

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 009 082**

51 Int. Cl.:

F03D 17/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.11.2017** **PCT/DK2017/050398**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.06.2018** **WO18099531**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2017** **E 17868506 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.01.2025** **EP 3548741**

54 Título: **Prueba de torsión de una pala de aerogenerador**

30 Prioridad:

30.11.2016 DK PA201670952

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

26.03.2025

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.00%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

RICHARDS, WILLIAM DAVID;
VERRIEN, PIERRE-EMMANUEL y
DANN, MICHAEL

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 3 009 082 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

Prueba de torsión de una pala de aerogenerador

La presente invención se refiere a un aparato de prueba para una prueba de torsión de una pala de aerogenerador según la reivindicación 1 adjunta y a un método de prueba de torsión de una pala de aerogenerador según la reivindicación 9 adjunta.

Las palas de aerogenerador están sometidas a carga de torsión durante su uso como resultado de cargas inerciales y cargas aerodinámicas, tales como sustentación y arrastre. Esta carga de torsión es cíclica y puede causar el debilitamiento de las palas a lo largo la duración de su vida útil, conduciendo finalmente a un fallo por fatiga en ausencia de un diseño apropiado. Además, las palas de aerogenerador se ven obligadas a retorcerse alrededor de sus ejes longitudinales debido a la carga de torsión. Esta torsión cambia el paso de la pala con relación a la dirección del viento y esto puede afectar a la eficiencia con la que se captura y convierte la energía eólica por el aerogenerador. El paso de una pala de aerogenerador se puede variar típicamente durante su uso mediante un controlador de aerogenerador para mejorar la eficiencia del aerogenerador y el grado de paso se basa en una estimación de la rigidez torsional de la pala obtenida mediante una prueba de torsión.

La prueba de torsión actual se lleva a cabo típicamente modificando el aparato de prueba usado para pruebas de carga en el sentido del batimiento. Tales aparatos de prueba incluyen típicamente un soporte de prueba para soportar de manera rígida el extremo de raíz de la pala, con los ejes longitudinal y de canto de la pala en una orientación sustancialmente horizontal, y un bastidor corto colocado contra la superficie de la pala a cada lado de la pala y que se extiende a lo largo de parte del ancho de la pala. El bastidor típicamente comprende un elemento de bastidor del lado de presión y un elemento de bastidor del lado de succión opuesto, conectados por un perno que se extiende a través de orificios perforados en la pala. Para pruebas de carga estática en el sentido del batimiento, el bastidor se conecta a uno o más actuadores que aplican una carga vertical a la pala de aerogenerador a través del bastidor para desviar la pala en la dirección en el sentido del batimiento. Para las pruebas de fatiga en el sentido del batimiento, el actuador o los actuadores aplican una carga vertical cíclica a la pala de aerogenerador a través del bastidor para hacer oscilar la pala en la dirección en el sentido del batimiento. En las pruebas de torsión, el bastidor normalmente se conecta en un borde en su parte inferior a un cabrestante y en un borde opuesto en su lado superior a una grúa. La grúa y el cabrestante tiran alternativamente del bastidor para retorcer la pala alrededor de su eje longitudinal. Los datos relacionados con el rendimiento de torsión de la pala se obtienen luego a partir de galgas extensiométricas colocadas en la superficie de la pala.

No obstante, como el aparato de prueba usado para las pruebas de carga en el sentido del batimiento no está optimizado para las pruebas de torsión y no permite un control preciso de la deflexión de la pala, los datos obtenidos a partir de las pruebas de torsión convencionales pueden diferir significativamente del rendimiento operativo real. Esto puede conducir a una ingeniería excesiva de las palas de aerogeneradores con el fin de cumplir con requisitos de prueba no representativos. También puede conducir a estimaciones inexactas de la rigidez torsional, lo que a su vez puede conducir a errores en la estimación del paso de pala durante su uso. Esto puede hacer que sea más difícil asegurar que una pala esté en la orientación óptima durante su uso. Además, el conocimiento de la rigidez torsional puede facilitar el diseño para evitar la resonancia de la pala, tal como la oscilación, durante su operación. Tanto la ingeniería excesiva como la estimación del paso inexacta pueden reducir la producción de energía anual de un aerogenerador determinado.

Por lo tanto, sería deseable proporcionar un aparato de prueba y un método para la prueba de torsión de una pala de aerogenerador que sea más representativo de las condiciones de carga reales.

Un aparato diseñado para efectuar una prueba de fatiga de palas se describe en el documento US2016018284, en el que un aparato de generación de resonancia está montado sobre y transportado por la pala. El aparato de generación de resonancia tiene un bastidor de pesos que aloja pesos accionados por actuadores lineales, y una estructura de montaje que incluye una parte de asiento que corresponde a la forma del perfil de la pala. El accionamiento apropiado de los pesos en direcciones opuestas puede producir una vibración torsional de la pala.

Un aparato adicional para una prueba de fatiga de las palas se describe en el documento GB2488789 del solicitante, en el que la pala se acciona por un par de actuadores montados en el terreno que están inclinados uno con respecto al otro y los ejes de la pala para permitir una prueba biaxial simultánea en las direcciones tanto en el sentido del batimiento como de canto. Los actuadores se pueden controlar para producir además un movimiento de rotación.

Compendio de la invención

Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un aparato de prueba para pruebas de torsión de una pala de aerogenerador, que comprende: un soporte de prueba para soportar de manera rígida un extremo de raíz de la pala de aerogenerador; un bastidor de carga para montar sobre la pala de aerogenerador en una posición de prueba a lo largo de la longitud de la pala de aerogenerador; y un par de actuadores conectados al bastidor de carga para ejercer una fuerza sobre el mismo, caracterizado por que el soporte de prueba soporta la pala en una orientación con la dirección de canto de la pala dispuesta sustancialmente vertical, el bastidor de carga comprende un bastidor exterior y un inserto perfilado sujeto dentro del bastidor exterior, el inserto perfilado que define una abertura perfilada

que corresponde sustancialmente al perfil, o sección transversal, de la pala de aerogenerador en la posición de prueba de manera que, en uso, el inserto perfilado encierre sustancialmente y esté en contacto directo con la superficie exterior de sustancialmente todo el perfil de la pala de aerogenerador, y el par de actuadores están montados en un bastidor de soporte para proporcionar un punto de montaje fijo fijado con relación al terreno y conectado al bastidor exterior del bastidor de carga en lados opuestos del eje longitudinal de la pala para retorcer la pala alrededor de su eje longitudinal a través del bastidor de carga.

