

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 917 405**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.02.2018** **PCT/EP2018/052926**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.11.2018** **WO18206159**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.02.2018** **E 18707252 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.04.2022** **EP 3601783**

54 Título: **Pala de rotor de turbina eólica con sensores incorporados**

30 Prioridad:

09.05.2017 DE 102017207808

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

08.07.2022

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S
(100.0%)
Borupvej 16
7330 Brande, DK**

72 Inventor/es:

GIROLAMO, DONATO

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 917 405 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 rotor de turbina eólica con sensores incorporados

- 5 La presente invención se refiere a una pala de rotor de una turbina eólica. La invención se refiere particularmente a una pala de rotor de una turbina eólica en donde uno o varios sensores se incorporan en un miembro estructural de la pala de rotor. La invención se refiere a una turbina eólica para generar energía eléctrica que comprende esta pala de rotor.
- 10 Las palas de turbinas eólicas son habitualmente construcciones fabricadas de materiales compuestos que, comparadas con las construcciones de metal convencionales, muestran diferentes modos de falla, ambos en términos de inicio y propagación del daño. El daño en una estructura compuesta puede ser difícil de detectar con inspecciones visuales - que es la práctica común en la industria - y el daño puede propagarse de manera rápida que los programas de inspección comunes no garantizan el hallazgo de la falla antes de la falla catastrófica.
- 15 La práctica más común actual para monitorear la integridad estructural de una pala de turbina eólica es a través de inspecciones regulares que se llevan a cabo visualmente por técnicos entrenados y/o cámaras robóticas desarrolladas originalmente para inspección de tubos. Las tecnologías adicionales usadas para monitoreo remoto de la salud estructural de palas de turbina eólicas compuestas se basan en la estimación de las frecuencias fundamentales de la pala a través de aceleraciones medidas en la góndola o en la propia pala de rotor. Esas tecnologías se clasifican usualmente como
- 20 globales puesto que se basan en características globales de la pala y se caracterizan por baja sensibilidad al daño: solo cuando el daño estructural se vuelve considerablemente grande para afectar las propiedades mecánicas globales de la estructura que se vuelven sensibles al daño.
- 25 La tecnología de sensores en las palas de turbina eólica se limita por el riesgo y efecto de la caída de rayos: los sensores basados en metal se eliminan usualmente debido a su conductividad eléctrica que puede ser fatal para el sistema de sensores en caso de una caída de un rayo. Las tecnologías de detección alternativas se basan en los sensores ópticos tal como fibras ópticas con rejillas de Bragg de fibra (FBG) que permiten mediciones de deformación. Un problema principal en el uso de FBG en estructuras compuestas de alto volumen de producción grandes es la instrumentación, especialmente en las estructuras grandes: es un proceso delicado, que consume mucho tiempo, costoso, largo con una alta tasa de falla
- 30 tanto durante como justo después de la instalación. Estos problemas se amplifican en aproximadamente en entornos industriales y procesos de fabricación complejos tal como el proceso de moldeo por transferencia de resina asistido por vacío (VARTM) que usa una herramienta de molde con una bolsa de vacío y vacío para ayudar al flujo de la resina. El proceso VARTM, por ejemplo, se usa por Siemens en su proceso de fabricación de la pala integral bien conocido.
- 35 Una disposición conocida, US2007/183 888 A1, se refiere a una pala de turbina eólica que comprende una variedad de tiras prefabricadas dispuestas en una secuencia a lo largo de la periferia exterior. Las tiras consisten de un material compuesto fibroso, de manera preferente fibras de carbono, y consiste de un material de madera, de manera preferente madera contrachapada o fibras de madera sujetas en una resina curada. Se sugiere incorporar fibras ópticas en la pala, ya sea adicional a las fibras de refuerzo o como un sustituto a las fibras de refuerzo. Se pueden usar fibras ópticas para
- 40 medir cargas en y dentro de la superficie de la pala durante la operación de la turbina eólica.
- 45 Teniendo en cuenta lo anterior, es un objeto de la presente invención proporcionar un concepto en como monitorear mejor las características estructurales y/o integridad de una pala de rotor de una turbina eólica por toda su vida útil completa, desde la fabricación hasta el desmantelamiento de la pala de rotor. Este objeto se logra por las reivindicaciones independientes. Modificaciones y realizaciones ventajosas se describen en las reivindicaciones dependientes.
- 50 De acuerdo con la invención, se proporciona una pala de rotor de una turbina eólica, en donde la pala de rotor comprende una sección de borde delantero con un borde delantero y una sección de borde posterior con un borde posterior, en donde el borde delantero y el borde posterior dividen la superficie exterior de la pala de rotor en un lado de succión y un lado de presión. La pala de rotor comprende además una cubierta de pala que define la forma de la pala de rotor, en donde la cubierta de pala comprende una porción lateral de succión y una porción lateral de presión, y un elemento estructural para reforzar y endurecer la estructura de la pala de rotor, en donde el elemento estructural se fabrica de un material de plástico reforzado con resina de fibra pultruido para monitorear las características estructurales y/o integridad del elemento estructural, en donde la fibra óptica comprende al menos un sensor.
- 55 En otras palabras, la invención propone un sistema novedoso que se puede usar para monitoreo de la salud estructural (SHM) de las palas de rotor de la turbina eólica. El sistema emplea estructuras "inteligentes" pultruidas con sensores incorporados. Estas estructuras - o elementos estructurales - sirven para el propósito doble de soportar cargas y detectar deformaciones a lo largo de las trayectorias de tensión principales de los componentes de la pala general, por ejemplo, tapas de los largueros o partes de refuerzo de la sección de la raíz de la pala de rotor. Dado que uno o más sensores están basados en la fibra óptica, el o sensores son inmunes a caídas de rayos. Además, la provisión del o los sensores se puede llevar a cabo en un entorno protegido y aún se puede llevar a cabo completamente separados de aproximadamente de manera típica entorno industrial donde la pala de rotor se fabrica.
- 60 La presente invención es en principio aplicable a cualquier elemento estructural de la pala de rotor. Las aplicaciones ventajosas se enfocan en componentes que llevan una función de soporte de carga y que son propensos a la tensión y

deformación. Ejemplos concretos de los mismos son tapas de larguero en el lado de presión y succión de la cubierta de pala o las llamadas partes de refuerzo de sección de raíz.

