

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 666 099**

51 Int. Cl.:

B29C 33/02 (2006.01)

B29C 33/38 (2006.01)

B29C 70/44 (2006.01)

F03D 1/06 (2006.01)

B29L 31/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.08.2014 PCT/DK2014/050233**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.02.2015 WO15014371**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.08.2014 E 14748104 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.03.2018 EP 3027373**

54 Título: **Molde para un componente de turbina eólica**

30 Prioridad:

02.08.2013 DK 201370423

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

03.05.2018

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

RAJASINGAM, DAMIEN;

PINO, DIEGO ANDRES y

DAVIS, OLAV

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 666 099 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

Molde para un componente de turbina eólica

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere de manera general a un molde para un componente de turbina eólica y a un método de fabricación de un molde de este tipo. En particular, aunque no exclusivamente, la invención se refiere a un molde para una pala de rotor de una turbina eólica.

Antecedentes de la invención

10 La figura 1 ilustra en sección transversal una pala de rotor de turbina eólica 10 típica. La pala de rotor 10 comprende una carcasa externa 12 que se fabrica a partir de medias carcasas primera y segunda 14, 16. Las medias carcasas 14, 16 son estructuras laminadas que se moldean a partir de plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP). Cada media carcasa 14, 16 comprende revestimientos interno y externo 20, 18 con elementos de refuerzo estructural tales como tapas de larguero que se extienden longitudinalmente 22 (también denominadas vigas, estructuras de soporte, viguetas, etc.) formadas a partir de bandas extruidas de plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP) dispuestas entre los revestimientos interno y externo 20, 18. Normalmente, paneles de espuma 24 que forman núcleos de panel de intercalado rellenan los huecos entre los elementos estructurales.

15 Las medias carcasas 14, 16 se moldean en mitades de molde independientes 25, un ejemplo de las cuales se ilustra en vista en planta en la figura 2. Una vez que se ha moldeado cada media carcasa 14, 16, las dos medias carcasas 14, 16 se juntan cerrando el molde, y las medias carcasas 14, 16 se unen para formar la pala completa 10.

20 Para formar una media carcasa 14, 16, una o más capas de tejido de fibra de vidrio secas externas se colocan sobre una superficie de molde de la mitad de molde 25. Estas capas formarán más tarde el revestimiento externo 18 de la pala. Luego, se ponen elementos estructurales, incluyendo las tapas de larguero 22 y los paneles de espuma 24, sobre los tejidos. Luego, una o más capas de tejido de fibra de vidrio secas internas se colocan encima de los elementos estructurales, y estos formarán más tarde el revestimiento interno 20 de la pala.

25 A continuación, los elementos de la media carcasa 14, 16 se cubren con una bolsa estanca para formar una cámara de evacuación que encapsula todos los elementos. La cámara se evacúa y un suministro de resina líquida se conecta a la cámara. La resina se introduce en la mitad de molde 25 y se infunde a través de y entre los elementos.

30 Una vez que se ha infundido la resina, el conjunto experimenta un ciclo de curado para endurecer la resina, tiempo durante el cual se calienta el conjunto de molde 25. El conjunto 25 puede calentarse mediante elementos de calentamiento externos, o alternativamente pueden empotrarse elementos de calentamiento en el molde para proporcionar un molde que puede calentarse.

En tales moldes que pueden calentarse, se conoce proporcionar una capa de distribución de calor. Por ejemplo, el documento US 3.387.333 describe una capa metálica dispuesta entre los elementos de calentamiento y la superficie de molde que distribuye calor a partir de los elementos de calentamiento uniformemente a través de la superficie de molde para garantizar un calentamiento uniforme de la media carcasa.

35 Sin embargo, la media carcasa 14, 16 comprende diferentes elementos que, al estar fabricados de diferentes materiales y/o tener diferentes grosores, tienen diferentes capacidades térmicas. En particular, elementos que contienen carbono, tales como las tapas de larguero 22, tienen una capacidad térmica relativamente alta, mientras que otros elementos, tales como los paneles de espuma 24 entre los elementos de carbono, tienen una capacidad térmica relativamente baja.

40 Para curar completamente la resina, el molde 25 debe calentarse hasta que todos los elementos de la media carcasa 14, 16 hayan alcanzado una temperatura de curado requerida T_{curado} . Esta temperatura de curado es la temperatura que se requiere para curar la resina, y es normalmente de entre aproximadamente 60°C y aproximadamente 120°C. Se apreciará que las tapas de larguero 22, que tienen una alta capacidad térmica, requieren más energía para alcanzar la temperatura de curado que los paneles de espuma 24, que tienen una baja capacidad térmica. Por tanto, se suministra exceso de energía térmica a los paneles de espuma 24 provocando que los mismos se sobrecalienten mientras que las tapas de larguero 22 se llevan hasta la temperatura de curado. Por tanto, el procedimiento de curado es energéticamente ineficiente. Además, en casos extremos, los paneles de espuma 24 pueden superar una temperatura de exposición segura máxima $T_{máx}$, (entre aproximadamente 120°C y aproximadamente 150°C), lo que puede dañar los paneles de espuma 24 y comprometer la integridad estructural de la pala 10.

