

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 988 020**

51 Int. Cl.:

F03D 17/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.10.2021** **PCT/DK2021/050312**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.04.2022** **WO22083838**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.10.2021** **E 21791253 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2024** **EP 4229295**

54 Título: **Método y herramienta para detectar defectos en una pala generadora de aerogenerador**

30 Prioridad:

19.10.2020 EP 20202527

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

19.11.2024

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

DAHL, HENRIK BOAS

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 988 020 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

Método y herramienta para detectar defectos en una pala generadora de aerogenerador

La invención se refiere a un método y a una herramienta para detectar defectos debajo de una capa de protección exterior que protege el borde de ataque de una pala generadora de aerogenerador, así como a una unidad de detección que hace uso de tal método y tal herramienta.

Cuando un aerogenerador está girando, el borde de ataque de la pala generadora de aerogenerador está cortando a través el aire que la rodea a una velocidad muy alta, con la velocidad que es más alta en la punta exterior de la pala. Las colisiones con partículas transportadas por el aire, tales como gotas de lluvia, granizo, aguanieve, polvo, hojas, insectos y similares son inevitables con el tiempo. También, las condiciones climatológicas variables con cambios de temperatura, humedad, velocidad del viento y exposición a los rayos UV pueden estresar el material de la pala a largo plazo. Con el fin de proteger el material estructural real de una pala que están dado a la pala su resistencia estructural (típicamente un material compuesto de fibra) se conoce en la técnica dotar al borde de ataque de una pala generadora de aerogenerador con una capa de protección que cubre al menos una parte del borde de ataque a lo largo de su longitud, potencialmente desde cerca de la base de la pala cerca del centro de rotación todo el camino hasta la punta de la pala. Tal capa de protección sirve como escudo contra la erosión y se puede proporcionar en forma de un perfil en forma de U o en forma de una lámina o tira y se sujetará o unirá, preferiblemente se pegará, al material estructural de la pala típicamente como uno de los pasos finales de la producción de palas o como parte de un proceso de reparación de pala. Tal capa de material se puede sujetar o unir al material estructural de la pala en una única pieza o en varios segmentos contiguos. El material usado para la capa de protección puede ser, por ejemplo, un material de poliuretano de alta durabilidad y de alta resiliencia frente al impacto, tal como el poliuretano termoplástico (TPU). Por supuesto, también se pueden usar otros materiales factibles para el propósito previsto. Los documentos de la técnica anterior WO 2018/114123 A1 y WO 2016/075619 A1 mencionan tal capa de material protector y también la invención descrita en esta solicitud puede hacer uso de tal material.

El documento de solicitud de patente abierta a inspección pública WO 2018/114123 A1 enfatiza la importancia de una unión correcta y continuamente intacta entre el material estructural de una pala y la capa de material protector usada como cubierta protectora o como escudo contra la erosión y describe un método para evitar bolsas de aire (llamados "vacíos") debajo de la capa de material protector extrayendo aire a través de un canal de salida de aire que se proporciona durante el proceso de unión entre medias de la pala generadora de aerogenerador y la capa protectora. En el área de una bolsa de aire o un vacío existente, la unión entre la capa de protección y el material estructural está incompleta, de manera que un vacío pueda conducir a una delaminación, por ejemplo, debida al efecto de muesca en el punto de unión defectuoso. El método descrito en el documento WO 2018/114123 A1 puede ayudar a minimizar la existencia de vacíos, pero no los eliminará por completo. Además, el método no proporciona una solución al problema de que incluso después de manejar el método sugerido, un paso final de control de calidad necesita ser realizado con el fin de asegurar que, de hecho, no estén presentes vacíos de tamaño relevante.

Además, a partir de los documentos de la técnica anterior EP 2 275 670 A2, CA 3 015 284, US 2010/0208247 A1 y EP 3 453 874 A1 se conocen métodos y aparatos que sirven para inspeccionar palas generadoras de aerogenerador con el fin de detectar e identificar potenciales defectos de material, incluyendo parcialmente defectos de material que se encuentran debajo de una superficie exterior de la pala. Algunos de estos métodos y aparatos se pueden aplicar como uno de los pasos finales durante el proceso de producción de palas en el emplazamiento de producción, o se pueden aplicar después de la instalación final del aerogenerador o incluso en inspecciones después de un período de uso en el emplazamiento del aerogenerador. No obstante, estos métodos y aparatos requieren un equipo muy especial y técnicamente altamente sofisticado y/o no son parcialmente factibles para ser usados de una manera rápida y sencilla durante la producción de una pala generadora de aerogenerador justo antes de la terminación y transporte de la pala hasta el emplazamiento del aerogenerador. Además, los métodos y aparatos conocidos en la técnica pueden no tener la capacidad de detectar defectos potenciales debajo de una capa de material ligeramente más gruesa, tal como una capa protectora de, por ejemplo, un poliuretano termoplástico como se describió anteriormente. El documento US 2020/025176 A1 describe una unidad de inspección no destructiva suspendida por cable para un escaneo rápido de áreas grandes diseñada para adherirse de una manera flotante y adquirir datos de sensor de NDI desde la superficie lateral.

Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un método y una herramienta para detectar defectos potenciales debajo de una capa de protección exterior que protege el borde de ataque de una pala generadora de aerogenerador que es capaz de detectar una potencial bolsa de aire o un vacío como uno de los pasos finales de producción de una manera simple, rápida y fácil de usar. Un objeto adicional de la invención es poner a disposición tal método y tal herramienta de manera que no requiere un equipo técnico altamente sofisticado.