5 Las tapas de larguero se conectan habitualmente en una forma de viga en forma de I a la red (o "viga" o "larguero"), en donde las tapas de larguero llevan básicamente cargas longitudinales, aunque la red lleva principalmente la carga de corte de los momentos de flexión.

10 Las partes de refuerzo de sección de raíz se insertan habitualmente en la sección de raíz del material laminado de la cubierta de pala y refuerzan la raíz pesadamente cargada y la sección interna de la pala de rotor. Las partes de refuerzo de la sección de raíz se vuelven habitualmente más delgadas en una dirección alejada de la raíz y, de esta manera, "se desvanecen" o se fusionan con el material compuesto reforzado con fibra estándar de la cubierta de la pala. La incorporación de uno o más sensores en estas partes de refuerzo de sección de raíz es ventajosa ya que estas partes se fabrican antes de colocarlas en el molde y de esta manera se pueden preparar específicamente para el propósito de proporcionar medios para monitorear por ejemplo la calidad del material laminado en una manera confiable y elegante.

15 Las fibras del elemento pultruido de plástico reforzado con fibra en principio puede comprender cualquier tipo de fibra. El material probado para las palas de rotor de la turbina eólica incluye fibras de vidrio, carbono, aramida y/o basalto.

20 Con respecto al material de matriz, se pueden elegir componentes adecuados de las siguientes composiciones: epoxi, poliuretano, éster vinílico o plástico termoendurecible de poliéster.

25 Un propósito del o los sensores incorporados en los elementos estructurales es monitorear las características del material de plástico reforzado con fibra del elemento estructural y, como consecuencia, aquellos de la pala de rotor que comprende al menos un elemento estructural. Este comprende en particular el monitoreo o deslaminación, grietas, en particular grietas transversales y/o una fractura del material de plástico reforzado con fibra. Se observa que el sistema presentado tiene un principio de trabajo "doble": primero, si uno de los sensores incorporados se encuentra en la "zona de proceso" del daño, este se mostrará como un incremento de deformación local en el sensor. Segundo, si el daño está muy alejado del o los sensores (es decir, en otra zona de la pala de rotor), pero afecta la respuesta estructural global de la pala - específicamente en términos de distribución de movimiento de flexión en forma de aleta - esto se mostrará en el sistema como una distribución de deformación diferente por todos los elementos estructurales "inteligentes".

30 Una detección confiable de estas fallas en una etapa temprana es altamente ventajoso para el propietario de una turbina eólica, ya que de esta manera los trabajos de servicio y reparación costosos en las palas de rotor se pueden evitar, o al menos se pueden planear de manera eficiente de antemano. Adicionalmente, se pueden evitar fallas catastróficas.

35 De esta manera, el monitoreo de las características estructurales y/o integridad del elemento estructural pueden incluir monitorear la deslaminación, grietas, en particular grietas transversales y/o una fractura del elemento estructural.

40 En el caso de que el elemento estructural se conecte con la cubierta de la pala, una sección de raíz de la pala de rotor o una cinta de la pala de rotor como un material laminado que forma un material compuesto, el monitoreo de las características estructurales y/o integridad del elemento estructural también pueden incluir el monitoreo de la deslaminación, grietas, en particular grietas transversales, y/o una fractura del material compuesto. En otras palabras, el sensor no solo puede ser capaz de caracterizar la estructura e integridad del elemento estructural mismo, sino también del compuesto que comprende el elemento estructural y un componente adicional conectado a él. De manera ejemplar la falla de la interfaz (vaciado) entre el elemento estructural y los componentes adyacentes también se puede monitorear por los sensores incorporados en el componente estructural.

45 Otro propósito del o los sensores incorporados en los elementos estructurales es monitorear los cambios en la distribución de tensión por todo el elemento estructural que resulta de la flexión global y/o retorcimiento de la pala de rotor sujeta a fuerzas aerodinámicas y gravitacionales cíclicas.

50 La detección de estos cambios de configuración en la pala de rotor, primero, también puede contribuir a calcular mejor y prever, por ejemplo, el envejecimiento de ciertos componentes. Segundo, sin embargo, es ventajoso tener información en los cambios en las formas tal como flexión y/o retorcimiento, que se pueden obtener de deformaciones medidas a través de calibración apropiada, para controlar y regular la operación de la turbina eólica. Por ejemplo, el control de inclinación individual se podría mejorar basado en los datos de entrada que se basan en el monitoreo de un elemento estructural con un sensor incorporado de acuerdo con esta invención.

55 Una ventaja adicional del o los sensores incorporados como es concebido en la presente invención es que los datos adquiridos por el sistema propuesto se pueden usar en paradigmas de control aeroestructurales, tal como por ejemplo control de inclinación individual (IPC).