55 Este problema puede mitigarse en cierta medida proporcionando una pluralidad de zonas de control de calentamiento 26 dentro del molde 25, tal como se ilustra en la figura 2. Cada zona de control de calentamiento 26 comprende un elemento de calentamiento que puede controlarse independientemente, de modo que se suministra más energía térmica a algunas zonas de control de calentamiento 26 que a otras. Por tanto, a zonas de capacidad térmica más alta se les puede suministrar más calor que a aquellas de capacidad térmica más baja. Sin embargo,

los sistemas de control requeridos para el control independiente de cada zona de control de calentamiento 26 son costosos, y cuanto mayor sea el número de zonas de control de calentamiento 26, más alto será el coste del molde 25. Por tanto, la resolución de las zonas de control de calentamiento 26 está limitada por el coste, y normalmente una zona de control 26 debe tener varios metros cuadrados de área. Por tanto, en la práctica, una única zona de control 26 debe soportar varios elementos de capacidad térmica variable. Por tanto, no es práctico usar zonas de control de calentamiento 26 para eliminar por completo el problema de exceso de calor que se suministra a elementos de baja capacidad térmica, tales como los paneles de espuma 24. En el documento WO2012/133406 se da a conocer un troquel para moldeado de resina que emplea un sistema de calentamiento por inducción electromagnética, que está dotado de: una capa de metal de alta dureza y una capa de metal altamente conductora de calor que está metalúrgicamente unida a la superficie inferior de la capa de metal de alta dureza. El grosor de la capa de metal de alta dureza y el grosor de la capa de metal altamente conductora de calor se cambian dentro del troquel para suprimir irregularidades de temperatura en la superficie de cavidad durante el calentamiento del troquel. El documento JPH04239612A da a conocer que una parte de molde superior y una parte de molde inferior que corresponden a la parte de grosor de pared (parte inferior) en un moldeado en forma de bañera están compuestas por un material poco conductor de calor tal como por ejemplo una aleación de aluminio. Una parte de molde superior y una parte de molde inferior que corresponden a la parte de pared fina (parte de pared lateral) en el moldeado en forma de bañera están compuestas por un material poco conductor calor tal como por ejemplo acero al carbono de constitución mecánica. Además, en las partes de molde superior y las partes de molde inferior están formados un gran número de conductos de tubos que están adaptados para verter un medio térmico y luego calentar los moldes a temperatura constante. El documento JPH05278039A da a conocer una parte para moldear la superficie trasera de un producto en las proximidades de una parte de pared gruesa en la que se generan fácilmente depresiones superficiales en un producto, se proporciona un elemento de inserción fabricado de un material que tiene una conductividad térmica menor que la de un material de un molde de modo que la superficie del mismo forma una parte de la parte de moldeado. Se carga una resina en una parte de moldeado de moldes. La resina en contacto con el elemento de inserción apenas se enfría, curándose por tanto en último lugar. Por tanto, no se producen depresiones superficiales sobre una superficie superior de un producto, sino en partes sobre la superficie trasera del mismo. En el documento WO2011029274 se da a conocer un molde para moldear una pala de turbina eólica, comprendiendo el molde un cuerpo de molde que tiene una superficie de moldeado frontal y una cara trasera, teniendo el cuerpo de molde al menos un tubo en el mismo para transportar un líquido de calentamiento a través del mismo, definiendo el al menos un tubo una pluralidad de elementos de calentamiento separados lateralmente, y una capa continua de material conductor de calor ubicada en la dirección de grosor del cuerpo de molde entre la pluralidad de elementos de calentamiento separados lateralmente y la superficie de moldeado frontal y extendiéndose lateralmente a través del espacio entre elementos de calentamiento adyacentes.

Frente a estos antecedentes, un objeto de la presente invención es proporcionar un molde rentable para un componente de turbina eólica que aborde o mitigue el problema anterior.

Sumario de la invención

Desde un primer aspecto, la invención se basa en un molde para un componente de turbina eólica. El componente comprende una pluralidad de elementos que tienen diferentes capacidades térmicas respectivas. El molde comprende una capa de molde interna que define una superficie de molde para soportar la pluralidad de elementos, medios de calentamiento dispuestos bajo la superficie de molde, y una capa de distribución de calor adyacente a los medios de calentamiento. El molde tiene una o más primeras regiones configuradas para soportar elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente alta, una o más segundas regiones configuradas para soportar elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente baja, y una o más regiones de transición definidas entre las regiones primeras y segundas. La capa de distribución de calor en una o más regiones de transición del molde está configurada para aumentar la transferencia de calor dentro de la capa de distribución a una o más primeras regiones del molde.

Mediante los términos “elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente alta” y “elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente baja” quiere decirse que los elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente alta tienen una capacidad térmica que es más alta que los elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente baja.

Tal como se mencionó anteriormente, los elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente alta pueden ser los elementos que contienen carbono tales como tapas de larguero, formados, por ejemplo, por extrusiones de fibra de carbono. Los elementos de capacidad térmica relativamente baja pueden ser elementos de espuma, tales como paneles de espuma.

La invención proporciona un molde en el que el calor proporcionado por los medios de calentamiento se conduce a la capa de distribución de calor en virtud de su proximidad a la capa de distribución de calor. Se conduce calor dentro de la capa de distribución de calor para promover el rápido calentamiento del molde. Además, en virtud de la configuración de la capa de distribución de calor en una o más regiones de transición del molde, hay un flujo neto relativamente alto de calor dentro del molde a través de las regiones de transición a las primeras regiones, tal como se describirá ahora.