Para cumplir con estos objetos, la invención proporciona un método para detectar defectos debajo de una capa de protección exterior que protege el borde de ataque de una pala generadora de aerogenerador, en donde el método incluye los pasos de

- guiar una herramienta de detección de defectos sobre la capa de protección exterior en una dirección de movimiento de la herramienta, y

- detectar al menos un valor de realimentación que experimenta la herramienta mientras que se guía sobre la capa de protección exterior con el fin de detectar un defecto potencial,

en donde la herramienta de detección de defectos comprende una base de la herramienta (12) y una punta de la herramienta que se está desviando contra la superficie de la capa de protección exterior en una dirección de desviación de la herramienta mientras que se guía sobre la capa de protección exterior en la dirección de movimiento de la herramienta y se detectan defectos potenciales debajo de la capa de protección exterior como desviaciones en la uniformidad del al menos un valor de realimentación, y en donde la punta de la herramienta está formada por un disco, un cerco o una bola soportada de manera giratoria en relación con la base de la herramienta de manera que cuando la herramienta de detección de defectos se está guiando sobre la capa de protección exterior en la dirección de movimiento de la herramienta y se desvía en una dirección de desviación de la herramienta contra la superficie de la capa de protección exterior, entonces la punta de la herramienta rueda sobre la superficie de la capa de protección exterior. Esto permite el movimiento de la herramienta a lo largo de la superficie de la herramienta de capa de protección exterior y detectar la respuesta a la desviación sin movimiento lateral entre la punta de la herramienta y la capa protectora exterior en el punto de medición entre la punta de la herramienta y la capa protectora exterior, lo que aumenta drásticamente la sensibilidad de la medición.

Para cumplir con estos objetos, la invención proporciona además una herramienta para detectar defectos debajo de una capa de protección exterior que protege el borde de ataque de una pala generadora de aerogenerador, la herramienta de detección de defectos que comprende una base de la herramienta y una punta de la herramienta, la punta de la herramienta que está diseñada para ser guiada a través de la superficie de la capa de protección exterior en una dirección de movimiento de la herramienta y para ser desviada contra la superficie de la capa de protección exterior en una dirección de desviación de la herramienta con el fin de detectar al menos un valor de realimentación que experimenta la punta de la herramienta en la dirección de movimiento de la herramienta y/o en la dirección de desviación de la herramienta mientras que se guía sobre la capa de protección exterior, en donde la punta de la herramienta está formada por un cerco o disco soportado de manera giratoria con relación a la base de la herramienta.

La invención también proporciona una unidad de detección para detectar defectos debajo de una capa de protección exterior que protege el borde de ataque de una pala generadora de aerogenerador haciendo uso de al menos una herramienta de detección de defectos como se mencionó anteriormente y/o que se usa en un método como se mencionó anteriormente.

La invención proporciona un método y una herramienta que desviando la punta de la herramienta contra la superficie de la capa de protección exterior y, al mismo tiempo, moviendo la herramienta a lo largo de una trayectoria de movimiento de la herramienta a lo largo del borde de ataque en la dirección de movimiento de la herramienta, se puede detectar la realimentación que experimenta la herramienta mientras que está en contacto y rodando sobre la superficie de la capa de protección exterior. Cualquier cambio notable en la uniformidad de la realimentación detectada se puede considerar un defecto potencial debajo de la capa de protección exterior, dado que en el caso de una capa de protección exterior unida de manera perfectamente uniforme y continua y en ausencia de ningún defecto, la realimentación o la "sensación" de la herramienta que se desvía contra y se mueve a lo largo de la superficie de la capa protectora sería consistente. Particularmente, en el caso de que la herramienta se mueva a través de una bolsa de aire o vacío que está presente debajo de la capa de protección exterior, la punta de la herramienta, que está en contacto con, se desvía contra y rueda sobre la superficie de la capa de protección exterior - debido a las propiedades del material suficientemente blando del material usado para la capa de protección, por ejemplo, TPU como se mencionó anteriormente - se hundiría en el vacío al menos en cierta medida cuando se alcanza un primer borde del vacío y se elevaría fuera del vacío cuando se entra en contacto con un segundo borde del vacío justo antes de abandonar el área debajo de la cual está presente el vacío, dado que el vacío es más blando que el adhesivo que normalmente está presente entre la capa protectora exterior y la pala. Se debería observar que el método y la herramienta presentes que utilizan una punta de la herramienta, que está soportada de manera giratoria por la base de la herramienta, permite detectar la respuesta a la fuerza mecánica aplicada a la capa de protección exterior por la herramienta y particularmente los cambios en respuesta del movimiento lateral sin movimiento lateral entre la punta de la herramienta y la capa de protección exterior en el punto de medición que permite una observación precisa de la respuesta durante el movimiento de la punta de la herramienta sobre la superficie. Una consecuencia adicional de esto es que la medición típicamente se puede realizar en condiciones secas, es decir, sin suministro de lubricante, gel de vacío o sustancia añadida similar, lo que reduce el coste, el impacto medioambiental y el tiempo de tratamiento posterior (limpieza) después del uso de la herramienta o del método según la invención.

En este contexto se observa que la herramienta y el método están particularmente dirigidos a detectar defectos y bolsas de aire o vacíos en una capa de unión debajo de la capa protectora exterior. La capa de unión típicamente comprenderá o incluso será únicamente consistente con el adhesivo que se usa para unir la capa de protección exterior al material estructural de la pala generadora de aerogenerador y típicamente se colocará entre una superficie interior de la capa protectora y una superficie exterior del material estructural de la pala.

