eólica comprende dos o más porciones de carcasa exterior, en la que cada una de las porciones de carcasa exterior está al menos parcialmente formada por material compuesto fibroso que comprende dos o más tipos diferentes de fibras de carbono que tienen un diferente módulo de elasticidad entre sí.
- Las proporciones de los diferentes tipos de fibras de carbono pueden variar continuamente a lo largo de las porciones de carcasa exterior o pueden variar de una manera escalonada. Preferentemente, hay un aumento continuo en el módulo de elasticidad del material compuesto fibroso que forma las porciones de carcasa exterior hacia el extremo de la punta de la pala, lo que puede lograrse aumentando la proporción de fibras de carbono de módulo más alto respecto a las fibras de carbono de módulo inferior hacia el extremo de la punta. Además del mayor módulo de elasticidad del material compuesto fibroso en el extremo exterior de la pala, las porciones de carcasa pueden incluir una o más regiones diferentes a lo largo de su longitud, donde el módulo de elasticidad es mayor que en el resto del componente.
- Las palas de turbina eólica de acuerdo con la segunda realización de la invención también son preferentemente de un diseño conocido en el que la pala comprende dos o más porciones de carcasa exterior y un par de almas centrales, interiores que conectan las porciones de carcasa exterior y se extienden longitudinalmente a través del interior de la pala. Típicamente, las porciones de carcasa reforzadas exteriores son los principales componentes del soporte de carga y, por tanto, es importante optimizar su rigidez, particularmente en el extremo de la punta de la pala.
- Debido a la mayor rigidez de las porciones de carcasa exterior, las bandas interiores contribuyen significativamente menos a la rigidez general de las palas que la viga interior de la primera realización. Las almas se forman preferentemente de un material compuesto que comprende fibras de vidrio y de carbono y pueden incorporar dos o más tipos diferentes de fibras de carbono, que pueden variar a lo largo de la dirección longitudinal de la viga de una manera análoga a la viga interior de la primera realización, tal como se describió anteriormente. Dependiendo de la rigidez necesaria, la proporción y el módulo de elasticidad de las fibras de carbono de las almas pueden variarse. Cada alma puede tomar la forma de, por ejemplo, una viga en forma de C.
- Preferentemente, las tiras del material compuesto fibroso que incluye los dos o más tipos diferentes de fibras de carbono se extienden en una dirección longitudinal a lo largo de la pala. Las tiras de material compuesto se puede incorporar en una capa, que comprende, además, tiras de un material que no es carbono, tal como la madera. Un ejemplo de una capa de este tipo se describe, por ejemplo, en el documento EP-A-1 746 284.
- Las tiras de material compuesto fibroso puede extenderse a lo largo de sustancialmente toda la longitud de la pala, o simplemente de una porción de la misma.
- Preferentemente, al menos algunas de las tiras son tiras compuestas fibrosas extrudidas de forma inversa, conocidas como "extrusiones por estirado", que se forman por extrusión inversa de una mezcla de fibras y un material de matriz que se cura después de la extrusión inversa.
- La resina en el material compuesto fibroso de las palas de acuerdo con la presente invención puede ser una resina termoplástica o termoendurecible, pero se utiliza preferentemente una resina termoendurecible por razones de estabilidad química y térmica. La resina puede estar basada en, por ejemplo, poliéster insaturado, poliuretano, éster de polivinilo, epoxi o combinaciones de los mismos. Más preferentemente, la resina es una resina epoxi. Formaciones de resina son bien conocidas en la técnica.
- La resina puede proporcionarse como resina líquida, semisólida o sólida. Puede comprender dos o más sistemas de resinas que pueden o no estar basados en el mismo tipo de resina, tales como dos o más sistemas de base epoxídica. Mediante el uso de dos o más sistemas de resina, puede ser posible optimizar las propiedades de la resina para las etapas posteriores de procesamiento, por ejemplo con respecto a la viscosidad y la sincronización/control del proceso de curado.
- Las fibras de refuerzo se pueden proporcionar en cualquier forma adecuada incluyendo pero no limitándose a: preimpregnadas, semi-impregnadas, telas tejidas o no tejidas, esteras, preformas, fibras individuales o grupos, estopas y estopas preimpregnadas.
- El término "preimpregnadas" se refiere a un conjunto de fibras, estopas de fibra, tela tejida o no tejida sustancialmente o

completamente impregnada. Las telas tejidas y no tejidas son conjuntos de fibras individuales o estopas de fibra que están sustancialmente secas, es decir, no impregnadas por una resina. Las estopas de fibra son paquetes de un gran número de fibras individuales.