Los elementos de capacidad térmica relativamente alta actúan como disipadores de calor y absorben más calor que los elementos de capacidad térmica relativamente baja. Por tanto, fluye calor desde los elementos de capacidad térmica relativamente baja hasta los elementos de capacidad térmica relativamente alta, y por consiguiente fluye desde las segundas regiones del molde hasta las primeras regiones del molde. En el molde de la presente invención, se facilita este flujo de calor mediante la configuración de la capa de distribución de calor en la(s) región/regiones de transición del molde.

Por tanto, en un molde según la invención, fluye calor hacia los elementos de mayor capacidad térmica que se soportan por las primeras regiones del molde más rápidamente que en moldes convencionales. De este modo se evita el sobrecalentamiento de los elementos de capacidad térmica más baja, y fluye más calor hacia los elementos de alta capacidad térmica, en los que se necesita más. Por tanto, el componente experimenta un calentamiento más eficiente durante el procedimiento de curado, y el molde requiere menos energía para curar que los moldes convencionales.

Cuando el molde está en uso, la(s) región/regiones de transición del molde se dispone(n) preferiblemente bajo un límite entre un elemento del componente de capacidad térmica relativamente alta y un elemento del componente de capacidad térmica relativamente baja.

Preferiblemente, la capa de distribución de calor es de mayor conductividad térmica y/o es de mayor grosor y/o tiene una densidad de malla más alta en una o más regiones de transición del molde que en una o más segundas regiones del molde.

A lo largo de esta descripción, se considera que la densidad de malla de una capa de malla significa la proporción de la capa de malla que se capta por material macizo, a diferencia del espacio vacío, expresada como fracción o porcentaje.

Aunque la capa de distribución de calor es una capa de malla en realizaciones en las que la densidad de malla es mayor en las regiones de transición del molde que en las segundas regiones del molde, en otras realizaciones, por ejemplo, en las que se varían la conductividad térmica y/o el grosor, no se necesita que sea así, y la capa de distribución de calor puede ser una capa maciza. Sin embargo, preferiblemente la capa de distribución de calor es una capa de malla ya que esto facilita la infusión de resina a lo largo del molde cuando se fabrica el molde, y es menos cara que una capa maciza. Se apreciará que, en algunas realizaciones, cualquier combinación de la conductividad térmica, el grosor y/o la densidad de malla puede ser mayor en una o más regiones de transición del molde que en una o más segundas regiones del molde.

En realizaciones en las que la capa de distribución de calor es de mayor conductividad térmica en la(s) región/regiones de transición que en la(s) segunda(s) región/regiones, la conductividad térmica más alta da como resultado una mayor velocidad de flujo de calor a través de la capa de distribución de calor en la(s) región/regiones de transición hacia la(s) primera(s) región/regiones del molde. En realizaciones en las que la capa de distribución de calor es de mayor grosor y/o es una malla de mayor densidad de malla en la(s) región/regiones de transición que en la(s) segunda(s) región/regiones, un área en sección transversal de la capa de distribución de calor perpendicular a la dirección de flujo de calor es mayor en la(s) región/regiones de transición que en la(s) segunda(s) región/regiones. Esta mayor área en sección transversal da como resultado una mayor velocidad de flujo de calor a través de la capa de distribución de calor en la(s) región/regiones de transición hacia la(s) primera(s) región/regiones del molde.

Por tanto, en virtud de la configuración de la capa de distribución de calor en la(s) región/regiones de transición, se conduce calor rápidamente a través de la(s) región/regiones de transición, y se potencia el flujo de calor desde la(s) segunda(s) región/regiones hasta la(s) primera(s) región/regiones en comparación con un molde convencional que tiene una capa de distribución de calor uniforme.

Para facilidad particular de fabricación, la capa de distribución de calor puede ser de mayor conductividad térmica y/o puede ser de mayor grosor y/o puede tener una densidad de malla más alta en una o más de las primeras regiones del molde que en una o más de las segundas regiones del molde. En este caso, la capa de distribución de calor es sustancialmente de la misma conductividad térmica y/o es sustancialmente del mismo grosor y/o tiene sustancialmente la misma densidad de malla en una o más primeras regiones del molde y en una o más regiones de transición del molde.

En realizaciones particularmente preferidas, el molde comprende una pluralidad de zonas de control de calentamiento, comprendiendo cada zona de control de calentamiento unos medios de calentamiento independientemente controlables, y una primera región, una segunda región y una región de transición del molde están ubicadas en la misma zona de control de calentamiento.

Para el control sencillo del grosor de la capa de distribución de calor, y para facilitar el procedimiento de fabricación del molde, la capa de distribución de calor puede comprender una pluralidad de subcapas. En particular, la capa de distribución de calor puede comprender un mayor número de subcapas en una o más regiones de transición del molde que en una o más segundas regiones del molde.

Preferiblemente, la capa de distribución de calor comprende una o más capas de malla. De este modo, la resina

puede difundirse fácilmente dentro y alrededor de la capa de distribución de calor por medio de los espacios abiertos en la malla.