En una realización de la invención, la fibra óptica se alinea sustancialmente en dirección longitudinal de la pala de rotor.

60 Esto permite una distancia larga para monitorear - habitualmente docenas de metros para una pala de rotor que excede cincuenta metros en longitud - que básicamente toda las nuevas palas de rotor de turbina eólica actualmente hacen. En

este contexto, la dirección "longitudinal" de la pala de rotor es referida como la dirección, u orientación, que se extiende desde la raíz hasta la punta de la pala de rotor.

De manera ejemplar, la longitud de la fibra óptica excede cinco por ciento, en particular diez por ciento, aún de manera más particular veinte por ciento de la longitud de la pala de rotor.

Con respecto al sensor que se incorpora en la fibra óptica, se puede usar en principio cualquier sensor de fibra óptica (FOS). En la práctica, un reflector de Bragg distribuido, en particular una red de Bragg de fibra, construida en un segmento corto de la fibra óptica ha probado que es una elección preferida, como es ideado por los inventores.

En este contexto, un segmento "corto" se va a entender como un segmento de la fibra óptica que tiene una longitud que es menor de diez por ciento de la longitud de la fibra óptica incorporada misma. En particular, el segmento de la fibra óptica puede tener una longitud que aún es menor de cinco por ciento de la longitud de la fibra óptica incorporada.

La rejilla de Bragg de fibra se va a entender como una disposición en donde una variación periódica en el índice de refracción de núcleo de la fibra conduce a un espejo dieléctrico específico de longitud de onda. La función de la rejilla de Bragg de fibra es la detección de una falla en el material de plástico reforzado con fibra debido al daño infringido a la fibra óptica. Nuevamente, si la rejilla de Bragg de fibra incorporada (FBG) se presenta en la "zona de proceso" del daño, esto mostrará un incremento de deformación local en la FBG. Si el daño, sin embargo, es por mucho de la FBG, particularmente, en otra zona de la pala de rotor, pero afecta la respuesta estructural global de la pala, esto se mostrará en el sistema como una distribución de deformación diferente por todos los elementos estructurales "inteligentes".

En una realización de la invención, la fibra óptica comprende una pluralidad de sensores que se distribuyen de manera longitudinal en la fibra óptica.

La ventaja de proporcionar una pluralidad de sensores distribuidos longitudinalmente a lo largo de la fibra óptica es que se proporciona la información acerca de la posición longitudinal a lo largo de la fibra óptica, si el sensor detecta una falla en el material de plástico reforzado con fibra. Hablando descriptivamente, al proporcionar una pluralidad de sensores dentro de la fibra óptica, se puede determinar donde, es decir, en qué posición a lo ancho, la falla en el material de plástico reforzado con fibra se presentó. Adicionalmente, una distribución a lo ancho de los sensores permite una reconstrucción de alta resolución de la distribución de deformación a lo ancho y/o respuesta de flexión de la pala de rotor.

En otra realización de la invención, la pala de rotor comprende una pluralidad de fibras ópticas con sensores respectivos, que se disponen en particular sustancialmente en paralelo entre sí en el elemento pultruido de plástico reforzado con fibra.

Varias fibras ópticas, por ejemplo, se pueden proporcionar por razones de redundancia. No es común que una fibra óptica se dañe durante la pultrucción del elemento estructural. Ya que este se identifica frecuentemente únicamente después de la finalización del elemento pultruido, o aún después de insertar el elemento pultruido en la pala de rotor de la turbina eólica, es ventajoso proporcionar varias fibras ópticas con sensores incorporados en el elemento estructural.

En otra realización de la invención, la pluralidad de fibras ópticas se conecta a un interrogador óptico, que en sí mismo es conectable a un controlador lógico programable (PLC) de la turbina eólica.

El interrogador óptico tiene el propósito de convertir las longitudes de onda reflejadas por cada sensor a valores de deformación mecánicos que se transfieren al PLC. Un método de multiplexación dedicado, integrado en el sistema, permite identificar la posición a lo ancho de cada sensor. El pos-procesamiento de datos dedicados dentro del PLC determina los estados de falla estructurales de la pala de rotor y/o determina con precisión la posición de la falla en el material de plástico reforzado con fibras si una pluralidad de sensores se distribuye en la fibra óptica.

De manera ejemplar, el interrogador óptico se sitúa en la sección de raíz de la pala de rotor o la chumacera de la turbina eólica.

La invención también se relaciona finalmente con una turbina eólica para generar electricidad que comprende al menos una pala de rotor como se describe en lo anterior.

En las realizaciones de la invención, ahora se describen, por medio de ejemplo solamente, con la ayuda de las figuras adjuntas, de las cuales:

La Figura 1 muestra una vista de sección transversal de una pala de rotor de una turbina eólica;

La Figura 2 muestra una vista en perspectiva de un elemento estructural con fibras ópticas incorporadas;

La Figura 3 muestra un corte a través de este elemento estructural con fibras ópticas incorporadas con sensores y terminaciones de sensores o "colas";

La Figura 4 muestra una vista de sección transversal de una pala de rotor de una turbina eólica con tapas de largueros

de acuerdo con una primera realización de la invención;

La Figura 5 muestra un elemento estructural, particularmente un refuerzo de sección de raíz, con las fibras ópticas incorporadas de acuerdo con una segunda realización de la invención;

La Figura 6 muestra una vista superior de una pala de rotor con un elemento estructural con fibras ópticas incorporadas; y

La Figura 7 muestra un método para fabricar un material de plástico reforzado con fibra pultruido con fibras ópticas incorporadas.