5 El término "semi-impregnadas" se refiere a un conjunto parcialmente impregnado de fibras o estopas de fibra. La impregnación parcial proporciona una eliminación mejorada de gas a través o a lo largo de las fibras secas durante la consolidación y/o el curado.

El término "estopa preimpregnada" se refiere a una estopa de fibra, al menos parcialmente impregnada.

10 El término "preforma" se refiere a un material compuesto que comprende fibras y resina curada o sin curar. Las fibras se proporcionan preferentemente en capas de fibras orientadas. Ejemplos de preformas y procedimientos de preparación de preformas se describen en el documento WO-A-2004/078442. Con el fin de reducir los residuos, las preformas pueden proporcionarse como una plancha preformada, que se ha producido con la forma y el tamaño deseados de manera que puede incorporarse directamente en la pala.

15 Los componentes formados del material compuesto fibroso pueden ser no consolidados o por lo menos parcialmente consolidados. El término "consolidado" significa que la mayoría, si no todo el gas se ha eliminado del interior de la viga o parte de la misma, brindando una menor porosidad. Las preformas preconsolidadas son particularmente adecuadas para su uso en la viga interior de palas de turbina eólica, ya que proporcionan una buena reproducibilidad, alta resistencia y alta homogeneidad, y se pueden conectar a otras preformas o estructuras.

El material compuesto fibroso que forma el al menos un componente de la pala puede ser no curado, parcialmente curado o completamente curado. Típicamente, el curado del material aumenta la rigidez.

20 Además de los dos o más tipos diferentes de fibras de carbono, el al menos un componente de la pala puede incluir uno o más tipos de fibras de refuerzo que no son de carbono, por ejemplo, fibras de vidrio, fibras de aramida, fibras sintéticas (por ejemplo, fibras de acrílico, poliéster, PAN, PET, PE, PP o PBO), fibras naturales (por ejemplo, fibras de cáñamo, yute, celulosa), fibras minerales (por ejemplo Rockwool®), fibras metálicas (por ejemplo, fibras de acero, aluminio, latón, cobre) y fibras de boro. Estas fibras que no son de carbono pueden incorporarse para mejorar las propiedades  
25 particulares del componente, tales como la resistencia a la cizalladura o las propiedades térmicas.

La invención se describirá adicionalmente, a modo de ejemplo solamente, con referencia a las siguientes figuras en las que:

La figura 1 muestra una turbina eólica con tres palas;

La figura 2 muestra una sección transversal a través de una pala de acuerdo con la primera realización de la invención; y

30 La Figura 3 muestra una sección transversal a través de una pala de acuerdo con la segunda realización de la invención.

La Figura 1 ilustra una turbina eólica 1 que comprende una torre 2 de turbina eólica en la que se monta una góndola 3 de turbina eólica. Un rotor 4 de turbina eólica que comprende al menos una pala 5 de turbina eólica está montado sobre un buje 6. El buje 6 está conectado a la góndola 3 a través de un eje de baja velocidad (no mostrado) que se extiende desde la parte frontal góndola. La turbina eólica que se ilustra en la Figura 1 puede ser un modelo pequeño destinado a uso doméstico o de utilización ligera, o puede ser un modelo grande utilizado, tal como aquellos que son adecuados para uso en la generación de electricidad a gran escala en una granja eólica, por ejemplo. En este último caso, el diámetro de las palas puede ser de hasta aproximadamente 100 metros.

40 Una sección transversal de una pala 10 de acuerdo con una primera realización de la presente invención se muestra en la Figura 2. La pala 10 es adecuada para el montaje en una turbina eólica del tipo mostrado en la figura 1 y descrita anteriormente. El diseño general de la pala 10 es similar al de las palas existentes, bien conocidas y comprende mitades exteriores de carcasa superior 12 e inferior 14 y una viga 16 central, interior, que se extiende longitudinalmente a través del interior de la pala 10.

45 La viga 16 es de una sección transversal generalmente cuadrangular y está conectada a las mitades de carcasa exteriores 12, 14 a lo largo de las tapas de larguero superior 18 e inferior 20. La viga 16 está formada de un material de resina epoxi compuesto que incluye fibras de refuerzo de carbono, que están alineadas en la dirección longitudinal de la viga. La mayoría de las fibras de carbono se incorporan en las tapas de larguero 18, 20 de la viga.