5 La capa de distribución de calor puede estar fabricada al menos parcialmente de aluminio, para proporcionar un compromiso entre conductividad térmica relativamente alta y coste relativamente bajo. Sin embargo, pueden usarse otros materiales térmicamente conductores adecuados. Se conciben realizaciones en las que, por ejemplo, la capa de distribución de calor está fabricada de cobre en la región de transición y fabricada de aluminio en otro lugar.

Preferiblemente, los medios de calentamiento son elementos de calentamiento eléctricos. En realizaciones alternativas, los medios de calentamiento pueden estar en forma de tubos que hacen circular fluido calentado tal como agua o aceite para calentar el molde.

10 Para la rentabilidad, el molde puede comprender una o más regiones adicionales en las que la capa de distribución de calor no está presente.

El componente puede ser una pala de turbina eólica, de manera que el molde es un molde para una pala de turbina eólica.

15 Los elementos del componente de capacidad térmica relativamente alta pueden estar fabricados de un material que contiene carbono. Estos elementos pueden ser, por ejemplo, elementos de refuerzo que se extienden longitudinalmente.

Los elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente baja pueden ser materiales de núcleo relativamente ligeros tales como, por ejemplo, espuma y/o elementos de balsa. Estos elementos pueden ser núcleos de panel de intercalado.

20 Desde otro aspecto, la invención se basa en un molde para un componente de turbina eólica. El componente comprende una pluralidad de elementos que tienen diferentes capacidades térmicas respectivas. El molde comprende una capa de molde interna que define una superficie de molde para soportar la pluralidad de elementos, medios de calentamiento dispuestos bajo la superficie de molde, y una capa de distribución de calor adyacente a los medios de calentamiento. El molde tiene una o más primeras regiones configuradas para soportar elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente alta, una o más segundas regiones configuradas para soportar elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente baja, y una o más regiones de transición definidas entre las regiones primeras y segundas. La capa de distribución de calor es de mayor conductividad térmica y/o es de mayor grosor y/o tiene una densidad de malla más alta en una o más regiones de transición del molde que en una o más segundas regiones del molde.

30 Según un aspecto adicional, la invención se basa en un método de fabricación de un molde para un componente de turbina eólica. El componente comprende una pluralidad de elementos que tienen diferentes capacidades térmicas respectivas. El molde tiene una o más primeras regiones configuradas para soportar elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente alta, una o más segundas regiones configuradas para soportar elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente baja, y una o más regiones de transición definidas entre las regiones primeras y segundas. El método comprende a) proporcionar una pieza maestra que define una superficie externa, b) disponer material fibroso encima de la superficie externa de la pieza maestra para formar una capa de molde interna del molde c) disponer unos medios de calentamiento y una capa de distribución de calor encima del material fibroso, estando configurada la capa de distribución de calor en una región de transición del molde para potenciar la transferencia de calor dentro de la capa de distribución a una primera región del molde, d) integrar la capa de molde interna, los medios de calentamiento y la capa de distribución de calor para formar el molde, y e) separar el molde de la pieza maestra.

La capa de distribución de calor puede ser de mayor conductividad térmica y/o puede ser de mayor grosor y/o puede tener una densidad de malla más alta en una o más regiones de transición del molde que en una o más segundas regiones del molde.

45 La capa de distribución de calor puede ser de mayor conductividad térmica y/o puede ser de mayor grosor y/o puede tener una densidad de malla más alta en las primeras regiones del molde que en las segundas regiones del molde. En este caso, para facilidad particular de fabricación, la capa de distribución de calor puede ser sustancialmente de la misma conductividad térmica y/o puede ser sustancialmente del mismo grosor y/o puede tener sustancialmente la misma densidad de malla en una o más primeras regiones del molde y en una o más regiones de transición del molde.

50 En realizaciones preferidas, y para un control particularmente bueno del calentamiento del molde, el método puede comprender disponer una pluralidad de medios de calentamiento independientemente controlables encima del material fibroso, definiendo cada uno de los medios de calentamiento una zona de control de calentamiento del molde. En este caso, el método puede comprender disponer la capa de distribución de calor de manera que una primera región, una segunda región y una región de transición estén ubicadas en la misma zona de control de calentamiento.

Preferiblemente, el método comprende además suministrar resina al material fibroso entre las etapas (b) y (c) en un procedimiento de infusión de resina. El método también puede comprender calentar la capa de molde interna entre las etapas (b) y (c) para curar la resina.

5 Para facilidad de fabricación, la capa de distribución de calor puede comprender una pluralidad de subcapas dispuestas unas encima de otras, y el método puede comprender disponer más subcapas sobre el material fibroso en una o más de las regiones de transición que en una o más de las segundas regiones.

La etapa (f) puede comprender suministrar resina a las capas en un procedimiento de infusión de resina. La etapa (f) puede comprender alternativa o adicionalmente calentar las capas para curar la resina. En este caso, las capas pueden calentarse usando los medios de calentamiento.

10 Desde otro aspecto, la invención se basa en un método de fabricación de un molde para un componente de turbina eólica. El componente comprende una pluralidad de elementos que tienen diferentes capacidades térmicas respectivas. El molde tiene una o más primeras regiones configuradas para soportar elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente alta, una o más segundas regiones configuradas para soportar elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente baja, y una o más regiones de transición definidas entre las regiones primeras y segundas. El método comprende a) proporcionar una pieza maestra que define una superficie externa, b) disponer material fibroso encima de la superficie externa de la pieza maestra para formar una capa de molde interna del molde c) disponer unos medios de calentamiento y una capa de distribución de calor encima del material fibroso, siendo la capa de distribución de calor de mayor conductividad térmica y/o siendo de mayor grosor y/o teniendo una densidad de malla más alta en al menos una región de transición del molde que en al menos una segunda región del molde, d) integrar la capa de molde interna, los medios de calentamiento y la capa de distribución de calor para formar el molde, y e) separar el molde de la pieza maestra.