Se debe observar que las figuras están en forma esquemática. Además, elementos similares o idénticos pueden ser referidos por los mismos signos de referencia.

La Figura 1 muestra una vista de sección transversal de una pala de rotor 10 de una turbina eólica. La pala de rotor 10 comprende una sección de borde delantero 13 con un borde delantero 131 y, opuesto al borde delantero 131, una sección de borde posterior 14 con un borde posterior 141. El borde delantero 131 y el borde posterior 141 dividen la superficie exterior de la pala de rotor 10 en un lado de succión 15 y un lado de presión 16. La geometría, es decir, la forma, de la pala de rotor 10 se define por la cubierta de la pala de la pala de rotor 10. Del mismo modo, la cubierta de pala se puede dividir en una porción lateral de succión 171 y una porción lateral de presión 172. A fin de garantizar una resistencia de estabilidad suficiente, se proporciona una cinta 18 que se extiende entre la porción lateral de succión 171 y la porción lateral de presión 172 de la cubierta de pala. La cinta 18 se extiende habitualmente sobre la mayoría de la longitud de la pala de rotor 10, es decir, de la sección de raíz hasta la sección de punta de la pala de rotor. En estas porciones de la cubierta de pala donde la cinta 18 se une con la cubierta de pala, la cubierta de pala se refuerza por una tapa de larguero 19, respectivamente. En otras palabras, tanto la porción lateral de succión 171 como la porción lateral de presión 172 de la cubierta de pala se refuerzan por un elemento estructural o "sub-componente", particularmente la tapa de larguero 19.

La cubierta de la pala se configura habitualmente como un material laminado que comprende un material de plástico reforzado con fibra y materiales de núcleo (por ejemplo, madera de balsa, madera contrachapada, espuma). Habitualmente, el elemento pultruido de plástico reforzado con fibra es relativamente delgado, habitualmente y dependiendo de la posición a lo ancho solo uno a diez milímetros de grueso, mientras que el núcleo puede totalizar un espesor de hasta pocos centímetros. Como se puede observar en la ilustración esquemática de la Figura 1, el espesor de la cubierta de la pala varía.

Primero, el espesor de la cubierta de la pala puede depender de la posición en el sentido de la cuerda entre el borde delantero 131 y el borde posterior 141. Segundo, depende en si la cubierta de la pala es parte de la porción lateral de succión 171 o la porción lateral de presión 172. Otra variación se basa en la posición en la dirección longitudinal o a lo ancho, es decir si la cubierta de la pala está cercana a la sección de raíz o está más cerca de la sección de punta de la pala de rotor. En las posiciones a lo ancho muy cercanas a la raíz de la pala de rotor, el perfil de la sección de la pala podría observarse considerablemente diferente de una representada en la Figura 4 con los espesores de la cubierta de la pala que se incrementan considerablemente de lo que se especificó previamente (hasta pocos centímetros) y la forma que cambia de formas aerodinámicas a cilíndricas. Estos detalles se podrían inferir de la Figura 5.

La Figura 2 muestra una vista en perspectiva de un elemento estructural 20 con fibras ópticas incorporadas 21. El elemento estructural 20 es un elemento pultruido, es decir, rígido y con crestas, y el elemento estructural 20 se fabrica básicamente de un material de plástico reforzado con fibra 35. Sin embargo, en el material de plástico reforzado con fibra 35, se incorpora una pluralidad de fibras ópticas distribuidas 21 que comprenden varios sensores ya que serán visibles en lo siguiente. Observar que la posición de la fibra óptica 21 se puede predeterminar y aún se puede proporcionar un patrón como se observa en la Figura 2.

La Figura 3 muestra un corte a través del elemento estructural 20 que comprende una pluralidad de fibras ópticas 21 con sensores 22. En la Figura 3, se pueden observar tres fibras ópticas 21, particularmente una primera fibra óptica 211, una segunda fibra óptica 212 y una tercera fibra óptica 213. Las tres fibras ópticas 211, 212, 213 se disponen sustancialmente paralelas entre sí. También se disponen en una dirección longitudinal del elemento estructural pultruido 20. Cada fibra óptica 21 está provista con sensores 22 en donde un sensor 22 se muestra separadamente con más detalle en la Figura 3.

Los sensores 22 se pueden diseñar ejemplarmente como rejillas de Bragg de fibra. Esto significa que cada sensor 22 comprende una pluralidad de rejillas 221, en donde cada rejilla 221 refleja parcialmente la luz en la fibra óptica 21. En la Figura 3, cada sensor 22 consiste de cuatro rejillas 221. Observar que esto es un ejemplo solamente. En la práctica, son comunes más de cuatro rejillas. También se observa que las dimensiones en la Figura 3 no están en escala, pero se eligen tal que esquemáticamente el principio y el concepto de la invención se volverán claros. Por ejemplo, en la práctica, la distancia entre las rejillas adyacentes 221 es habitualmente muy pequeña, por ejemplo, en el intervalo de cintos de nanómetros. Los sensores 22 se separan entre sí en una distancia predeterminada 24. Estas partes de las fibras ópticas que están fuera y que salen del elemento estructural pultruido 20 son referidos como colas de fibra óptica 210. Ya que las fibras ópticas 21 no se incorporan nunca más en el material de plástico reforzado con fibra curada 35, estas colas de fibra

óptica 210 no se alargan usualmente y ya no son rectas nunca más. Las colas de fibra óptica 210 se usan usualmente para conectar las fibras ópticas 21 con un interrogador óptico (no mostrado en la Figura 3).