Para la investigación del borde de ataque de la pala generadora de aerogenerador, la herramienta o una unidad de detección que comprende tal herramienta se moverá preferiblemente en la dirección longitudinal de la pala de

manera que la dirección de movimiento de la herramienta sea preferiblemente una dirección sustancialmente paralela al curso del borde de ataque de la pala. No obstante y en particular, si la herramienta de detección de defectos está diseñada como una herramienta para ser usada manualmente por un usuario como se describe más adelante, la dirección de movimiento de la herramienta, por supuesto, puede ser cualquier dirección a lo largo de la cual el usuario decida guiar la herramienta sobre la superficie de la capa de protección. Siendo capaz de mover libremente la herramienta hacia delante y hacia atrás con la mano permitirá al usuario no solamente detectar la existencia de un defecto o vacío potencial (o verificar un resultado obtenido usando, por ejemplo, una unidad de detección automatizada), sino que también permitirá al usuario identificar las dimensiones de un defecto o vacío potencial y permitir medidas de reparación precisas.

Una de varias ventajas del método descrito es que la herramienta de detección de defectos se puede diseñar como una herramienta de mano y se puede guiar manualmente por un usuario de modo que el al menos un valor de realimentación se pueda detectar por el usuario, por ejemplo, un trabajador en el emplazamiento de producción que quiera controlar rápidamente la correcta unión de la capa de protección al material estructural de la pala y/o que quiera averiguar no solamente acerca de la longitud de un vacío detectado en la dirección longitudinal de la pala sino también acerca de la anchura de un vacío en una dirección sustancialmente perpendicular a la dirección longitudinal. Con este propósito, la herramienta de detección de defectos puede estar dotada con un mango para ser sostenido por la mano del usuario de manera que el usuario "sentirá" fácilmente un vacío debajo de la capa de protección por la realimentación que la herramienta le da al usuario durante su uso. A través del mango, el usuario puede aplicar fácilmente presión sobre la herramienta con la mano según sea necesario para detectar cualquier vacío debajo de la capa de protección.

Alternativamente, la base de la herramienta puede ser parte de, o puede estar conectada a, una sección de detección que de nuevo es parte de una unidad de detección que detecta la desviación en la uniformidad del al menos un valor de realimentación con al menos un sensor. La herramienta de detección de defectos es entonces parte de una unidad de detección que se mueve a lo largo del borde de ataque de la pala generadora de aerogenerador, la unidad de detección que comprende tal unidad de detección del valor de realimentación que está detectando la desviación en la uniformidad del al menos un valor de realimentación con el al menos un sensor. Preferiblemente, el al menos un sensor es uno de un sensor de medición de desplazamiento, un sensor de medición de presión y un sensor de medición de fuerza. Por lo tanto, el valor de realimentación a ser detectado puede ser preferiblemente un desplazamiento que experimenta la punta de la herramienta en relación con la sección de detección como resultado del hundimiento en o la elevación fuera un vacío, o puede ser un cambio en la presión o la fuerza ejercida sobre la punta de la herramienta durante el movimiento sobre la superficie de la capa de protección, de manera que el valor de realimentación también se podría describir como un valor de resistencia.

Con el fin de permitir un uso fácil de la herramienta o de cualquier unidad de detección dotada con tal herramienta, el cerco, el disco o la bola que forma la punta de la herramienta puede estar soportado en relación con la base de la herramienta por elementos rodantes dispuestos entre la punta de la herramienta y la base de la herramienta. En una realización preferida y muy fácil de realizar, la punta de la herramienta puede ser el cerco exterior de un cojinete de rodillos. Los cojinetes de rodillos son particularmente útiles en mantener una dirección lineal del movimiento de la herramienta durante el uso de la herramienta. En otra realización preferida, la punta de la herramienta puede ser la bola de una unidad de transferencia de bolas. Una unidad de transferencia de bolas son bolas esféricas omnidireccionales de soporte de carga montadas en el interior de un dispositivo de restricción y también se puede hacer referencia a ella como cojinete de transferencia de bolas o simplemente un rodillo de bolas. Las unidades de transferencia de bolas son particularmente útiles para permitir un fácil movimiento de la herramienta en todas las direcciones, tal como en círculos o espirales, durante el uso de la herramienta.

La punta de la herramienta puede tener muchos tamaños dependiendo de las propiedades del material usado de la capa protectora exterior y la fuerza que el usuario o la herramienta es capaz de aplicar a la herramienta. No obstante, cuando el método y la herramienta se usan para examinar capas protectoras exteriores de TPU, se ha encontrado entonces que es altamente ventajoso que la anchura de la punta de la herramienta perpendicular a la dirección de movimiento de la herramienta sea menor que 10 mm, más preferiblemente igual o menor que 6 mm. Preferiblemente, la anchura de la punta de la herramienta perpendicular a la dirección de movimiento de la herramienta es de al menos 4 mm. Además, el diámetro exterior del cerco o disco que forma la punta de la herramienta puede ser menor que 25 mm, preferiblemente igual o menor que 20 mm. Preferiblemente, el diámetro exterior del cerco o disco que forma la punta de la herramienta es preferiblemente de al menos 15 mm. Entonces la punta de la herramienta es una bola, entonces se prefiere que el diámetro de la bola esté entre 6 - 20 mm. Estos tamaños preferidos permitieron reducir la superficie de contacto que tiene la punta de la herramienta durante el uso con la superficie de la capa de protección para permitir que la punta de la herramienta exponga una presión suficientemente más alta y se hunda más fácilmente en un vacío debajo de la capa de protección sin destruirla la capa protectora o la capa adhesiva debajo de ella. Además, proporcionó una medición más precisa con respecto al tamaño y la posición de potenciales defectos debajo de la capa protectora exterior.