Con esta disposición, los actuadores pueden actuar contra el peso de la pala y soportar la pala durante la prueba. Esto puede mejorar aún más la correlación entre los resultados obtenidos durante la prueba y las condiciones de operación reales.

Ventajosamente, disponiendo el inserto de manera que encierre sustancialmente, o se extienda alrededor, del perfil de la pala de aerogenerador y esté en contacto directo con la superficie exterior de sustancialmente todo el perfil de la pala de aerogenerador, la carga de torsión se aplica de manera más uniforme sobre el perfil de la pala de aerogenerador que en los aparatos de prueba en los que el bastidor de carga está en contacto con el perfil de la pala solamente sobre una parte de la cuerda de la pala. De este modo, las tensiones y deformaciones en la pala durante la prueba son más representativas de la carga real.

El inserto perfilado encierra sustancialmente el perfil de la pala de aerogenerador. Esto significa que el inserto perfilado se extiende alrededor de al menos el 80 por ciento de la circunferencia completa del perfil de la pala, preferiblemente al menos el 90 por ciento, más preferiblemente al menos el 95 por ciento. El inserto perfilado puede encerrar o extenderse alrededor de todo el perfil de la pala de aerogenerador.

La abertura perfilada está conformada de manera que el inserto perfilado esté en contacto directo con la superficie exterior de la pala de aerogenerador sobre sustancialmente todo el perfil de la pala de aerogenerador. Esto significa que el inserto perfilado está en contacto directo con la superficie exterior de la pala de aerogenerador durante al menos el 80 por ciento de la circunferencia completa del perfil de la pala, preferiblemente al menos el 90 por ciento, más preferiblemente al menos el 95 por ciento. La abertura del perfil puede corresponder exactamente con el perfil de la pala de aerogenerador de manera que el inserto perfilado esté en contacto directo con la superficie exterior de la pala de aerogenerador sobre todo el perfil de la pala de aerogenerador.

Como se usan en la presente memoria, los términos "dirección de canto" y "eje de canto" se refieren a una dirección que se extiende a través de los bordes de ataque y de salida de la pala y que es perpendicular al eje longitudinal de la pala. Esto generalmente corresponde a la dirección de rotación de la pala durante su uso. Los términos "dirección en el sentido del batimiento" y "eje en el sentido del batimiento" se refieren a una dirección que es perpendicular tanto a la dirección de canto como al eje longitudinal de la pala.

El inserto perfilado es preferiblemente blando. En otras palabras, el inserto perfilado se forma preferiblemente a partir de un material o materiales que tienen una resistencia a la compresión menor o igual que 10 MPa. El inserto perfilado puede ser resiliente. El inserto perfilado se puede formar a partir de un material que tiene una resistencia a la compresión de alrededor de 0,3 MPa a alrededor de 10 MPa, preferiblemente de alrededor de 1 MPa a alrededor de 7 MPa, más preferiblemente de alrededor de 2 MPa a alrededor de 4 MPa.

Tener un inserto perfilado blando da como resultado una reducción en la aparición de puntos de presión localmente aumentados en la superficie de la pala que de otro modo pueden hacer que los resultados de la prueba sean menos representativos de las tensiones y deformaciones reales experimentados por la pala durante su operación. También puede mejorar el grado en el que el inserto se ajusta a los contornos del perfil de la pala, por ejemplo, acomodando las diferencias entre la forma del inserto y el perfil de la pala debido a las tolerancias de fabricación. La naturaleza blanda del inserto también puede permitir que el bastidor de carga absorba ciertas cargas de choque que de otro modo se pueden transmitir directamente a la superficie de la pala y pueden causar daños.

La abertura perfilada definida por el inserto perfilado tiene una forma que corresponde sustancialmente al perfil, o forma de sección transversal, de la pala de aerogenerador que se prueba. El inserto perfilado puede tener un primer extremo en el que se puede recibir el borde de ataque del perfil de la pala de aerogenerador y un segundo extremo en el que se puede recibir el borde de salida del perfil de la pala de aerogenerador. El primer y segundo extremos de la abertura perfilada pueden corresponder ambos directamente a los contornos del borde de ataque y del borde de salida de la pala de aerogenerador que se prueba. En algunas realizaciones, el inserto perfilado comprende además un orificio de reducción de tensión que se cruza con un extremo de la abertura perfilada que corresponde a un borde de la pala de aerogenerador, tal como el borde de ataque o el borde de salida. El orificio de reducción de tensión tiene preferiblemente un radio de curvatura que es mayor que el radio de curvatura del borde del perfil de la pala de aerogenerador.

Ventajosamente, el orificio de reducción de tensión aumenta el radio de curvatura en el extremo de la abertura perfilada para reducir la concentración de tensión en esta región del inserto. Esto puede ayudar a aumentar la vida útil del inserto y puede ayudar a reducir la propagación de grietas que de otro modo puede ocurrir en el inserto. El inserto perfilado puede tener un orificio de reducción de tensión que se cruza con cada uno de sus extremos.

El orificio de reducción de tensión tiene preferiblemente un radio de curvatura mínimo de al menos 2 cm. El orificio de reducción de tensión tiene preferiblemente un radio de curvatura de alrededor de 2 cm a alrededor de 20 cm.

El orificio de reducción de tensión puede ser una cavidad proporcionada en uno o ambos lados del inserto. En realizaciones preferidas, el orificio de reducción de tensión forma un canal que se extiende a través del espesor del inserto. Esto permite que el orificio de concentración de tensión se duplique como una vía a través de la cual los cables de instrumentación pueden discurrir de un lado del bastidor de carga al otro. También puede dar como resultado una reducción de tensión más efectiva que una cavidad que no se extiende a través del espesor del inserto.