La Figura 4 muestra nuevamente una vista transversal de una pala de rotor 10 de una turbina a eólica, en este momento que comprende de tapas de larguero 19 que comprenden elementos estructurales 20 de acuerdo con la invención.

Nuevamente, la pala de rotor comprende un borde delantero 131 y un borde posterior 141 que dividen la cubierta de pala en una porción lateral de succión 171 y una porción lateral de presión 172. A fin de mantener la forma y la estabilidad de la cubierta de pala y de la pala de rotor en conjunto, se proporciona una cinta 18 que se extiende entre la porción lateral de succión 171 y la porción lateral de presión 172 de la cubierta de pala. Donde la cinta 18 se junta con la cubierta de pala, la cubierta de pala se refuerza con tapas de larguero 19. En la realización ejemplar de la Figura 4, cada tapa de larguero 19 comprende cuatro elementos estructurales alargados, en particular dos elementos estructurales 201 con sensores y dos elementos estructurales 202 sin sensores. En otras palabras, cada tapa de larguero 19 comprende dos elementos estructurales que están configurados y diseñados convencionalmente y dos elementos estructurales 201 con sensores incorporados de acuerdo con la presente invención.

Si la pala de rotor 10 es afectada por una falla estructural, por ejemplo, un defecto de fabricación y/o falla del material, el estado del daño influirá más probablemente la distribución de la deformación a lo largo de las tapas de larguero 19. Dependiendo del modo de falla, la ubicación del daño y el tamaño del daño, el diagrama de deformación de la tapa de larguero tendrá un incremento de deformación local o cambios globales. Por lo tanto, el mapeo y monitoreo de la distribución de la deformación a lo largo de al menos una de las tapas de larguero 19 permitirá la detección del daño estructural y evitará el colapso estructural. En este contexto y para lograr este objetivo, la provisión de elementos estructurales 201 con sensores incorporados es de mayor importancia. Los elementos estructurales 201 se pueden extender bien sobre la longitud completa de la pala de rotor, es decir desde la sección de raíz hasta la sección de punta de la pala de rotor. De manera preferente, los elementos estructurales 201 comienzan pocos metros lejos de la raíz de la pala de rotor y se detienen pocos metros antes de la punta de la pala de rotor.

La Figura 5 muestra un elemento estructural, particularmente un refuerzo de sección de raíz 112, con una pluralidad de fibras ópticas incorporadas 21 de acuerdo con una segunda realización de la invención. El refuerzo de la sección de raíz 112 comprende un extremo de raíz 1121, un extremo de punta 1122, un lado interior 1123 y un lado exterior 1124. El refuerzo de la sección de raíz 112 está dispuesto y preparado para ser colocado entre, es decir, ser "intercalado", entre una capa de fibra en su extremo interior 1123 y entre otra capa de fibra en su extremo exterior 1124. El extremo interior 1123 está destinado para orientarse hacia la cavidad de la pala de rotor, en caso de que el refuerzo de la sección de raíz 112 se integre en una pala de rotor, y el extremo exterior 1124 del refuerzo de la sección de raíz 112 se destine para orientarse hacia el exterior, es decir, hacia el entorno circundante, nuevamente en caso de que el refuerzo de la sección de raíz 112 se integre en una pala de rotor. Del mismo modo, el extremo de raíz 1121 del refuerzo de la sección de raíz 112 se orienta hacia la raíz de la pala de rotor (o aún es parte de la raíz) y el extremo de punta 1122 del refuerzo de la sección de raíz 112 se oriente hacia el extremo de punta de la pala de rotor.

La función del refuerzo de la sección de raíz 112 es estructuralmente reforzar y soportar la sección de raíz de la pala de rotor, ya que en esa sección de la pala de rotor se presentan habitualmente momentos de flexión particularmente altos.

El espesor del refuerzo de la sección de raíz 112 disminuye habitualmente de su extremo de raíz 1121 hacia su extremo de punta 1122, como es el caso en la realización ejemplar mostrada en la Figura 5. La sección de refuerzo de la sección de raíz 112 se hace del material de plástico reforzado con fibra pultruido 35.

En comparación con los refuerzos de la sección de raíz convencionales, el refuerzo de la sección de raíz 112 de acuerdo con una realización de la presente invención comprende una pluralidad de fibras ópticas 21. Estas fibras ópticas 21 están dispuestas sustancialmente en la dirección longitudinal (es decir, desde el extremo de raíz 1121 hasta el 1122 o viceversa) y sustancialmente en paralelo entre sí.

Las fibras ópticas 21 se incorporan en el material de plástico reforzado con fibra 35. Se proporciona un número sustancial de fibras ópticas 21; primero, por razones de redundancia, y segundo, para proporcionar un monitoreo detallado de la salud estructural del refuerzo de la sección de raíz 112 y los componentes adyacentes de la pala de rotor.

La Figura 6 muestra una vista superior muy esquemática en una pala de rotor 10 con un elemento estructural 20, en donde el elemento estructural 20 comprende fibras ópticas incorporadas 21 de las que una primera fibra óptica 211, una segunda fibra óptica 212 y una tercera fibra óptica 213 se muestra en la Figura 6. Las tres fibras ópticas 211, 212, 213 se extienden sobre la longitud completa del elemento estructural 20. Estas fibras ópticas 211, 212, 213 se disponen básicamente en paralelo entre sí. No proponen monitorear sustancialmente la deformación y carga en el miembro estructural 20. Por otra parte, la provisión de varias fibras ópticas está destinada para crear redundancia en el miembro estructural debido a la inserción en el elemento estructural pultruido antes y durante la fabricación que pueden crear daños a la fibra óptica. Por lo tanto, si por ejemplo, la primera y la tercera fibra óptica se dañan y no funcionan apropiadamente, entonces la segunda fibra óptica 212 se usa para monitorear la deformación y la carga en el miembro estructural 20. La redundancia también es benéfica cuando una o más fibras ópticas se interrumpen debido a una reparación estructural.