Para aumentar el valor de realimentación potencial, la herramienta de detección de defectos es capaz de hacer que la punta de la herramienta esté preferiblemente soportada rígidamente en relación con la base de la herramienta en la dirección de desviación de la herramienta. Soportada rígidamente significa que entre la punta de la herramienta y

la base de la herramienta que sirve para pasar o transmitir el valor de realimentación al usuario o a un sensor de una unidad de detección no se proporcionan elementos de amortiguación.

Se debería señalar que si se usa una herramienta de detección de defectos como se mencionó anteriormente como parte de un sensor equipado con una unidad de detección, tal unidad de detección puede hacer uso de una pluralidad de tales herramientas de detección de defectos y puede incluir una pluralidad de sensores con el fin de cubrir varias trayectorias en la dirección de movimiento de la herramienta que cubrirán un área más amplia durante un único "recorrido" de la unidad de detección a lo largo del borde de ataque.

Para desviar la punta de la herramienta contra la superficie de la capa de protección, la unidad de detección se puede colocar sobre el borde de ataque de la pala generadora de aerogenerador con la punta de la herramienta que se desvía contra la superficie de la capa de protección exterior por el peso de la unidad de detección que incluye cualquier peso externo con el que se pueda cargar la unidad de detección. El uso de pesos externos que actúan sobre la punta de la herramienta a través de la unidad de detección también puede ser ventajoso debido a que los pesos externos pueden ayudar a bajar el centro de gravedad de la unidad de detección colocada sobre el borde de ataque de modo que la unidad de detección esté en una posición estáticamente estable cuando se está moviendo a lo largo del borde de ataque de la pala. Alternativamente o además de cualquier peso externo añadido a la unidad de detección, es posible, por supuesto, que el usuario aplique presión a la unidad de detección.

Como se mencionó anteriormente, la herramienta comprende una base de la herramienta y una punta de la herramienta, con la punta de la herramienta, por ejemplo, que está formada por un disco o un cerco soportado de manera giratoria en relación con la base de la herramienta de manera que cuando la herramienta de detección de defectos se está guiando sobre la capa de protección exterior en la dirección de movimiento de la herramienta y se desvía en una dirección de desviación de la herramienta contra la superficie de la capa de protección exterior, la punta de la herramienta rueda sobre la superficie de la capa de protección exterior. Particularmente, si una o una pluralidad de herramientas de detección de defectos son parte de una unidad de detección de defectos, las puntas de las herramientas pueden servir como ruedas de la unidad de detección.

Preferiblemente, cuando la unidad de detección se mueve a lo largo del borde de ataque de la pala generadora de aerogenerador, las coordenadas de un defecto potencial detectado se pueden almacenar en una unidad de almacenamiento y/o un defecto potencial detectado se puede marcar sobre la pala del aerogenerador por un dispositivo de marcado de defectos y/o un defecto potencial detectado se señala al usuario por una unidad de señalización. Por ejemplo, la unidad de detección puede comprender una rueda de control de diámetro conocido que rueda sobre la capa de protección exterior u otra superficie de la pala y, registrando las rotaciones de la rueda y almacenando la distancia correspondiente en los datos de almacenamiento se pueden generar mostrando al usuario en qué posiciones de la distancia cubierta se han registrado los potenciales defectos. Alternativamente, o además, se puede activar un dispositivo de marcado, tal como un dispositivo de pulverización de pintura, cuando se detecta un defecto potencial para marcar sobre la superficie el punto o área donde se ha detectado el defecto. Además, y también alternativamente, o además, una unidad de señalización puede emitir, por ejemplo, un sonido, una señal luminosa o cualquier otra señal apropiada en el momento en que se detecta un defecto potencial. Esto permitirá al usuario controlar y verificar manualmente de manera fácil puntos o áreas con potenciales defectos detectados manualmente con una herramienta operada manualmente como se mencionó anteriormente después de haber usado una unidad de detección de funcionamiento más automatizada en un primer paso.

Diversas características y ventajas adicionales de la invención llegarán a ser más evidentes para los expertos en la técnica tras la revisión de la siguiente descripción detallada de una o más realizaciones ilustrativas tomadas junto con los dibujos que se acompañan. Los dibujos que se acompañan, que se incorporan y constituyen parte de esta especificación, ilustran una o más realizaciones de la invención y, junto con la descripción general dada anteriormente y la descripción detallada dada a continuación, sirven para explicar la una o más realizaciones de la invención. En los dibujos que se acompañan:

la Fig. 1 es una vista esquemática en perspectiva de un aerogenerador de eje horizontal,

la Fig. 2 es una vista esquemática en perspectiva de una sección de una pala generadora de aerogenerador y una capa protectora a ser unida al borde de ataque de la pala,

la Fig. 3 es una primera vista esquemática de una sección transversal parcial de la pala generadora de aerogenerador,

la Fig. 4 es una segunda vista esquemática de una sección transversal parcial de la pala generadora de aerogenerador,

la Fig. 5 muestra vistas de herramientas de detección de defectos,

la Fig. 6 es una vista esquemática de una herramienta de detección de defectos que se guía a través de un vacío debajo de una capa de protección exterior,

la Fig. 7 representa una unidad de detección de defectos que está equipada con una pluralidad de sensores que hacen uso de herramientas de detección de defectos, y

la Fig. 8 ilustra esquemáticamente los datos del sensor obtenidos usando la unidad de detección de defectos mostrada en la Fig. 7.