Los actuadores pueden comprender cualquier actuador adecuado. Por ejemplo, los actuadores pueden comprender un actuador giratorio, tal como un cabrestante, conectado al bastidor de carga mediante un cable flexible. Preferiblemente, los actuadores comprenden un actuador lineal, tal como un actuador hidráulico, neumático o eléctrico. Los actuadores lineales tienen una alta capacidad de carga, permitiendo que el aparato de prueba se use en palas con niveles muy altos de rigidez torsional.

El par de actuadores dispuestos para aplicar un par al bastidor de carga se puede disponer de cualquier manera adecuada. Por ejemplo, el par de actuadores puede estar colocado adyacente entre sí o en lados opuestos del bastidor de carga. En algunos ejemplos, el par de actuadores comprende un primer actuador en un lado inferior del bastidor de carga y un segundo actuador en un lado superior del bastidor de carga. En este ejemplo, los actuadores están ambos retraídos o ambos extendidos para ejercer un par sobre el bastidor de carga. En otros ejemplos, el par de actuadores puede estar colocado uno al lado del otro. En tales ejemplos, se puede aplicar un par al bastidor de carga extendiendo uno de los actuadores mientras que se retrae el otro.

El bastidor de soporte puede ser móvil con relación al soporte de prueba en la dirección de la longitud de la pala de aerogenerador. Esto permite que los actuadores y el bastidor de carga se muevan juntos más fácilmente a la posición de prueba. El bastidor de soporte puede comprender cualquier medio de movimiento adecuado, por ejemplo, una o más ruedas en su lado inferior. Preferiblemente, el bastidor de soporte comprende una o más ruedas en su parte inferior y uno o más pies. Una o ambas de las ruedas y los pies pueden ser retráctiles selectivamente, por ejemplo, usando una conexión roscada al bastidor de soporte, para exponer el otro. Esto permite que el bastidor de soporte se mueva fácilmente cuando se requiera o que se asegure en su posición usando los pies. Cuando el bastidor de soporte comprende uno o más pies, el uno o más pies pueden comprender ventosas para asegurar o anclar el bastidor de soporte a una superficie del suelo durante su uso.

El bastidor de carga puede estar soportado en el bastidor de soporte completamente por los actuadores. Preferiblemente, el bastidor de soporte comprende un enlace flexible que se extiende entre el bastidor de soporte y el bastidor de carga para soportar al menos una parte del peso del bastidor de carga. El bastidor de soporte puede comprender un contrapeso para soportar al menos una parte del peso del bastidor de carga. Por ejemplo, el contrapeso puede comprender uno o más pesos conectados al bastidor de carga mediante un cable, cadena, correa o cuerda que se extiende sobre una o más poleas u ojales para soportar al menos una parte del peso del bastidor de carga. El contrapeso o el enlace pueden estar dispuestos para soportar sustancialmente todo el peso del bastidor de carga.

Proporcionando un enlace o contrapeso que está dispuesto para soportar al menos una parte del peso del bastidor de carga, es posible reducir o evitar la carga de la pala debido al peso del bastidor de carga. Esto puede mejorar la precisión de los resultados obtenidos a partir de una prueba de torsión reduciendo o minimizando el movimiento de la pala causado por la carga de canto. De este modo, las mediciones del movimiento de la pala obtenidas se pueden limitar al movimiento causado por la carga de torsión solamente.

Disponiendo el aparato de prueba de manera que, cuando esté en uso, la pala se apoye y se pruebe con su eje longitudinal sustancialmente horizontal y su eje de canto sustancialmente vertical, la pala se somete a una menor deflexión bajo su propio peso en comparación con los aparatos de prueba en los que la pala se apoya con su eje de canto sustancialmente horizontal. Esto significa que la rigidez torsional de la pala se puede evaluar con la pala en un estado de deflexión que es más representativo de su estado real durante su operación, dando como resultado resultados de prueba más precisos. También puede reducir la "ingeniería excesiva" de la pala que de otro modo podría resultar de buscar lograr el rendimiento requerido durante una prueba menos representativa.

Un sistema para la prueba de torsión de una pala de aerogenerador comprende un aparato de prueba según cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente, y una pala de aerogenerador a ser probada, en donde un extremo de raíz de la pala de aerogenerador está soportado por el soporte de prueba del aparato de prueba de manera que el eje longitudinal de la pala sea sustancialmente horizontal y el eje de canto de la pala sea sustancialmente vertical y en donde el bastidor de carga está montado en la pala de aerogenerador en la posición de prueba.

El bastidor de carga se puede asegurar a la pala en cualquier posición de prueba adecuada a lo largo de la longitud de la pala. Por ejemplo, el bastidor de carga se puede asegurar cerca del extremo de raíz de la pala, o en o hacia la punta de la pala, o en cualquier posición entre medias. Cuando el bastidor de carga está montado hacia el extremo

de raíz de la pala, se requieren desplazamientos más pequeños y fuerzas más grandes. Cuando el bastidor de carga está montado hacia el extremo de punta de la pala, se requieren desplazamientos más grandes y fuerzas más pequeñas. La posición óptima para el bastidor de carga puede variar de pala en pala dependiendo de la rigidez de la pala y su comportamiento torsional y también puede depender de las características y el rendimiento del actuador.

5 La posición de prueba se puede seleccionar calculando una posición media aproximada de las cargas de torsión aplicadas a la pala durante la operación típica y montando el bastidor de carga en la pala en esa posición.