La Figura 6 también muestra un interrogador óptico 23 que conecta las colas de la fibra óptica 210 con el elemento estructural pultruido 20. El interrogador óptico 23 es capaz de convertir las longitudes de onda reflejadas del sensor de formaciones. Junto con un controlador lógico programable, es posible determinar la posición longitudinal o a lo ancho o ubicación donde una falla en el elemento estructural se presenta. Este interrogador óptico 23 es particularmente útil si una pluralidad de sensores 22 se dispone en la dirección longitudinal en las fibras ópticas. En el ejemplo de la Figura 6, el interrogador óptico 23 se sitúa en la sección de raíz 11 de la pala de rotor 10.

Finalmente, la Figura 7 muestra el proceso de fabricación de un elemento de plástico reforzado con fibra pultruido con fibras ópticas incorporadas.

En el lado izquierdo, los tratados de fibras estructurales individuales, por ejemplo, se pueden observar mechas de fibras de vidrio o mechas de fibra de carbono. Entre los tratados de fibras seleccionados, se dispone una fibra óptica - en el ejemplo de la Figura 6, una primera fibra óptica 211 y una segunda fibra óptica 212.

En un siguiente paso, los tratados de fibras estructurales y las fibras ópticas se llevan conjuntamente y se alinean entre sí antes de que entren a un baño de resina 32. Después de impregnar y empapar los tratados de fibras estructurales 31 y las fibras ópticas 21 con resina, la resina se cura mediante un tinte 33.

Subsecuentemente, en el último paso, el elemento resultante se extrae a través de cilindros cogiratorios 34 y resulta un elemento estructural pultruido, rígido con fibras ópticas incorporadas 21.

REIVINDICACIONES

1. Pala de rotor (10) de una turbina eólica, la pala de rotor (10) comprende

- 5 - una sección de borde delantero (13) con un borde delantero (131) y una sección de borde posterior (14) con un borde posterior (141), en donde el borde delantero (131) y el borde posterior (141) dividen la superficie exterior de la pala de rotor (10) en un lado de succión (15) y un lado de presión (16),
- una cubierta de pala que define la forma de la pala de rotor (10), en donde la cubierta de pala comprende una porción lateral de succión (171) y una porción lateral de presión (172), y
- 10 - un elemento estructural (20) para reforzar y endurecer la estructura de la pala de rotor (10) en donde el elemento estructural (20) se fabrica de un material de plástico reforzado con fibra pultruido (35),

caracterizado porque

- 15 - el elemento estructural (20) comprende una fibra óptica (21) que se incorpora en el material de plástico reforzado con fibra pultruido (35) para monitorear las características estructurales y/o integridad del elemento estructural (20), en donde la fibra óptica (21) comprende al menos un sensor (22).

2. La pala de rotor (10) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el elemento estructural (20) es una tapa de larguero (19) o una parte de refuerzo de sección de raíz de la pala de rotor (10).

3. La pala de rotor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde el material de plástico reforzado con fibra pultruido (35) comprende fibras de vidrio, carbono, aramida y/o basalto.

4. La pala de rotor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde el material de plástico reforzado con fibra pultruido (35) comprende un epoxi, poliuretano, éster de vinilo o plástico termoendurecible de poliéster.

5. La pala de rotor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde el monitoreo de las características estructurales y/o integridad del elemento estructural (20) incluye monitorear la deslaminación, grietas, en particular grietas transversales, y/o fractura del elemento estructural (20).

6. La pala de rotor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde el monitoreo de las características estructurales y/o integridad del elemento estructural (20) incluye monitorear la distribución de deformación por todo el elemento estructural (20) que resulta de la flexión y/o retorcimiento global de la pala de rotor (10) sujeta a fuerzas aerodinámicas y gravitacionales cíclicas.

7. La pala de rotor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde la longitud de la fibra óptica (21) excede cinco por ciento, en particular diez por ciento, aún de manera más particular veinte por ciento de la longitud de la pala de rotor (10).

8. La pala de rotor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde el sensor (22) es un reflector de Bragg distribuido, en particular una rejilla de Bragg de fibra, construida en un segmento corto de la fibra óptica (21).

9. La pala de rotor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde la fibra óptica (21) comprende una pluralidad de sensores (22), que están distribuidos de manera longitudinal en la fibra óptica (21).

10. La pala de rotor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde la pala de rotor (10) comprende una pluralidad de fibras ópticas (21) con sensores (22) respectivos, que en particular se disponen sustancialmente en paralelo entre sí en el material de plástico reforzado con fibra (35).

11. La pala de rotor (10) de acuerdo con la reivindicación 10, en donde la pluralidad de fibras ópticas (21) se conecta a un interrogador óptico (23), que en sí mismo es conectable a un controlador lógico programable de la turbina eólica.

12. La pala de rotor (10) de acuerdo con la reivindicación 11, en donde el interrogador óptico (23) se sitúa en la sección de raíz (11) de la pala de rotor (10) o en la chumacera de la turbina eólica.

13. Turbina eólica para generar electricidad comprende al menos una pala de rotor (10) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.