- 5 La Figura 1 muestra un aerogenerador de eje horizontal 1 con tres palas 2 que giran en la dirección indicada por la flecha. Las palas 2 tienen un borde de ataque 3. En la región exterior de rotación rápida del borde de ataque se une una capa de protección exterior 4 que sirve como escudo contra la erosión.

La Figura 2 muestra una parte de una pala generadora de aerogenerador 2 y un perfil de la capa de protección exterior 4 antes de ser unida al borde de ataque 3 de la pala.

- 10 En aras de la exhaustividad, se debería mencionar que la capa de protección exterior puede - aparte de lo que se representa en la Fig. 1 y en la Fig. 2 - extenderse en dirección longitudinal más a lo largo del borde de ataque de la pala, por ejemplo (casi) todo el camino hasta la punta exterior de las palas y/o (casi) todo el camino hasta la base de la pala con la que está montada al buje.

- 15 La Figura 3 y la Figura 4 son vistas esquemáticas en sección transversal de una región del borde de ataque de una pala generadora de aerogenerador en la que está presente una capa de protección exterior (Fig. 3: transversal a la dirección longitudinal de la pala 2 / Fig. 4: en dirección longitudinal de la pala 2). El borde de ataque tiene una construcción en capas y comprende una capa de material estructural 6 para dar a la pala su resistencia estructural (típicamente que consta de material compuesto de fibra), la capa de protección exterior 4 ya mencionada (que sirve como escudo contra la erosión) y una capa de unión 5 (típicamente que consta principalmente o únicamente de un adhesivo usado para unir la capa de protección 4 a la capa de material estructural 6).

- 20 La capa de protección exterior 4 está hecha preferiblemente de un material plástico resistente a la erosión y resiliente al impacto tal como, por ejemplo, plásticos a base de poliuretano, por ejemplo, TPU. El grosor de la capa de protección puede ser más grueso en la región media y disminuir hacia los bordes laterales para mejorar el rendimiento aerodinámico y puede tener desde alrededor de 4 mm en la región media hasta sólo 0,1 mm de grosor en los bordes laterales. El grosor de la capa de protección exterior típicamente es sustancialmente constante en la dirección longitudinal de la pala.

- 25 La Figura 3 y la Figura 4 ilustran un vacío 7 formado por una bolsa de aire en la capa de unión 5. En el área del vacío, la capa de protección externa 4 no se adhiere directamente a la capa de material estructural 6 interna. Desde esta área, la delaminación puede desarrollarse con el tiempo, de manera que se reduzca la vida útil potencialmente alcanzable de la capa protectora exterior y, efectivamente, de la pala.

- 30 La Figura 5a y la Figura 5b representan dos vistas esquemáticas laterales de una herramienta 10 según la invención que se puede usar para detectar un vacío tal como se representa en la Figura 3 y en la Figura 4. La herramienta tiene una punta de la herramienta 11 y una base de la herramienta 12 en forma de mango para ser agarrado por un usuario. El mango será preferiblemente de metal, tal como aluminio o acero o de plástico duro. Es evidente a partir de la Figura 5a y la Figura 5b que la punta de la herramienta 11 está formada por un miembro que es capaz de girar en relación con la base de la herramienta 12. El miembro giratorio en la Figura 5a y de la Figura 5b que forma la punta de la herramienta 11 está - como ejemplo - formado por el cerco exterior de acero 13 de un cojinete de rodillos 14 soportado en relación con la base de la herramienta 12 por una horquilla 15 que define y que acomoda el eje A alrededor del cual puede girar la punta de la herramienta 11. La horquilla 15 también forma parte de la base de la herramienta. Debido a este diseño, la herramienta carece de elementos de amortiguación y es extremadamente rígida en todas las direcciones, cualquier fuerza podría actuar sobre la herramienta, de modo que la herramienta da una realimentación "sin filtrar" a la base de la herramienta de las superficies sobre las que se rueda. La Figura 5c es una vista esquemática lateral de un ejemplo adicional de una herramienta 10 que se puede usar para detectar un vacío, tal como se representa en la Figura 3 y en la Figura 4. La herramienta tiene una punta de la herramienta 11 y una base de la herramienta 12 en forma de mango para ser agarrado por un usuario. El mango será preferiblemente de un material rígido, por ejemplo, un metal, tal como aluminio o acero, o de plástico duro. Es evidente a partir de la Figura 5c que la punta de la herramienta 11 está formada por un miembro que es capaz de girar en relación con la base de la herramienta 12. El miembro giratorio de la Figura 5c que forma la punta de la herramienta 11 - como ejemplo - está formado por la bola de una unidad de transferencia de bolas en relación con la base de la herramienta 12 por un casquillo 16 en el que puede girar la punta de la herramienta 11. El casquillo 16 también forma parte de la base de la herramienta 12. Debido a este diseño, la herramienta carece de cualquier elemento de amortiguación y es extremadamente rígida en todas las direcciones, cualquier fuerza podría actuar sobre la herramienta, de modo que la herramienta da realimentación "sin filtrar" a la base de la herramienta de las superficies sobre las que se rueda.