50 En el extremo de la raíz de la pala, la mayoría de las fibras de carbono incorporadas en la viga son de un módulo estándar, con un módulo de Young de alrededor de 250 GPa. Fibras de carbono de módulo mayor que tienen un módulo de Young de aproximadamente 280 GPa se introducen gradualmente en la viga hacia el extremo de la punta de la pala, de tal manera que hay un aumento gradual en el módulo de elasticidad del material fibroso que forma la viga desde el extremo de la raíz al extremo de la punta.

La pala 30 según la segunda realización de la invención que se muestra en sección transversal en la figura 3 puede utilizarse como una alternativa a la pala que se muestra en la figura 2 en la turbina de la figura 1.

5 El diseño general de la pala 30 es similar al de las palas existentes, bien conocido y comprende una capa superior 32 y una capa inferior 34, cada una formada de un material de resina epoxi compuesto que incorpora tiras de fibras de carbono extrudidas de forma inversa 40 que se extienden en una dirección longitudinal a lo largo de la pala. Cada capa 32, 34 está interpuesta entre una capa delgada interior 36 y la capa exterior 38 de vidrio y piel de resina epoxi. Un par de vigas C 42 formadas de una alma fibrosa reforzada de vidrio se extiende entre las capas compuestas superior 32 e inferior 34.

10 Al igual que en la viga 16 de la pala que se muestra en la figura 2 y anteriormente descrita, la mayoría de las fibras de carbono incorporadas en el extremo de la raíz de la pala 30 son de un módulo estándar y fibras de carbono de un módulo más elevado se incorporaron gradualmente en las capas compuestas 32, 34 hacia el extremo de la punta de la pala. El módulo de elasticidad de las capas compuestas 32, 34 por lo tanto aumenta gradualmente desde el extremo de la raíz de la pala 30 hacia el extremo de la punta de la misma.

15 Se apreciará que uno o más tipos adicionales de fibras de carbono que tienen valores intermedios de módulo de Young se pueden introducir en las palas de las figuras 2 y 3 entre el extremo de la raíz y el extremo de la punta de la pala, con el fin de lograr el módulo de elasticidad deseado del material compuesto fibroso en todos los puntos a lo largo de la longitud de la pala.