14. Método para monitorear las características estructurales y/o integridad de un elemento estructural (20) de una pala de rotor (10) de una turbina eólica, en donde

- el elemento estructural (20) se fabrica de un material de plástico reforzado con fibra pultruido (35) y es adecuado para reforzar y endurecer la estructura de la pala de rotor (10), y
- el elemento estructural (20) comprende una fibra óptica (21) que se incorpora en el material de plástico reforzado con

fibra pultruido (35), en donde la fibra óptica (21) comprende al menos un sensor (22),

en donde el método comprende los pasos de

- 5 - determinar la distribución de deformación a lo largo del elemento estructural (20) al monitorear una flexión de la fibra óptica (21), y
 - comparar la distribución de deformación determinada con una distribución de deformación de referencia del elemento estructural (20).
- 10 15. Método para generar datos de entrada para controlar una turbina eólica con al menos una pala de rotor (10), en particular a través del control de inclinación individual de la pala de rotor (10), en donde
 - la pala de rotor (10) comprende un elemento estructural (20) que se fabrica de un material de plástico reforzado con fibra pultruido y que es adecuado para reforzar y endurecer la estructura de la pala de rotor (10), y
- 15 - el elemento estructural (20) comprende una fibra óptica (21) que se incorpora en el material de plástico reforzado con fibra pultruido (35), en donde la fibra óptica (21) comprende al menos un sensor (22),
 en donde el método comprende los pasos de
- 20 - determinar la flexión y/o retorcimiento de la pala de rotor (10) a través del sensor (22) de la fibra óptica (21) incorporada, y
 - proporcionar los valores determinados de la flexión y/o retorcimiento de la pala de rotor (10) a un controlador de la turbina eólica.