- 55 La Figura 6 ilustra cómo se puede usar la herramienta cuando se está guiando sobre la superficie de una capa de protección 4 que cubre al menos una sección del borde de ataque de una pala generadora de aerogenerador con el fin de detectar un defecto debajo de la capa de protección. La Figura 6 muestra la misma vista en sección transversal que se muestra en la Figura 4. Se observa en la herramienta 10 situada más a la izquierda que cuando

se desvía la herramienta en la dirección de desviación B conducirá a la deformación de la capa protectora exterior 4 también cuando no haya ningún vacío debajo de la capa de protección exterior 4. No obstante, siguiendo la trayectoria de la herramienta 10 a lo largo de la dirección de movimiento de la herramienta T se puede ver que una vez que la herramienta alcanza el área debajo de la cual está presente el vacío 7, la herramienta se hundirá, al menos en cierta medida, en el vacío 7 cuando se introduce en el área y se elevará fuera del vacío cuando se abandona el área del vacío, dado que la capa de unión no está presente y por lo tanto la capa de protección exterior relativamente flexible no soporta la punta 4 por lo que la capa protectora se deformará hacia la capa de material estructural 6 de la pala. Esto se indica con una herramienta en líneas de puntos para diversas posiciones en la dirección T con la altura resultante indicada con relación a la altura sin desviar original de la capa de protección exterior. Se observa que particularmente los bordes del vacío están claramente indicados por pasos en la respuesta. Sorprendentemente, incluso los vacíos en capas de unión relativamente delgadas de, por ejemplo, adhesivo de 0,5 - 2 mm pueden ser claramente detectadas usando la herramienta y el método según la invención.

Se ha descubierto que una herramienta diseñada con alta rigidez en la dirección de desviación de la herramienta B (asegurada por la base de la herramienta rígida y por el soporte de la punta de la herramienta), baja resistencia en la dirección de movimiento de la herramienta T (proporcionada por la punta de la herramienta que está soportada de manera giratoria en relación con la base de la herramienta para asegurar ningún movimiento relativo entre la capa de protección exterior 6 y la punta de la herramienta 11 en el punto de prueba) y la capacidad de ejercer una alta presión local sobre la superficie de la capa protectora (hecha posible dotando la herramienta con una punta de la herramienta que forma solamente una pequeña área de contacto con la superficie con la que está en contacto y contra la cual se desvía) da una realimentación muy directa y sin filtrar acerca de cualquier irregularidad y/o desnivel que se encuentre debajo de la capa de protección, incluso si esta capa tiene varios milímetros de grosor e incluso si está presente alguna capa de unión, pero no suficiente, en el vacío. El usuario que hace rodar la herramienta 10 a lo largo de la trayectoria como se muestra en la Figura 6 sentirá fácilmente el comienzo y el final del vacío debajo de la capa protectora y, por lo tanto, se pone en una posición para identificar un vacío potencial que no se puede ver con el ojo ni sentir con la mano.

La Figura 7 muestra una vista esquemática de un posible diseño de una unidad de detección de defectos 20 que tiene una pluralidad de sensores S₁, S₂, S₃, S₄ y S₅. Una herramienta como se describió anteriormente forma parte del sensor o, en otras palabras, los sensores comprenden una herramienta como se describió anteriormente, con la punta de la herramienta actuando como una punta de sensor. La unidad de detección 20 se puede mover a lo largo del borde de ataque de la pala generadora de aerogenerador 2 ya sea tirando o empujando manualmente la unidad o por medios de accionamiento 21. Los medios de accionamiento pueden comprender un motor eléctrico 22 a cada lado de la unidad que acciona ruedas de fricción 23 desviadas contra y en contacto con la superficie de la pala 2, preferiblemente desviadas contra y en contacto con una sección de superficie de la pala que no está cubierta por la capa de protección 4 para la cual se está realizando el proceso de detección de defectos. Con el fin de permitir que los medios de accionamiento se adapten a una sección transversal cambiante de la pala a lo largo de la trayectoria de movimiento de la herramienta en la dirección longitudinal de la pala, los medios de accionamiento 21 se pueden soportar de manera pivotante, por ejemplo, en relación con un bastidor o alojamiento de la unidad de detección 20. El bastidor o alojamiento forma una unidad de detección que acomoda los sensores S₁-S₅. También, para aumentar el peso de la unidad de detección y, por ello, aumentar la fuerza que desvía las puntas de la herramienta 11 contra la superficie de la capa de protección 4 y para mejorar la estabilidad del movimiento de la unidad de detección se pueden usar pesos externos 24.

La unidad de detección 20 representada en la Figura 7 tiene un alojamiento o bastidor que acomoda los sensores S₁, S₂, S₃, S₄ y S₅. Estos sensores comprenden una herramienta con una punta de la herramienta 11 y una base de la herramienta 12 como se describió anteriormente. Dado que estos sensores no están guiados manualmente, los sensores están diseñados para detectar un valor de realimentación que el sensor experimenta mientras que la punta de la herramienta está rodando sobre la superficie de la capa de protección durante un movimiento de la punta de la herramienta 11 en la dirección de desviación de la herramienta que, para cada sensor, es sustancialmente perpendicular a la superficie de la capa de protección 4 en el área de contacto respectiva donde la punta de la herramienta hace contacto con la superficie de la capa de protección. De esto se deduce que las puntas de las herramientas soportadas de manera giratoria de la pluralidad de herramientas y sensores actúan como ruedas sobre las que está moviéndose la unidad de detección a lo largo del borde de ataque de la pala.