Según todavía un aspecto adicional de la presente invención, se proporciona un método de prueba de torsión de una pala de aerogenerador, el método que comprende: soportar de manera rígida un extremo de raíz de la pala de aerogenerador en un soporte de prueba de manera que la dirección longitudinal de la pala sea sustancialmente horizontal y la dirección de canto de la pala sea sustancialmente vertical; montar un bastidor de carga sobre la pala de aerogenerador en una posición de prueba a lo largo de la longitud de la pala de aerogenerador, el bastidor de carga que comprende un bastidor exterior y un inserto perfilado sujeto dentro del bastidor exterior, el inserto perfilado que define una abertura perfilada que corresponde sustancialmente al perfil de la pala de aerogenerador en la posición de prueba de manera que, en uso, el inserto perfilado encierre sustancialmente y esté en contacto directo con la superficie exterior de sustancialmente todo el perfil de la pala de aerogenerador; conectar un par de actuadores entre un punto de montaje fijo fijado con relación al terreno en un bastidor de soporte y el bastidor de carga en lados opuestos del eje longitudinal de la pala, cada uno que actúa en direcciones opuestas sustancialmente verticales; y retorcer la pala de aerogenerador alrededor de su eje longitudinal en la posición de prueba usando los actuadores para proporcionar un par que actúa sobre el bastidor de carga.

20 El paso de retorcer la pala de aerogenerador sobre su eje longitudinal en la posición de prueba mientras que se sostiene de manera rígida el extremo de raíz de la pala hace que la pala se retuerza y puede imitar la torsión de la pala que puede ocurrir durante su operación. El paso de retorcer la pala de aerogenerador alrededor de su eje longitudinal se lleva a cabo aplicando una carga estática al bastidor de carga.

El par de actuadores se puede disponer de cualquier manera adecuada. Por ejemplo, el par de actuadores puede estar colocado adyacente entre sí o en lados opuestos del bastidor de carga. En algunos ejemplos, el par de actuadores comprende un primer actuador en un lado inferior del bastidor de carga y un segundo actuador en un lado superior del bastidor de carga. En tal ejemplo, los actuadores están ambos retraídos o ambos extendidos para ejercer un par sobre el bastidor de carga. En otros ejemplos, el par de actuadores puede estar colocado uno al lado del otro. En tales ejemplos, se puede aplicar un par al bastidor de carga extendiendo uno de los actuadores mientras se retrae el otro.

El bastidor de soporte puede ser móvil con relación al soporte de prueba en la dirección de la longitud de la pala de aerogenerador. Esto permite que los actuadores y el bastidor de carga se muevan juntos más fácilmente a la posición de prueba. El bastidor de soporte puede comprender cualquier medio de movimiento adecuado, por ejemplo, una o más ruedas en su parte inferior. Preferiblemente, el bastidor de soporte comprende una o más ruedas en su parte inferior y uno o más pies. Una o ambas de las ruedas y los pies pueden ser selectivamente retráctiles, por ejemplo, usando una conexión roscada al bastidor de soporte, para exponer el otro. Esto permite que el bastidor de soporte se mueva fácilmente cuando se requiera o que se asegure en su posición usando los pies

El bastidor de carga puede estar formado por dos o más elementos de bastidor discretos que se pueden ensamblar juntos para formar el bastidor de carga completo. En tales ejemplos, el paso de montar un bastidor de carga en la pala de aerogenerador se puede llevar a cabo ensamblando los elementos de bastidor discretos juntos alrededor de la pala de aerogenerador en la posición de prueba. En otros ejemplos, el paso de montar un bastidor de carga en la pala de aerogenerador se puede llevar a cabo deslizando el bastidor de carga en una dirección a lo largo de la longitud de la pala desde un extremo de punta de la pala hasta la posición de prueba.

En algunos ejemplos, el paso de conectar los actuadores al bastidor de carga comprende proporcionar un bastidor de soporte móvil en el que se montan los actuadores y conectar el bastidor de carga al bastidor de soporte a través de los actuadores, y el paso de montar el bastidor de carga en la pala de aerogenerador se lleva a cabo moviendo el bastidor de soporte para deslizar el bastidor de carga en una dirección a lo largo de la pala desde un extremo de punta de la pala hasta la posición de prueba.

Como se usan en la presente memoria, los términos "apoyado en el terreno" y "montado en el terreno" se refieren a un componente que se apoya sobre una superficie que está fijada en relación con el soporte de prueba del aparato, o bien directamente o bien indirectamente a través de uno o más elementos intermedios. Esto incluye, pero no se limita a, componentes que se apoyan directamente por el suelo.

Las características descritas en relación con uno o más aspectos se pueden aplicar igualmente a otros aspectos de la invención. En particular, las características descritas en relación con el aparato de prueba del primer aspecto se pueden aplicar igualmente al aparato de prueba del segundo aspecto, al sistema del tercer aspecto, al bastidor de carga del cuarto aspecto, al método del quinto aspecto y viceversa.

Breve descripción de los dibujos

La invención se describirá ahora con más detalle a modo de ejemplo solamente y con referencia a las figuras que se acompañan en las que:

La Figura 1 es una vista en perspectiva esquemática de un aparato de prueba según la invención, que muestra el aparato asegurado a una pala de aerogenerador; y

- 5 La Figura 2 es una vista ampliada del bastidor de carga, el bastidor de soporte y los actuadores del aparato de prueba de la Figura 1.

Descripción detallada

La Figura 1 muestra un aparato de prueba 100 para una prueba estática torsional de una pala de aerogenerador 10 a la que se asegura el aparato 100. La pala de aerogenerador 10 tiene un extremo de raíz 12 y un extremo de punta 14 opuesto. Entre el extremo de raíz 12 y el extremo de punta 14 hay una región aerodinámica que tiene un contorno perfilado que incluye un lado de presión y un lado de succión, así como un borde de ataque 16 y un borde de salida 18. Una dirección de canto 20 se extiende entre los bordes de ataque y de salida 16, 18. La dirección de canto 20 puede cambiar a lo largo de la longitud de la pala 10 a medida que la forma de la pala 10 se retuerce entre los extremos de raíz y punta 12, 14.

El aparato de prueba 100 comprende un soporte de prueba 110, un bastidor de carga 120 y actuadores 130 que operan a cada lado del eje longitudinal de la pala 10 para aplicar un par, y por lo tanto una carga de torsión, a la pala 10 a través del bastidor de carga 120. El aparato de prueba 100 también incluye un bastidor de soporte 140 que proporciona un montaje fijo, fijado con relación al terreno, para los actuadores 130 y mediante el cual se puede soportar el bastidor de carga 120 cuando no está asegurado a la pala.