25 Desde otro aspecto, la invención se basa en un método de fabricación de un componente para una turbina eólica usando el molde descrito anteriormente. El método comprende: disponer uno o más primeros elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente alta en una o más primeras regiones del molde; disponer uno o más segundos elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente baja en una o más segundas regiones del molde; formar una región sellada alrededor de los elementos; reducir la presión en la región sellada; opcionalmente, suministrar resina a la región sellada; y calentar el molde usando los medios de calentamiento para provocar un flujo de calor neto hacia los primeros elementos del componente, en el que el flujo de calor hacia uno o más de los primeros elementos se potencia por la configuración de la capa de distribución de calor en una o más regiones de transición del molde.

En realizaciones preferidas, el componente es una pala de turbina eólica.

35 Desde todavía otro aspecto, la invención se basa en un método de fabricación de un componente para una turbina eólica usando el molde descrito anteriormente. El método comprende: disponer uno o más primeros elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente alta en una o más primeras regiones del molde; disponer uno o más segundos elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente baja en una o más segundas regiones del molde; formar una región sellada alrededor de los elementos; reducir la presión en la región sellada; opcionalmente, suministrar resina a la región sellada; y calentar el molde usando los medios de calentamiento para provocar un flujo de calor neto hacia los primeros elementos del componente, en el que el flujo de calor hacia uno o más de los primeros elementos se potencia por la capa de distribución de calor del molde, que es de mayor conductividad térmica y/o es de mayor grosor y/o tiene una densidad de malla más alta en una o más regiones de transición del molde entre las regiones primeras y segundas, que en una o más segundas regiones del molde.

45 Un molde según la invención se define en la reivindicación 1 adjunta. En las reivindicaciones dependientes 2-14 se definen características preferidas adicionales del mismo. Un método de fabricación de un componente por medio de un molde según la invención se define en la reivindicación 15 adjunta. También pueden usarse características preferidas y/u opcionales de cualquier aspecto de la invención, solas o en combinación apropiada, con los demás aspectos de la invención.

Breve descripción de los dibujos

50 Ya se ha hecho referencia a la figura 1, que ilustra en sección transversal una pala de rotor de turbina eólica, y a la figura 2, que es una vista en planta de un molde convencional para un componente de turbina eólica. Con el fin de que la invención se entienda más fácilmente, ahora se hará referencia, sólo a modo de ejemplo, al resto de los dibujos, en los que:

la figura 3 es una sección transversal parcial de un molde para un componente de turbina eólica según la invención;

la figura 4 es una sección transversal parcial del molde de la figura 3 en uso moldeando una pala de turbina eólica;

55 la figura 5 es una sección transversal parcial de una capa de distribución de calor del molde de las figuras 3 y 4;

la figura 6 ilustra un método de fabricación del molde de las figuras 3 y 4;

las figuras 7a y 7b son vistas en perspectiva de capas de malla de la capa de distribución de calor de la figura 5;

las figuras 7c y 7d son secciones transversales de las capas de malla de las figuras 7a y 7b a lo largo de las líneas A-A y B-B respectivamente;

5 la figura 8 es una sección transversal parcial de otra realización de un molde según la invención; y

la figura 9 es una sección transversal parcial del molde de la figura 8 en uso moldeando una pala de turbina eólica.

Descripción detallada de realizaciones de la invención

10 La invención se refiere a un molde 30 para hacer una pala de rotor de turbina eólica 10 del tipo mostrado en la figura 1. La pala de rotor 10 comprende una pluralidad de elementos que tienen diferentes capacidades térmicas, en este caso, y haciendo referencia a la figura 1, las tapas de larguero 22, que están fabricados a partir de extrusiones de carbono y tienen una capacidad térmica relativamente alta, y núcleos de panel de intercalado que están fabricados a partir de paneles de espuma ligeros 24, y tienen una capacidad térmica relativamente baja. Se define un límite 23 en la superficie de contacto entre tapas de larguero 22 y paneles de espuma 24 adyacentes.

15 El molde 30 se divide en zonas de control de calentamiento 26, del tipo ilustrado en la figura 2. Dentro de una zona de control de calentamiento 26, el molde 30 se divide en regiones de molde 32. Las primeras regiones 34 del molde 30 están configuradas para soportar las tapas de larguero que se extienden longitudinalmente 22 de la pala 10 durante el moldeado. Las segundas regiones 36 del molde 30 están configuradas para soportar los paneles de espuma 24 de los núcleos de panel de intercalado durante el moldeado. Una región de transición 35 se define entre las primeras regiones 34 y las segundas regiones 36 del molde 30.