La Figura 7 también muestra que los sensores que comprenden las herramientas están desviados por resorte contra la superficie de la capa de protección 4 por resortes helicoidales 25. Se debería señalar que, por supuesto, también se pueden usar otros medios para desviar las puntas de las herramientas contra la superficie.

La unidad de detección 20 comprende una unidad de almacenamiento o de memoria electrónica y análisis de datos 26 a la que se conectan los sensores y que registrará y almacenará los datos obtenidos por los sensores. La unidad de detección también puede comprender una unidad de señalización acústica y/u óptica 27 para señalar al usuario cuándo se detecta un defecto potencial tal como un vacío. Además, se muestra una unidad de marcado 28 que sirve para dejar una marca de pintura sobre la superficie de la capa de protección 4 en caso de que se detecte un defecto potencial por uno de los sensores. Finalmente, la Figura 7 representa el uso de una rueda de control 29 de un diámetro conocido que ayudará a poner en relación los valores de realimentación detectados por los sensores con la

distancia que la unidad de detección se movió desde un punto de partida en el momento de la aparición de un valor del sensor detectado que indica un defecto potencial.

Se debería señalar que, aunque la Figura 7 solamente muestra una realización con todos los sensores que están colocados en el mismo plano sustancialmente perpendicular a la dirección longitudinal del borde de la pala, también es posible una realización en la que los sensores están desplazados entre sí en la dirección longitudinal, particularmente para estabilizar la unidad de detección contrarrestando una inclinación potencial de la unidad de detección alrededor del eje transversal horizontal. Las puntas de las herramientas soportadas de manera giratoria de tal realización pueden formar ruedas delanteras y ruedas traseras.

La Figura 8 muestra un gráfico de los datos del sensor obtenidos por los sensores S_1 - S_5 mientras que se guía la unidad de detección 20 de la Figura 7 a lo largo del borde de ataque de la pala 2. Se puede ver que mientras que el valor del sensor registrado a partir de los sensores S_1 , S_2 , S_4 y S_5 es bastante consistente y no se desvía mucho de la línea central en la distancia, el valor del sensor registrado por el sensor S_3 muestra una clara desviación de la línea central en una cierta distancia y, por lo tanto, indica un defecto potencial en la posición del sensor S_3 . Junto con los datos obtenidos de la rueda de control y de un punto de partida conocido, el usuario puede encontrar fácilmente el área donde se puede encontrar el defecto potencial incluso en el caso de que la unidad de detección no esté equipada con una unidad de marcado o con una unidad de señalización como se describió anteriormente.

Mientras que la presente invención se ha ilustrado mediante la descripción de una o más realizaciones de la misma, y aunque la una o más realizaciones se han descrito con considerable detalle, no se pretende restringir ni limitar de ninguna forma el alcance de las reivindicaciones adjuntas a tal detalle. Las diversas características tratadas en la presente memoria se pueden usar solas o en cualquier combinación. Los expertos en la técnica apreciarán fácilmente ventajas y modificaciones adicionales. Por lo tanto, la invención en sus aspectos más amplios no se limita a los detalles específicos y a los ejemplos ilustrativos mostrados y descritos. Por consiguiente, se pueden hacer desviaciones de tales detalles sin apartarse del alcance del concepto inventivo general.

Lista de números de referencia

- 1 Aerogenerador de eje horizontal
- 2 Palas generadoras de aerogenerador
- 3 Borde de ataque
- 4 Capa de protección exterior / perfil de capa de protección exterior
- 5 Capa de unión
- 6 Capa de material estructural
- 7 Vacío (defecto)
- 10 Herramienta de detección de defectos
- 11 Punta de la herramienta
- 12 Base de la herramienta
- 13 Cerco exterior
- 14 Cojinete de rodillos
- 15 Horquilla
- 16 Casquillo
- 20 Unidad de detección de defectos
- 21 Medio de accionamiento
- 22 Motor eléctrico
- 23 Ruedas de fricción
- 24 Pesos externos
- 25 Resortes helicoidales
- 26 Unidad de almacenamiento