El soporte de prueba 110 está montado sobre una superficie del terreno, tal como el suelo o un cubo de acero montado en el suelo, e incluye una sujeción rígida 112 para soportar de manera fija el extremo de raíz 12 de la pala 10 de manera que la dirección de canto 20 de la pala sea sustancialmente vertical y la dirección longitudinal 22 de la pala 10 sea sustancialmente horizontal, como se muestra en la Figura 1. La sujeción rígida 112 puede comprender cualquier medio de conexión adecuado para su fijación a la pala 10. Por ejemplo, la sujeción rígida puede comprender una pluralidad de pernos roscados que se extienden desde el soporte de prueba 110 que se atornillan en orificios de pernos roscados correspondientes (no mostrados) en el extremo de raíz 12 de la pala.

El bastidor de carga 120 está asegurado alrededor de la pala de aerogenerador 10 en una posición entre el extremo de raíz 12 y el extremo de punta 14 de la pala 10 y a una distancia L desde el extremo de raíz 12.

Haciendo referencia a la Figura 2, el bastidor de carga 120 comprende un bastidor exterior 122 y un inserto 124 dispuesto dentro del bastidor exterior 122. El bastidor de carga 120 está conectado de manera pivotante a los actuadores 130 en cada lado mediante puntos de montaje 126 en el bastidor exterior 122. En este ejemplo, los puntos de montaje 126 tienen la forma de pasadores de pivote orientados horizontalmente que permiten que el bastidor de carga 120 se articule con relación a los actuadores 130 alrededor de un eje horizontal 127 que es paralelo a la dirección longitudinal de la pala. En este ejemplo, el bastidor exterior 122 está formado a partir de dos láminas de metal paralelas, tales como aluminio, que se aseguran entre sí. De esta manera, el bastidor exterior 122 tiene una estructura que es fuerte en el plano del par aplicado por los actuadores 130 mientras que sigue siendo relativamente ligera. Las láminas de las que está hecho el bastidor exterior 122 están cortadas en la región adyacente a los puntos de montaje 126 para reducir aún más el peso total del bastidor de carga 120 y el material requerido. Por las mismas razones, el bastidor exterior se estrecha hacia su extremo superior para eliminar la necesidad de material fuera de la trayectoria de carga desde los actuadores 130 hasta la pala.

El inserto 124 está formado a partir de un material blando o ligeramente resiliente y su superficie interior 125 define una abertura perfilada 128 correspondiente al perfil o sección transversal de la pala de aerogenerador en la posición a lo largo de la longitud de la pala en la que se va a montar el bastidor de carga 120. Es decir, haciendo referencia a las Figuras 1 y 2, la forma de la abertura perfilada 128 corresponde al perfil o sección transversal de la pala de aerogenerador a la distancia L desde el extremo de raíz 12 de la pala 10. Esto significa que el perfil de la pala está completamente encerrado dentro del inserto 124 de manera que la superficie interior 125 del inserto 124 esté en contacto con la superficie exterior de la pala de aerogenerador alrededor de sustancialmente todo el perfil de la pala. El inserto 124 puede estar formado de manera que uno o ambos extremos de la abertura 128 terminen en un ángulo estrecho correspondiente a un borde del perfil de la pala. No obstante, en este ejemplo, se proporciona una parte de reducción de tensión en el inserto 124 en forma de un orificio circular 129 que se cruza con la abertura perfilada 128 hacia su extremo superior. Como se puede ver en la Figura 1, el extremo superior de la abertura 128 está dispuesto para recibir el borde de salida de la pala, que es típicamente la parte más delgada del perfil de la pala. El orificio circular 129 aumenta el radio de curvatura en el extremo superior de la abertura 128 para reducir la concentración de tensión en esta región. Esto puede ayudar a reducir la propagación de grietas que de otro modo puede ocurrir en el inserto 124. El orificio 129 también proporciona un canal en el inserto 124 a través del cual los cables de instrumentación pueden discurrir de un lado del bastidor de carga al otro.

El inserto 124 puede estar hecho a partir de cualquier material blando o resiliente adecuado que sea capaz de transmitir las cargas de torsión de los actuadores 130 a la pala sin dañar la superficie exterior de la pala. En este