20 Las figuras 3 y 4 son secciones transversales del molde 30, tomadas a través de una primera región 34 y dos segundas regiones 36, y por consiguiente tomadas a través de dos regiones de transición 35. Las secciones transversales revelan que el molde 30 está compuesto por una pluralidad de capas de molde. Una capa de molde interna 38 define una superficie de molde 40 para soportar y moldear la pala 10. Una capa de elementos de calentamiento eléctricos 44 está dispuesta bajo la capa de molde interna 38. Entre los elementos de calentamiento eléctricos 44 y la capa de molde interna 38 hay una capa de distribución de calor 46.

La capa de distribución de calor 46 es de grosor variable. En las regiones de transición 35 del molde 30, la capa de distribución de calor 46 es relativamente gruesa, mientras que en las regiones primeras y segundas 34, 36 del molde 30, la capa de distribución de calor 46 es relativamente fina.

30 Haciendo ahora referencia a la figura 5, la capa de distribución de calor 46 está formada a partir de una pluralidad de capas de malla 48. La capa de distribución de calor 46 comprende un mayor número de capas de malla 48 en las regiones de transición 35 del molde 30, que en las regiones primeras y segundas 34, 36 del molde 30. En otras palabras, la capa de distribución de calor 46 es más gruesa bajo el límite 23 que bajo los paneles de espuma 24 o la tapa de larguero 22. En el ejemplo ilustrado, la capa de distribución de calor 46 comprende cuatro capas de malla 48 en la región de transición 35, y dos capas de malla 48 en las regiones primeras y segundas 34, 36, de manera que la capa de distribución de calor 46 es el doble de gruesa en la región de transición 35 que en las regiones primeras y segundas 34, 36.

40 Cada capa de malla 48 está fabricada a partir de una malla de un material conductor de calor, en este caso, aluminio. Alternativamente, las capas de malla 48 pueden estar fabricadas a partir de otros materiales conductores de calor adecuados, tales como cobre o un material compuesto de fibra de carbono. Las capas de malla 48 pueden tener un grosor de entre 0,25 mm y 2 mm. La densidad de malla es normalmente una densidad de alrededor del 20% (es decir, el 20% de cada capa de malla 48 comprende el material conductor de calor, y el 80 % de la capa de malla 48 es espacio vacío).

Haciendo de nuevo referencia a la figura 4, cuando el molde 30 está en uso, soporta y moldea una media carcasa de una pala 10.

45 Para formar la media carcasa, los elementos de la media carcasa se ponen sobre la superficie de molde 40 de la capa de molde interna 38. En primer lugar, se aplica un recubrimiento de gel a la superficie de molde 40, y se ponen uno o más tejidos de fibra que formarán el revestimiento externo de la media carcasa (no mostrado) encima del recubrimiento de gel.

50 Entonces, se ponen las tapas de larguero 22 en su sitio sobre las primeras regiones 34 del molde 30, y se ponen los paneles de espuma 24 en su sitio sobre las segundas regiones 36 del molde 30. De este modo, los límites 23 entre las tapas de larguero 22 y los paneles de espuma 24 se disponen encima de las regiones de transición 35 del molde 30. Tal como se muestra en la figura 4, las regiones de transición 35 del molde 30 se extienden una distancia corta bajo las tapas de larguero 22, y una distancia corta bajo los paneles de espuma 24, de manera que las regiones de transición 35 tienen una anchura d , que es aproximadamente de 100 mm.

Entonces se pone un tejido de fibra que formará el revestimiento interno de la media carcasa encima de los elementos en el molde 30. Entonces se infunde resina en los componentes de la media carcasa, y se calienta el molde 30 hasta que la resina haya alcanzado la temperatura de curado requerida T_{curado} a lo largo de la colocación.

5 Para calentar el molde 30, se genera una corriente eléctrica en los elementos de calentamiento 44. Se conduce calor desde los elementos de calentamiento 44 hasta la capa de distribución de calor adyacente 46, y luego hasta la capa de molde interna 38 y la superficie de molde 40.

10 Durante el calentamiento, la capa de distribución de calor 46 realiza dos funciones. En primer lugar, en virtud de la conductividad relativamente alta del material de la capa de distribución de calor 46, se conduce calor fácilmente dentro de la capa de distribución de calor 46. Esto garantiza que se distribuya calor rápidamente alrededor del molde 30, acelerando el procedimiento de curado.

En segundo lugar, en virtud de su grosor variable, la capa de distribución de calor 46 distribuye el calor de manera diferente según las regiones de molde 34, 35, 36 del molde 30.

15 Debido a que las tapas de larguero 22 son de capacidad térmica más alta que los paneles de espuma 24, las tapas de larguero 22 actúan como disipadores de calor, absorbiendo más energía térmica que los paneles de espuma 24. Por tanto, el calor tiende a fluir desde las segundas regiones 36 del molde 30 hasta las primeras regiones 34 del molde 30. Este flujo de calor se facilita por la capa de distribución de calor 46, que es de mayor grosor en las regiones de transición 35 del molde 30 que en las regiones primeras y segundas 34, 36 del molde 30.

20 Por tanto, la configuración de la capa de distribución de calor 46 aumenta la velocidad a la que se conduce el calor desde las segundas regiones 36 hasta las primeras regiones 34, de modo que se potencia el flujo de calor hacia las tapas de larguero 22. Esto compensa la diferencia en las capacidades térmicas respectivas de las tapas de larguero 22 y los paneles de espuma 24, de modo que cuando las tapas de larguero 22 alcanzan la temperatura de curado T_{curado} (por ejemplo, de 60°C a 120°C) los paneles de espuma 24 no han superado la temperatura de exposición segura máxima $T_{m\acute{a}x}$ (por ejemplo, de 120°C a 150°C).