27 Unidad de señalización

28 Dispositivo de marcado

29 Rueda de control

A Eje de rotación de la punta de la herramienta

5 T Dirección de movimiento de la herramienta

B Dirección de desviación de la herramienta

S₁₋₅ Sensores

REIVINDICACIONES

1. Un método para detectar defectos debajo de una capa de protección exterior (4) que protege el borde de ataque (3) de una pala generadora de aerogenerador (2), el método que incluye los pasos de
 - 5 - guiar una herramienta de detección de defectos (10) sobre la capa de protección exterior (4) en una dirección de movimiento de la herramienta (T), y
 - detectar al menos un valor de realimentación que experimenta la herramienta (10) mientras que se guía sobre la capa de protección exterior (4) con el fin de detectar un defecto potencial (7),en donde la herramienta de detección de defectos (10) comprende una base de la herramienta (12) y una punta de la herramienta (11) que se desvía contra la superficie de la capa de protección exterior (4) en una dirección de desviación de la herramienta (B) mientras que se guía sobre la capa de protección exterior (4) en la dirección de movimiento de la herramienta (T),
 - 10 - caracterizado por que la punta de la herramienta está detectando defectos potenciales (7) debajo de la capa de protección exterior (4) como desviaciones en la uniformidad del al menos un valor de realimentación,
 - 15 y la punta de la herramienta (11) que está formada por un disco, un cerco o una bola (13) soportada de manera giratoria en relación con la base de la herramienta (12) de manera que cuando la herramienta de detección de defectos (10) está siendo guiada sobre la capa de protección exterior (4) en la dirección de movimiento de la herramienta (T) y se desvía en una dirección de desviación de la herramienta (B) contra la superficie de la capa de protección exterior (4), la punta de la herramienta (11) rueda sobre la superficie de la capa de protección exterior (4).
2. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que la herramienta de detección de defectos (10) es de mano y se guía por un usuario y el al menos un valor de realimentación se detecta por el usuario.
3. El método según la reivindicación 1, caracterizado por que la herramienta de detección de defectos (10) es parte de una unidad de detección (20) que se mueve a lo largo del borde de ataque (3) de la pala generadora de aerogenerador (2), la unidad de detección (20) que comprende una unidad de detección del valor de realimentación que está detectando la desviación en la uniformidad de al menos un valor de realimentación con al menos un sensor (S_1 - S_5), el sensor (S_1 - S_5) que es preferiblemente uno de un sensor de medición de desplazamiento, un sensor de medición de presión y un sensor de medición de fuerza.
4. El método según la reivindicación 1 o la reivindicación 3, caracterizado por que la unidad de detección (20) se mueve a lo largo del borde de ataque (2) de la pala generadora de aerogenerador (3) y
 - las coordenadas de un defecto potencial detectado (7) se almacenan en una unidad de almacenamiento (26) y/o
 - 30 - un defecto potencial detectado (7) se marca sobre la pala de aerogenerador (2) por un dispositivo de marcado de defectos (28), y/o
 - un defecto potencial detectado (7) se señala a un usuario por una unidad de señalización (27).
5. El método según cualquiera de las reivindicaciones 3 o 4, caracterizado por que la unidad de detección (20) se coloca sobre el borde de ataque (3) de la pala generadora de aerogenerador (2) con la punta de la herramienta (11) que se desvía contra la superficie de la capa de protección exterior (4) por el peso de la unidad de detección (20).
6. Una herramienta de detección de defectos (10) para detectar defectos (7) debajo de una capa de protección exterior (4) que protege el borde de ataque (3) de una pala generadora de aerogenerador (2), la herramienta de detección de defectos (10) que comprende una base de la herramienta (12) y una punta de la herramienta (11), la punta de la herramienta (11) que está diseñada para ser guiada a través de la superficie de la capa de protección exterior (4) en una dirección de movimiento de la herramienta (T),
 - 40 - caracterizado por que la punta de la herramienta (11) está diseñada para ser desviada contra la superficie de la capa de protección exterior (4) en una dirección de desviación de la herramienta (B) con el fin de detectar al menos un valor de realimentación que la punta de la herramienta (11) experimenta en la dirección de movimiento de la herramienta (T) y/o en la dirección de desviación de la herramienta (B) mientras que se guía sobre la capa de protección exterior (4),
 - 45 la punta de la herramienta (11) está formada por un cerco, un disco o una bola soportada de manera giratoria con relación a la base de la herramienta (12).
7. La herramienta de detección de defectos según la reivindicación 6, caracterizada por que la base de la herramienta (12) comprende un mango para ser sostenido por la mano de un usuario.
8. La herramienta de detección de defectos según la reivindicación 6, caracterizada por que la base de la herramienta (12) forma parte de y/o está conectada a una sección de detección que es parte de una unidad de

detección que detecta la desviación en la uniformidad del al menos un valor de realimentación con al menos un sensor (S_1 - S_5), el al menos un sensor (S_1 - S_5) que es preferiblemente uno de un sensor de medición de desplazamiento, un sensor de medición de presión y un sensor de medición de fuerza.

- 5 9. La herramienta de detección de defectos según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, caracterizada por que, el cerco (13) o el disco que forma la punta de la herramienta (10) está soportado con relación a la base de la herramienta (12) por elementos rodantes dispuestos entre la punta de la herramienta (11) y la base de la herramienta (12).
- 10 10. La herramienta de detección de defectos según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, caracterizada por que la punta de la herramienta (11) es el cerco exterior (13) de un cojinete de rodillos (14).
- 10 11. La herramienta de detección de defectos según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10, caracterizada por que la punta de la herramienta (11) es la bola de una unidad de transferencia de bolas.
- 15 12. La herramienta de detección de defectos según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, caracterizada por que la anchura de la punta de la herramienta (11) perpendicular a la dirección de movimiento de la herramienta es menor que 10 mm, preferiblemente igual o menor que 6 mm, y/o por que el diámetro exterior del cerco (13) o del disco que forma la punta de la herramienta (11) es menor que 25 mm, preferiblemente igual o menor que 20 mm.
13. La herramienta de detección de defectos según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, caracterizada por que, en la dirección de desviación de la herramienta (B), la punta de la herramienta (11) está soportada rígidamente con relación a la base de la herramienta (12).
- 20 14. Una unidad de detección para detectar defectos debajo de una capa de protección exterior (4) que protege el borde de ataque (3) de una pala generadora de aerogenerador (2) que comprende al menos una herramienta de detección de defectos (10) según una de las reivindicaciones 7 a 13.
15. El método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 anteriores, que usa una herramienta de detección de defectos (10) según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 13 anteriores y/o una unidad de detección (22) según la reivindicación 14.