- ejemplo, el inserto está hecho de Divinycell(RTM) H130, disponible en Diab International AB, de Helsingborg, Suecia. Como el inserto 124 es blando o resiliente, forma una superficie blanda contra la pala. Esto puede mejorar el grado en el que el bastidor de carga 120 se adapta a los contornos del perfil de pala con relación a los insertos convencionales, tales como los insertos de madera. Esto permite que el bastidor de carga aplique una carga distribuida de manera más uniforme a través de la superficie de la pala. También reduce la aparición de puntos de presión localmente aumentados que, de otro modo, pueden hacer que los resultados de la prueba sean menos representativos de las tensiones y deformaciones reales experimentadas por la pala durante su operación. La suavidad o resiliencia del inserto 124 también puede permitir que el bastidor de carga absorba ciertas cargas de choque que, de otro modo, se pueden transmitir directamente a la superficie de la pala.
- Los actuadores 130 comprenden cada uno un actuador lineal que tiene un cilindro 132 y un pistón 134 que se puede deslizar dentro del cilindro 132. No obstante, cada actuador puede comprender cualquier actuador adecuado, por ejemplo, un actuador giratorio conectado a su punto de montaje respectivo mediante un cable, cadena o arnés. Cada actuador 130 tiene un punto de montaje fijo fijado con relación al terreno en su extremo inferior y está articulado al bastidor de soporte 140 para permitir que la base del actuador 130 pivote con relación al bastidor de soporte alrededor de un eje de pivote horizontal 137 que es paralelo al eje de pivote 127 entre el pistón 134 y el bastidor de carga 120. En la Figura 2, cada pistón 134 se muestra en una posición de carrera media, es decir, a mitad de camino entre las posiciones completamente retraída y completamente extendida. En esta posición, el bastidor de carga 120 está alineado rotacionalmente y no se aplican cargas de torsión a la pala mediante el bastidor de carga 120. Los actuadores 130 están dispuestos a cada lado del eje longitudinal de la pala y ambos están colocados debajo de la pala de modo que la extensión del pistón desde el cilindro dé como resultado una fuerza vertical generalmente hacia arriba sobre el bastidor de carga. No obstante, se apreciará que se pueden usar otras disposiciones de actuador con el fin de generar un par en el bastidor de carga. Por ejemplo, los actuadores se podrían conectar al bastidor de soporte de manera que uno empuje hacia abajo sobre el bastidor de carga mientras que el otro empuje hacia arriba sobre el bastidor de carga.
- El bastidor de soporte 140 incluye dos montantes paralelos 141 conectados en sus extremos superiores por una viga transversal 142 y conectados en sus extremos inferiores por una base de soporte 143. La base de soporte 143 incluye ruedas 144 en su lado inferior mediante las cuales el bastidor de soporte 140 se puede mover para ajustar su posición con relación a la pala. La base de soporte 143 también incluye una pluralidad de pies 145 en su parte inferior mediante los cuales el bastidor de soporte 140 se puede apoyar de una manera fija. Los pies incluyen ventosas en sus partes inferiores para permitir que el bastidor de soporte se ancle a una superficie del suelo durante su uso. Las ruedas 144 son selectivamente retráctiles hacia arriba para permitir que el bastidor de soporte descance sobre los pies 145 una vez que el bastidor de soporte está en la posición correcta. La base de soporte puede llevar pesos adicionales (no mostrados) para limitar aún más el movimiento del bastidor de soporte durante su uso. Los montantes 141 incluyen cada uno un soporte de actuador 146 en el que los extremos de los actuadores 130 están fijados con relación al terreno, aunque están conectados de manera pivotante al bastidor de soporte 140. Para proporcionar soporte al bastidor de carga 120 cuando el aparato de prueba no está en uso, el bastidor de soporte 140 también incluye un bloque de peso 147 conectado al bastidor de carga 120 mediante un cable 148 y poleas. La disposición de bloque de peso, cable y polea actúa como un contrapeso para soportar al menos una parte del peso del bastidor de carga 120. Esto reduce la carga sobre los actuadores 130 causada por el peso del bastidor de carga 120 cuando el bastidor de carga 120 no está montado sobre la pala. También reduce la cantidad de carga de canto de la pala debido al peso del bastidor de carga durante su uso. Esto puede mejorar la precisión de los resultados obtenidos a partir de una prueba de torsión reduciendo o minimizando el movimiento de la pala que se causa por la carga de canto. Esto puede asegurar que las mediciones del movimiento de la pala obtenidas se limiten al movimiento causado por la carga de torsión solamente.
- Para montar el bastidor de carga 120 en la pala, el bastidor de carga 120, los actuadores 130 y el bastidor de soporte 140 se mueven juntos hasta el extremo de punta de la pala y el inserto 124 se coloca sobre el extremo de punta. El bastidor de soporte 140 se mueve entonces hacia el soporte de prueba 110 para deslizar el bastidor de carga 120 a lo largo de la longitud de la pala hacia el extremo de raíz hasta que se alcanza la posición correcta a lo largo de la longitud de la pala, en cuyo punto el inserto encaja de manera segura contra la superficie de la pala.
- Una vez que el bastidor de carga está asegurado en la pala, uno del par de actuadores 130 se extiende mientras que el otro se retrae simultáneamente de una manera opuesta mediante medios de accionamiento de actuador (no mostrados), tales como una bomba hidráulica o neumática o un motor eléctrico, para aplicar un par al bastidor de carga 120 alrededor de la dirección longitudinal de la pala. Este par se transfiere a la pala mediante el inserto para retorcer la pala alrededor de su dirección longitudinal y, por ello, generar una carga de torsión. Típicamente, la carga de torsión generada durante la prueba de torsión estática se selecciona para evaluar la rigidez torsional de la pala. También se puede seleccionar para representar la carga última a la que se espera que esté sometida la pala durante su vida útil de diseño. El grado en el que cada actuador se extiende o se retrae debería reflejar el del otro actuador para minimizar las cargas de flexión verticales aplicadas a la pala por el aparato de prueba. Como las cargas de torsión se aplican mediante un inserto perfilado y se aplican a través de sustancialmente todo el perfil de la pala, las tensiones y deformaciones torsionales generadas en la pala por el aparato de prueba 100 son más representativas de las condiciones de operación reales.