25 Por tanto, los paneles de espuma 24 no calientan más allá de la temperatura de exposición segura $T_{m\acute{a}x}$, lo que reduce las oportunidades de daño estructural a los paneles de espuma. El procedimiento de curado también es energéticamente más eficiente que el de los moldes conocidos.

30 Además, cuando se consigue un estado estacionario, la capa de distribución de calor 46 puede adaptarse a las diferentes conductividades térmicas de las tapas de larguero 22 (que tendrán una conductividad térmica relativamente alta) y los paneles de espuma 24 (que tendrán una conductividad térmica relativamente baja) sirviendo para distribuir calor para mantener el control de temperatura apropiado.

35 Para fabricar el molde 30, tal como se muestra en la figura 6, se proporciona una pieza maestra 50, que define una superficie externa 52 que simula la superficie externa de la media carcasa que va a moldearse. En primer lugar, se prepara la superficie externa 52 de la pieza 50 para el moldeo aplicando un recubrimiento de gel y una capa de tejido de fibra de vidrio (no mostrado). Luego, se pone la capa de molde interna 38 sobre la superficie externa 52 de la pieza maestra 50: se ponen capas de fibra de vidrio y fibra de carbono sobre la superficie externa 52, se infunde resina en las capas de fibra, y se someten los componentes a curado previo parcial.

40 A continuación, se pone la capa de distribución de calor 46 sobre la capa de molde interna 38. Se ponen las dos primeras capas de malla 48 sobre las regiones primeras, segundas y de transición 34, 35, 36 del molde 30. Luego, se ponen capas de malla adicionales 48 sólo sobre las regiones de transición 35, de modo que la capa de distribución de calor 46 es de mayor grosor en la región de transición 35 que en las regiones primeras y segundas 34, 36.

45 Después se pone cada elemento de calentamiento 44 sobre la capa de distribución de calor 46. Con este fin, se pone una longitud de cable que forma cada elemento de calentamiento 44 sobre la capa de distribución de calor 46 y se dispone de manera serpenteante en filas que se extienden hacia delante y hacia atrás a través del molde 30, abarcando el área de una zona de control de calentamiento 26. Se dispone una capa de tejido de fibra de vidrio fina 54 encima de los elementos de calentamiento 44 y después se infunde resina en los diversos componentes. La estructura de malla de la capa de distribución de calor 46 facilita esta infusión ya que la resina puede infiltrarse en los espacios abiertos en la malla 48 para rodear los componentes. A continuación, se someten los componentes a curado previo parcial por calentamiento.

50 Entonces, se retira el molde 30 de la pieza maestra 50, y tiene lugar una etapa de curado final para curar completamente el molde 30. En esta etapa de curado final, se usan los elementos de calentamiento 44 que están incluidos en el molde 30 para curar por pulsos el molde 30. De este modo, la capa de distribución de calor 46 conduce calor alrededor del molde 30 durante la etapa de curado, facilitando de este modo un curado eficiente de los componentes. Una vez que se ha curado completamente, el molde 30 está listo para usarlo para moldear una pala de turbina eólica 10.

Cuando el molde 30 está en uso y se calienta para curar una media carcasa de una pala, la velocidad Q a la que

fluye calor a través de las regiones de transición 35 desde las segundas regiones 36 a las primeras regiones 34 viene dada por la siguiente ecuación 1:

$$Q = Ak \frac{T_{m\acute{a}x} - T_{curado}}{d/4}$$

Ecuación 1

5 donde A es el área en sección transversal de la capa de distribución de calor 46 perpendicular a la dirección de flujo de calor, k es la conductividad térmica del material conductor de calor de la capa de distribución de calor 46 en la región de transición 35, $T_{m\acute{a}x}$ es la temperatura de exposición segura máxima de los paneles de espuma 24, T_{curado} es la temperatura de curado de la resina, y d es la anchura de la región de transición 35 (véase la figura 3).

10 Para el funcionamiento satisfactorio del molde, esta velocidad de flujo de calor Q a través de la región de transición 35 debe ser más alta que la potencia $P_{transición}$ requerida para calentar la región de transición 35 de la capa de distribución de calor 46, que viene dada por la siguiente ecuación 2:

$$P_{transición} = P_{cable} d/X$$

Ecuación 2

donde P_{cable} es la potencia suministrada a un cable que forma los elementos de calentamiento 44, d es la anchura de la región de transición 35 y X es el paso del cable (es decir, el espaciado entre filas adyacentes del cable dispuesto).

15 Para garantizar que la velocidad de flujo de calor Q a través de la región de transición 35 es suficiente para cumplir con este criterio, la velocidad de flujo de calor Q puede aumentarse formando las capas de malla 48 a partir de un material de mayor conductividad térmica k , y/o aumentando el área en sección transversal A de la capa de distribución de calor 46 perpendicular a la dirección de flujo de calor. El área en sección transversal A puede aumentarse aumentando el grosor de la capa 46, y/o aumentando la densidad de malla en casos en los que la capa de distribución de calor 46 es una malla. La anchura d de la región de transición 35 también puede variarse para controlar tanto la velocidad de flujo de calor Q como la potencia $P_{transición}$ a la región de transición 35.