**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Una pala de turbina eólica (10) (30) que tiene un extremo de punta y un extremo de raíz y que comprende al menos un componente (16, 18, 20) (32, 34) formado de material compuesto fibroso que incluye dos o más tipos diferentes de fibras de carbono que tienen un módulo de elasticidad diferente entre sí, en la que las proporciones de los diferentes tipos de fibras de carbono en el al menos un componente (16, 18, 20) varían en la dirección longitudinal de la pala (10) (30), de tal manera que el módulo de elasticidad del material compuesto fibroso aumenta hacia el extremo de la punta de la pala.
- 10 2. Una pala de la turbina eólica (10) (30) según la reivindicación 1, en la que las proporciones de los diferentes tipos de fibras de carbono en el al menos un componente (16, 18, 20) (32, 34) varían en la dirección longitudinal de la pala de tal manera que a lo largo de al menos una parte de la pala, el aumento en el módulo de elasticidad del material compuesto fibroso es continuo.
- 15 3. Una pala de turbina eólica (10) (30) según la reivindicación 1, en la que el al menos un componente comprende dos o más porciones conectadas que tienen diferentes proporciones de los diferentes tipos de fibras de carbono entre sí, de tal manera que el módulo de elasticidad del material compuesto fibroso que forma cada una de las porciones es diferente.
4. Una pala de turbina eólica (10) (30) según la reivindicación 3, que comprende un elemento conector entre las dos o más porciones conectadas.
- 20 5. Una pala de turbina eólica (10) (30) según la reivindicación 4, en la que el elemento conector está formado de material compuesto fibroso que comprende dos o más tipos diferentes de fibras de carbono que tienen un módulo de elasticidad diferente entre sí.
6. Una pala de turbina eólica (10) (30) según cualquier reivindicación anterior, en la que las proporciones de los diferentes tipos de fibras de carbono en el al menos un componente (16, 18, 20) (32, 34) varían en la dirección longitudinal de la pala para proporcionar al menos dos regiones en las que el material compuesto fibroso tiene un mayor módulo de elasticidad que en el resto del componente.
- 25 7. Una pala de turbina eólica (10) (30) según cualquier reivindicación anterior, que comprende una viga (16) longitudinal interior que se extiende a través del centro de la pala, en la que la viga interior está formada de material compuesto fibroso que incluye dos o más tipos diferentes de fibras de carbono que tienen un módulo de elasticidad diferente entre sí, en la que las proporciones de los diferentes tipos de fibras varían en la dirección longitudinal de la viga (16) interior de tal manera que el módulo de elasticidad del material compuesto fibroso que forma la viga aumenta hacia el extremo de la punta de la pala.
- 30 8. Una pala de turbina eólica (10) (30) según la reivindicación 7, en la que la viga (16) interior comprende una porción de extremo de la punta y una porción de extremo de la raíz y en la que las proporciones de los diferentes tipos de fibras de carbono son diferentes en la porción de extremo de la punta y en la porción de extremo de la raíz, de tal manera que el módulo de elasticidad del material compuesto fibroso es mayor en la porción extrema de la punta que en la porción de extremo de la raíz.
- 35 9. Una pala de turbina eólica (10) (30) según la reivindicación 8, en la que las proporciones de los diferentes tipos de fibras de carbono dentro de cada una de la porción de extremo de la punta y la porción de extremo de la raíz varían en la dirección longitudinal de la pala.
- 40 10. Una pala de turbina eólica (10) (30) según cualquier reivindicación anterior, que comprende dos o más porciones de carcasa exterior (32, 34), en la que cada una de las porciones de carcasa exterior está formada de material compuesto fibroso que comprende dos o más tipos diferentes de fibras de carbono que tienen un módulo de elasticidad diferente entre sí.
- 45 11. Una pala de turbina eólica (10) (30) según cualquier reivindicación anterior, en la que al menos uno de los diferentes tipos de fibras de carbono tiene un módulo de elasticidad mayor de 230 GPa.
12. Una pala de turbina eólica (10) (30) según cualquier reivindicación anterior, en la que al menos uno de los diferentes tipos de fibras de carbono tiene un módulo de elasticidad mayor de 280 GPa.
13. Una pala de turbina eólica (10) (30) según cualquier reivindicación anterior, que también comprende fibras que no son de carbono.
14. Un turbina eólica (1), que comprende una o más palas (10) (30) según cualquier reivindicación anterior.
15. Uso de una pala de turbina eólica (10) (30) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 en una turbina eólica.