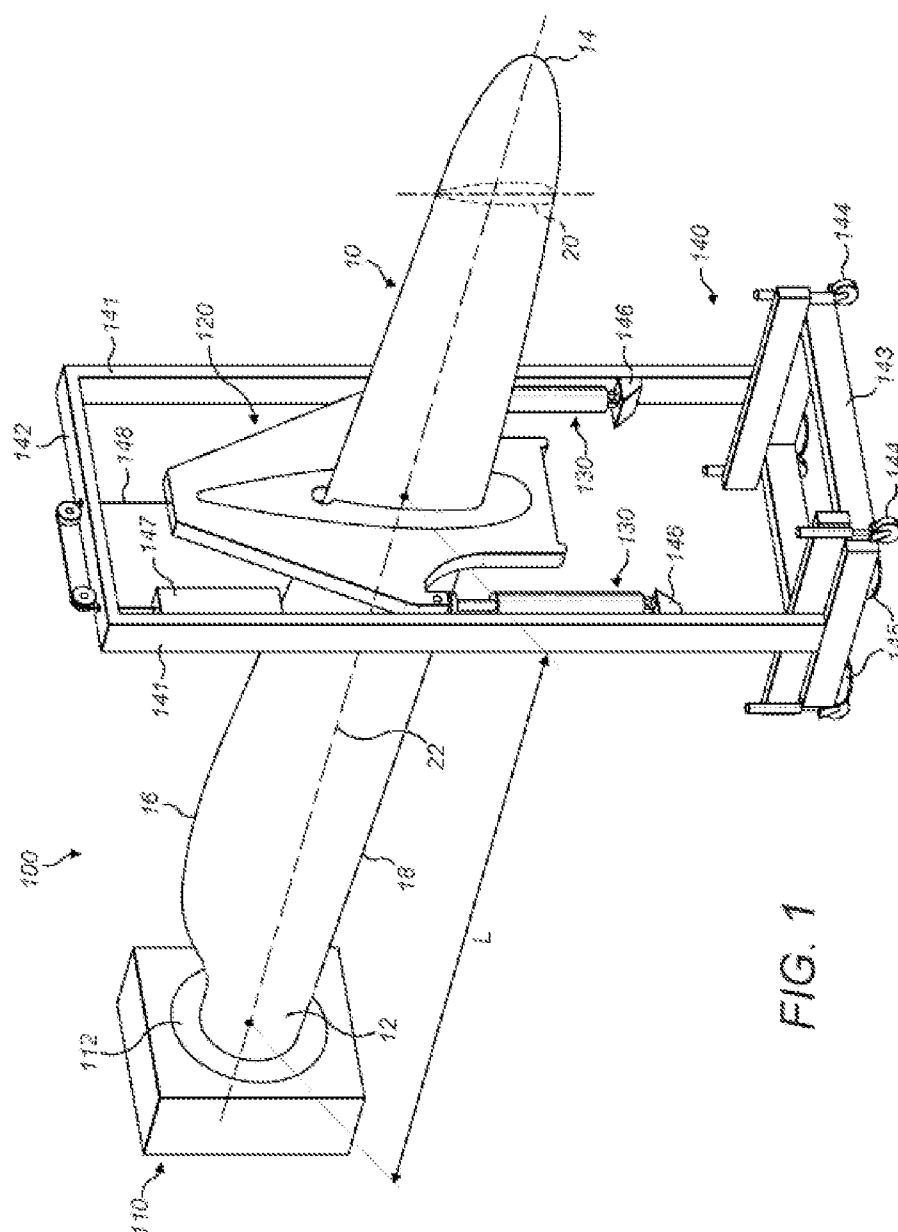
- Además, disponiendo el bastidor de carga y los actuadores de manera que la pala se mantenga en una orientación de canto, es decir, con su dirección longitudinal sustancialmente horizontal y su dirección de canto sustancialmente vertical, la pala está sometida a una menor deflexión bajo su propio peso. Esto significa que la rigidez torsional de la pala se puede evaluar con la pala en un estado de deflexión que es más representativo de su estado real durante su operación, dando como resultado resultados de prueba más precisos. Un mejor conocimiento de la rigidez torsional de la pala también puede permitir que el diseño evite la resonancia de la pala, tal como la oscilación, durante su operación. Una prueba de torsión más precisa también puede reducir la "ingeniería excesiva" de la pala al buscar lograr el rendimiento requerido durante pruebas menos representativas en las que las deformaciones son más altas.
- En el ejemplo mostrado, el bastidor exterior 122 y el inserto 124 se proporcionan cada uno como una única estructura cerrada. En otros ejemplos, uno o ambos del bastidor exterior 122 y el inserto 124 se pueden proporcionar en dos o más elementos discretos. Esto permite que el bastidor de carga se ensamble alrededor de la pala en la posición de prueba fijando los elementos del bastidor entre sí. Esto evita la necesidad de deslizarse a lo largo de la longitud de la pala. Esto puede ser útil, por ejemplo, cuando otros elementos del equipo de prueba, tales como galgas extensiométricas u otros bastidores de carga, se fijan a la pala antes del montaje del bastidor de carga.
- Aunque la descripción anterior se refiere al uso del aparato de prueba para realizar una prueba de torsión estática, se apreciará que el aparato de prueba se podría usar para realizar una prueba de torsión por fatiga, si se requiere, ejerciendo un ciclo de carga cíclico sobre el bastidor de carga usando los actuadores.
- Se apreciará que son posibles diversas modificaciones a las realizaciones descritas anteriormente y se les ocurrirán a los expertos en la técnica sin apartarse del alcance de la invención que se define mediante las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de prueba para una prueba de torsión de una pala de aerogenerador, que comprende:
un soporte de prueba (110) para soportar de manera rígida un extremo de raíz de la pala de aerogenerador;
un bastidor de carga (120) para montar en la pala de aerogenerador en una posición de prueba a lo largo de la longitud de la pala de aerogenerador;
y un par de actuadores (130) conectados al bastidor de carga para ejercer una fuerza sobre el mismo, caracterizado por que:
el soporte de prueba soporta la pala en una orientación con la dirección de canto de la pala dispuesta sustancialmente verticalmente;
- 10 el bastidor de carga (120) comprende un bastidor exterior (122) y un inserto perfilado (124) mantenido dentro del bastidor exterior, el inserto perfilado (124) que define una abertura perfilada (128) que corresponde sustancialmente al perfil de la pala de aerogenerador en la posición de prueba de manera que, en uso, el inserto perfilado (124) encierre sustancialmente y esté en contacto directo con la superficie exterior de sustancialmente todo el perfil de la pala de aerogenerador; y
- 15 el par de actuadores (130) están montados en un bastidor de soporte (140) para proporcionar un punto de montaje fijo fijado con relación al terreno y conectado al bastidor exterior (122) del bastidor de carga (120) en lados opuestos del eje longitudinal de la pala, cada uno actuando en direcciones opuestas sustancialmente verticales para retorcer la pala de aerogenerador alrededor de su eje longitudinal a través del bastidor de carga.
- 20 2. Un aparato de prueba según la reivindicación 1, en donde el inserto perfilado (124) está formado a partir de un material que tiene una resistencia a la compresión de alrededor de 0,3 MPa a alrededor de 10 MPa, preferiblemente de alrededor de 1 MPa a alrededor de 7 MPa, más preferiblemente de alrededor de 2 MPa a alrededor de 4 MPa.
- 25 3. Un aparato de prueba según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el inserto perfilado (124) comprende un orificio de reducción de tensión (129) que se cruza con un extremo de la abertura perfilada (128) correspondiente a un borde de la pala de aerogenerador, el orificio de reducción de tensión (129) que tiene un radio de curvatura que es mayor que el radio de curvatura del borde de la pala de aerogenerador.
4. Un aparato de prueba según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde cada actuador tiene un punto de montaje en su extremo inferior fijado con relación al suelo donde se articula al bastidor de soporte (140) y en donde ambos actuadores (130) están colocados debajo de la pala.
- 30 5. Un aparato de prueba según la reivindicación 4, en donde el bastidor de soporte (140) incluye dos montantes paralelos (141) conectados en sus extremos inferiores por una base de soporte (143) y en sus extremos superiores por una viga transversal (142).
6. Un aparato de prueba según la reivindicación 5, en donde los actuadores (130) están montados de una manera articulada sobre los montantes (141).
- 35 7. Un aparato de prueba según cualquier reivindicación anterior, en donde el bastidor de soporte se puede mover de manera ajustable con relación al soporte de prueba (110) en la dirección de la longitud de la pala de aerogenerador.
8. Un aparato de prueba según cualquier reivindicación anterior, en donde el bastidor de soporte (140) comprende un contrapeso (147) dispuesto para soportar al menos una parte del peso del bastidor de carga.
9. Un método de prueba de torsión de una pala de aerogenerador, el método que comprende:
soportar de manera rígida un extremo de raíz de la pala de aerogenerador en un soporte de prueba (110) de manera que la dirección longitudinal de la pala sea sustancialmente horizontal y la dirección de canto de la pala sea sustancialmente vertical;
- 40 montar un bastidor de carga (120) sobre la pala de aerogenerador en una posición de prueba a lo largo de la longitud de la pala de aerogenerador, el bastidor de carga (120) que comprende un bastidor exterior (122) y un inserto perfilado (124) sujeto dentro del bastidor exterior, el inserto perfilado (124) que define una abertura perfilada (128) que corresponde sustancialmente al perfil de la pala de aerogenerador en la posición de prueba de manera que, en uso, el inserto perfilado (124) encierre sustancialmente y esté en contacto directo con la superficie exterior de sustancialmente todo el perfil de la pala de aerogenerador;
- 45 conectar un par de actuadores (130) entre puntos de montaje fijos fijados con relación al terreno sobre un bastidor de soporte (140) y el bastidor de carga (120) en lados opuestos del eje longitudinal de la pala, cada uno actuando en direcciones opuestas sustancialmente verticales; y
- 50