FIG 1

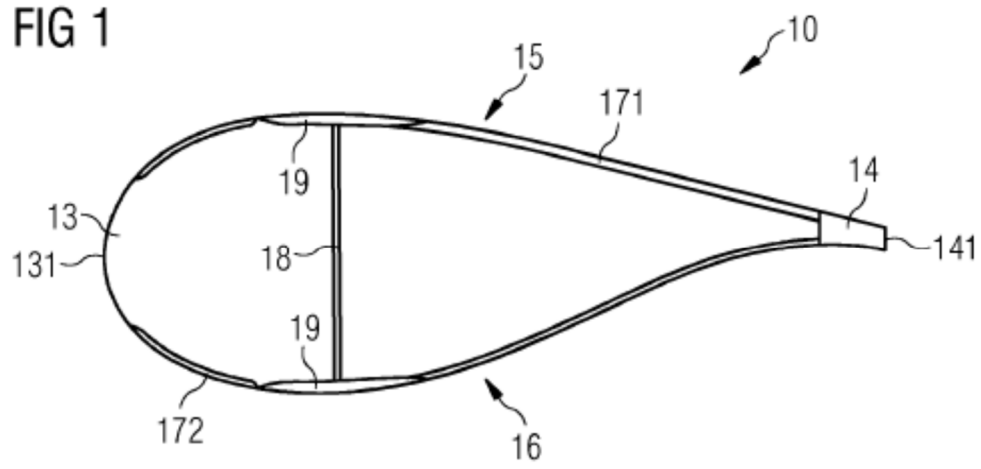


FIG 2

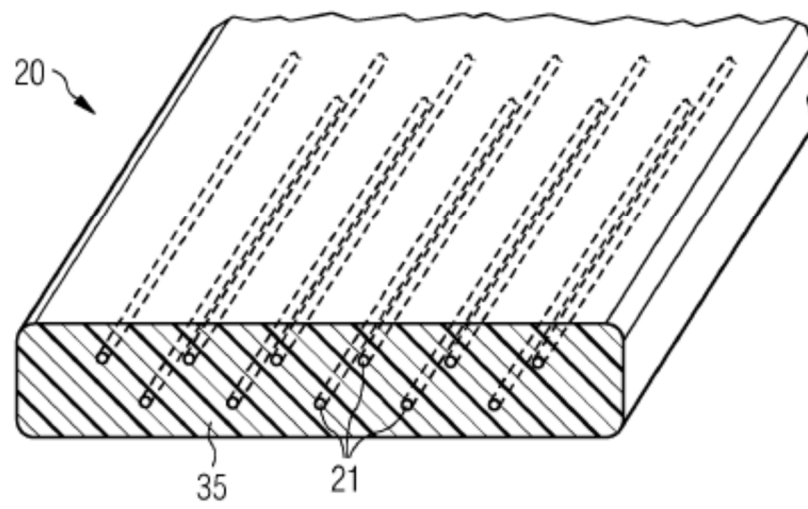


FIG 3

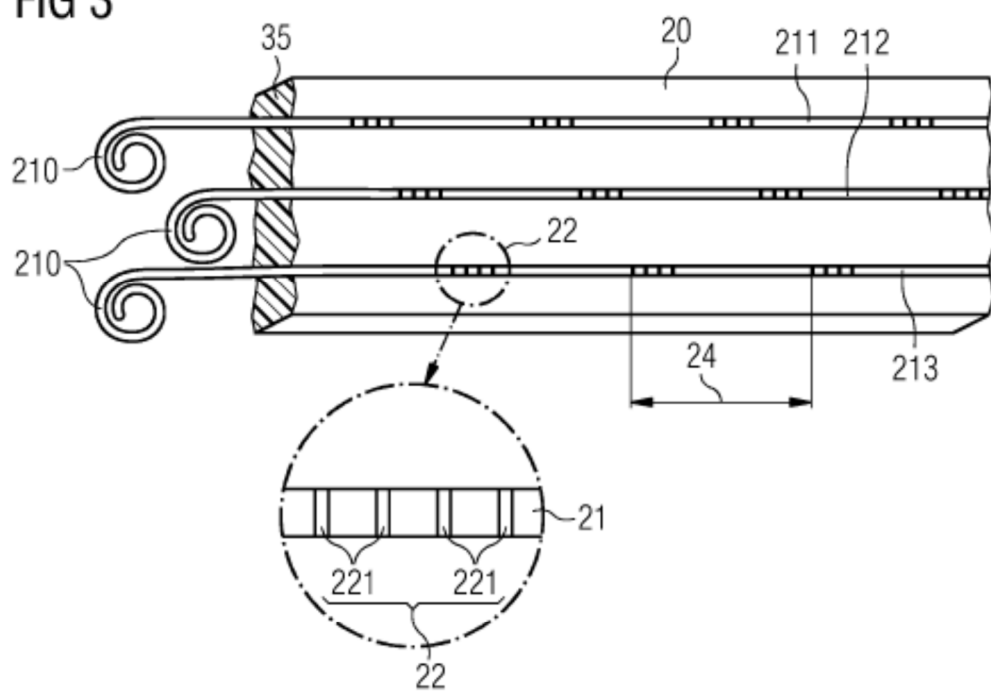


FIG 4

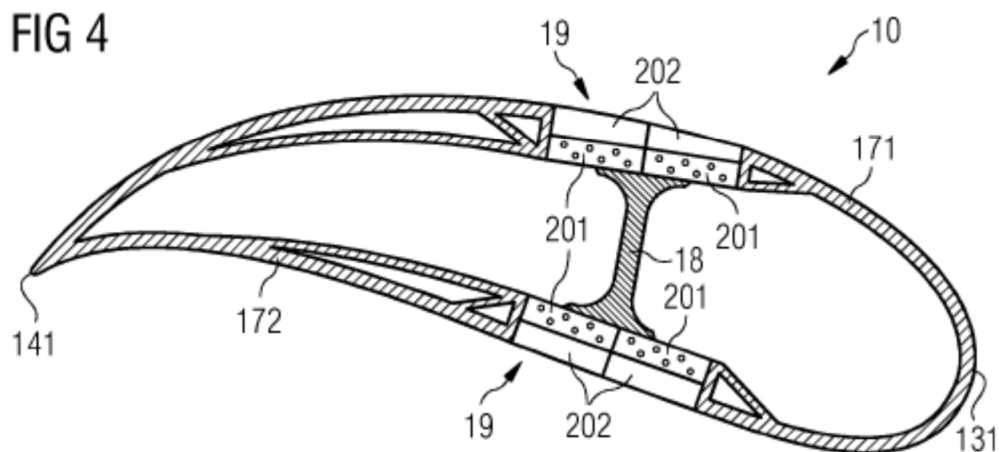


FIG 5

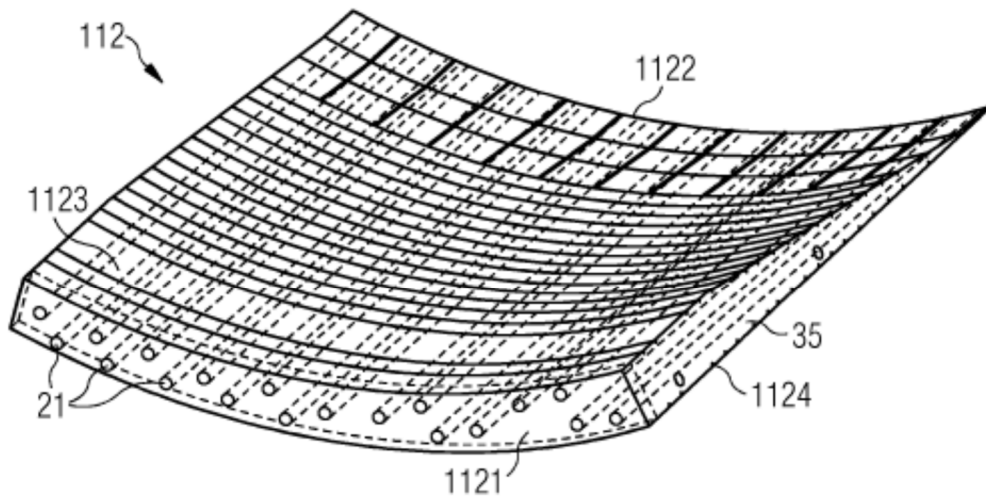


FIG 6

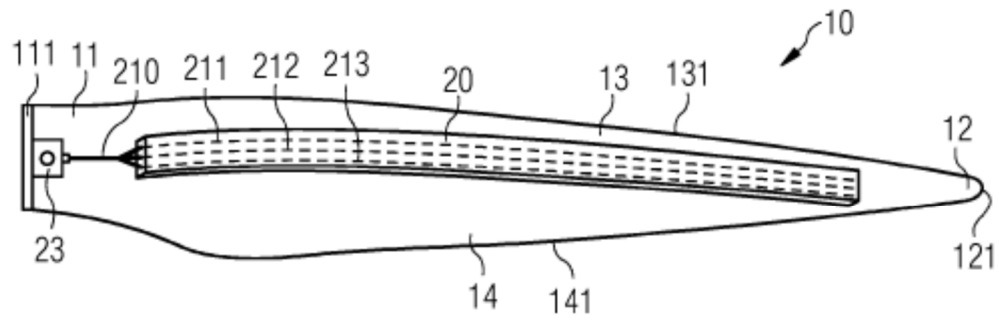


FIG 7