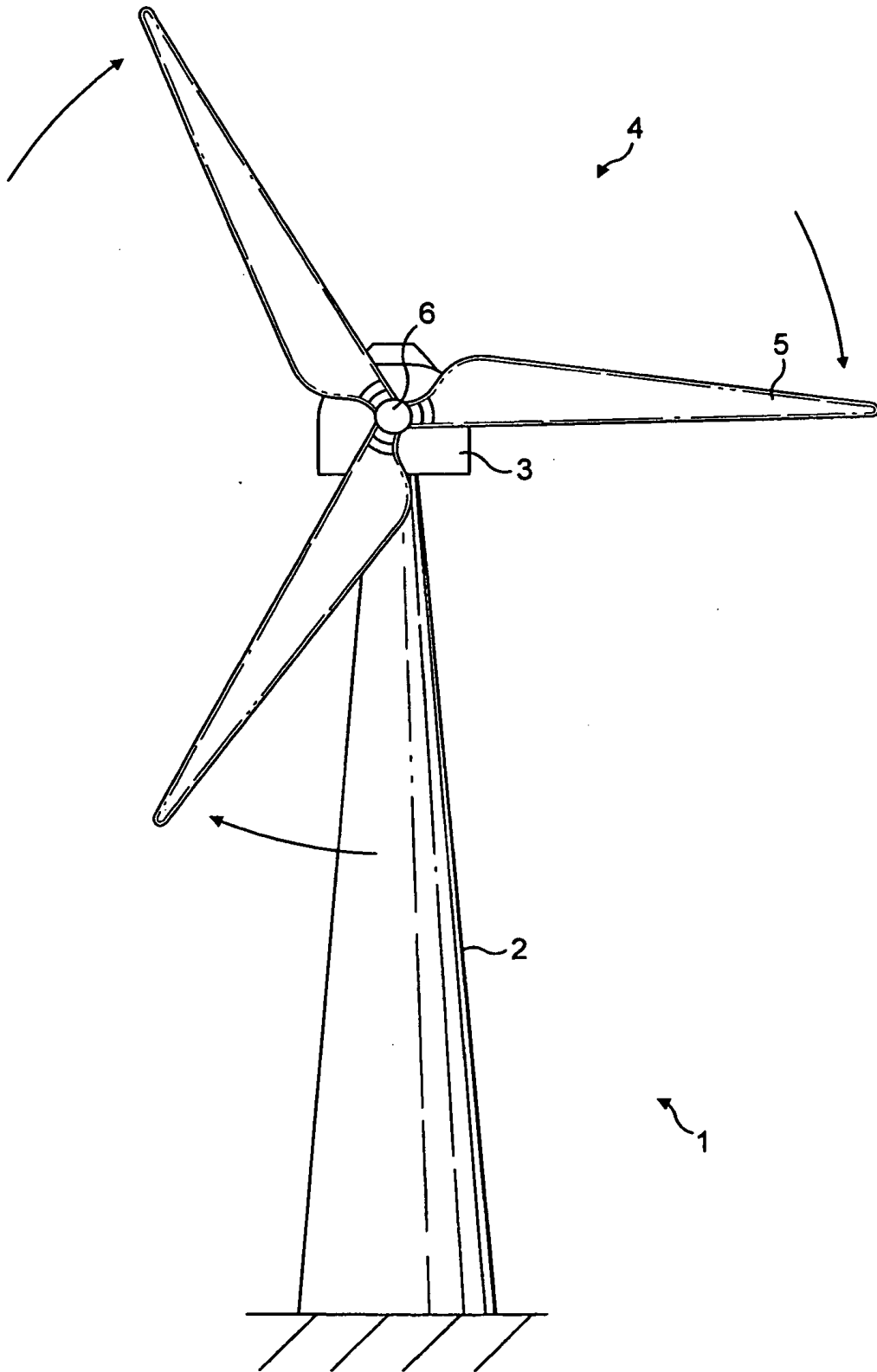


FIG. 1

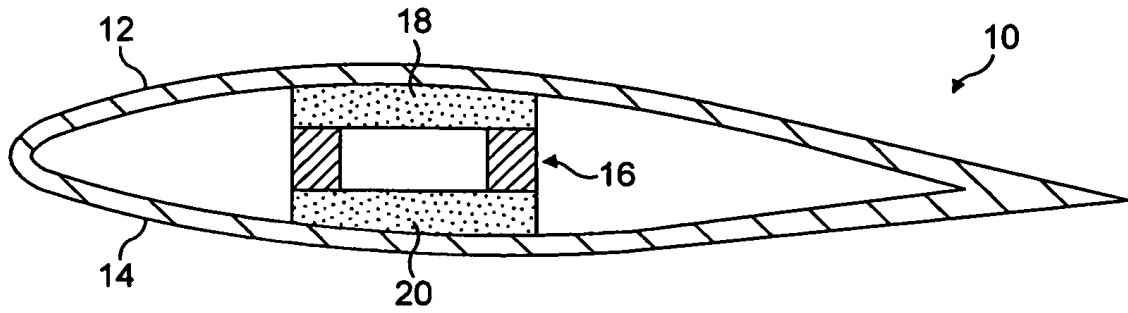


FIG. 2

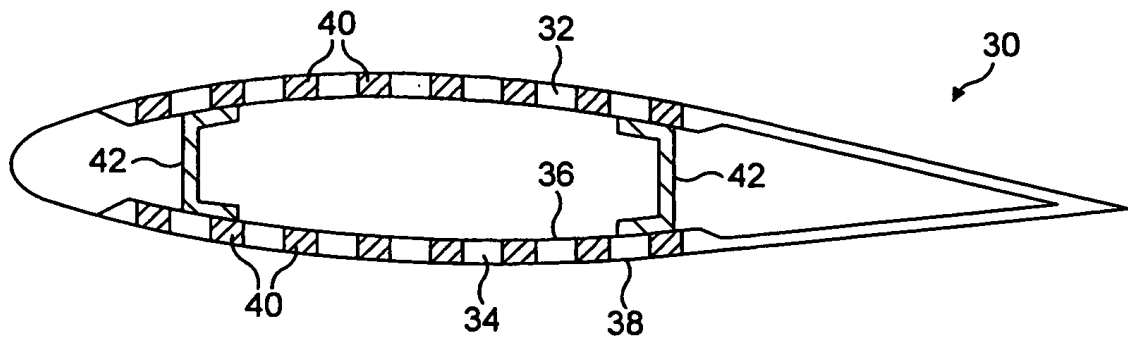


FIG. 3