retorcer la pala de aerogenerador alrededor de su eje longitudinal en la posición de prueba usando los actuadores (130) para proporcionar un par que actúa sobre el bastidor de carga (120).

- 5 10. El método de la reivindicación 9, en donde el paso de montar el bastidor de carga (120) sobre la pala de aerogenerador se lleva a cabo deslizando el bastidor de carga a lo largo de la longitud de la pala desde un extremo de punta de la pala hasta la posición de prueba.



164

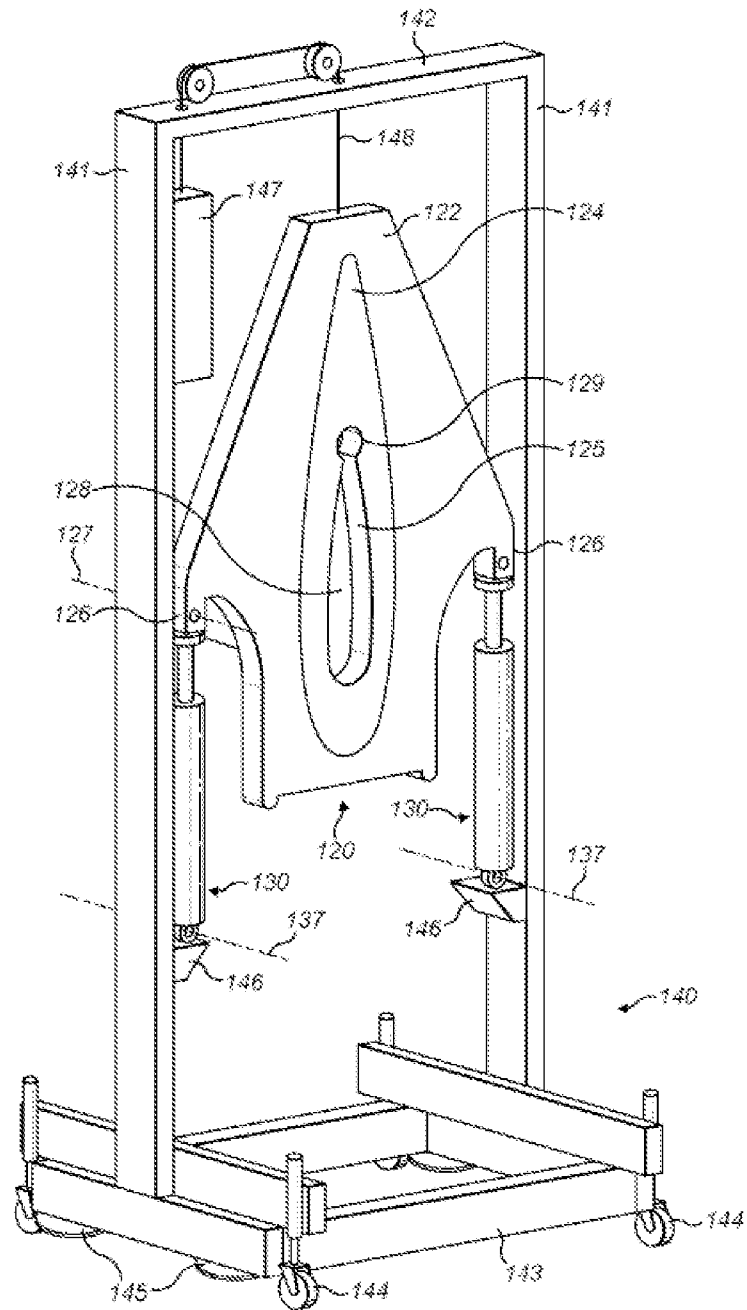


FIG. 2