Por tanto, las propiedades de la capa de distribución de calor 46 pueden adaptarse a requerimientos específicos de la pala 10 que va a moldearse en el molde 30.

25 Tal como se ha descrito, el velocidad de flujo de calor Q a través de la(s) región/regiones de transición 35 resulta afectada por el área en sección transversal A de la capa de distribución de calor 46 en un plano perpendicular a la dirección de flujo de calor (es decir, por el grosor o la densidad de malla de la capa de distribución de calor 46), y por su conductividad térmica.

30 Por tanto, en otras realizaciones de la invención, las diferentes regiones 34, 35, 36 del molde 30 pueden incluir una capa de distribución de calor 46 que es de grosor constante, pero que es de densidad de malla variable, o de material variable, en las diferentes regiones.

35 En una realización, se usan capas de malla 48a, 48b de diferentes densidades de malla en las diferentes regiones 34, 35, 36. Se usan capas de malla 48a de densidad de malla relativamente baja, ilustradas en las figuras 7a y 7c, en las regiones primeras y segundas 34, 36, y se usan capas de malla 48b de densidad de malla relativamente alta, ilustradas en las figuras 7b y 7d, en las regiones de transición 35. De este modo, y tal como puede observarse al comparar las figuras 7c y 7d, la malla 48b de densidad de malla más alta en la región de transición 35 es de mayor área en sección transversal A perpendicular a la dirección de flujo de calor que la malla 48a de densidad de malla más baja y el mismo grosor en las regiones primeras 34 y segundas 36 del molde 30. Por tanto, el calor fluye a través de las regiones de transición 35 desde las segundas regiones 36 hasta las primeras regiones 34, tal como se ha descrito.

40 En otra realización, se usan capas de malla 48 de diferentes materiales que tienen diferentes propiedades térmicas en las diferentes regiones 34, 35, 36. Los materiales se seleccionan de manera que el material de las capas de malla 48 en la región de transición 35 es de mayor conductividad térmica que el material de las capas de malla 48 en las regiones primeras y segundas 34, 36. Se usan capas de malla 48 fabricadas a partir de un material de

5 conductividad térmica relativamente alta, tal como cobre, en las regiones de transición 35, y se usan capas de malla 48 fabricadas a partir de material de conductividad térmica relativamente baja, tal como aluminio, en las regiones primeras y segundas 34, 36. Por tanto, la capa de distribución de calor 46 es de mayor conductividad térmica en las regiones de transición 35 que en las regiones primeras y segundas 34, 36, y el calor fluye a través de las regiones de transición 35 desde las segundas regiones 36 hasta las primeras regiones 34, tal como se ha descrito.

En otras realizaciones de la invención, cualquier combinación del grosor, la densidad de malla y/o el material de la capa de distribución de calor 46 puede variarse a través de las regiones 34, 35, 36 del molde 30.

10 También se conciben realizaciones de la invención en las que la capa de distribución de calor 46 es de mayor grosor y/o de mayor densidad de malla y/o está fabricada de un material que tiene una mayor conductividad térmica en la primera región 34 del molde 30, así como en la región de transición 35 del molde 30.

15 Un ejemplo de una realización de este tipo se ilustra en las figuras 8 y 9, en las que la capa de distribución de calor 46 es de mayor grosor en la primera región 34 del molde. En esta realización, se aumenta la anchura d de la región de transición 35 de manera que se encuentran regiones de transición 35 vecinas. Por tanto, la región de transición 35 se extiende al interior de la primera región 34 del molde 30, de manera que la capa de distribución de calor 46 es de mayor grosor bajo la totalidad de la tapa de larguero 22, tal como se observa mejor en la figura 9.

Se apreciará que aunque las realizaciones específicas descritas se refieren a moldes para una pala de turbina eólica, el molde puede ser un molde para cualquier componente que comprende elementos que tienen diferentes capacidades térmicas.

20 Aunque, en las realizaciones descritas, los medios de calentamiento está en forma de elementos de calentamiento eléctricos, los medios de calentamiento pueden ser cualquier medio adecuado. Por ejemplo, los medios de calentamiento pueden proporcionarse en forma de tubos a través de los cuales puede fluir un fluido calentado, tal como agua o aceite, para calentar el molde.

25 Cualquier número de capas de malla de cualquier grosor apropiado puede usarse en la capa de distribución de calor. El molde puede comprender adicionalmente regiones adicionales en las que la capa de distribución de calor es de un tercer grosor, densidad de malla o conductividad térmica diferente.

El molde puede también comprender regiones adicionales en las que la capa de distribución de calor no está presente.

30 En las realizaciones descritas, las capas de molde se ponen como capas de fibra secas y posteriormente se infunde resina. Sin embargo, se apreciará que las capas de molde pueden ser alternativamente capas preimpregnadas, y puede omitirse la etapa de infusión de resina.

35 Aunque en el método de fabricación del molde descrito anteriormente la capa de distribución de calor ese dispone sobre la capa de molde interna y los elementos de calentamiento se disponen encima de la capa de distribución de calor, se apreciará que la disposición de los elementos de calentamiento y la capa de distribución de calor puede invertirse, de manera que los elementos de calentamiento se disponen sobre la capa de molde interna y la capa de distribución de calor se dispone encima de los elementos de calentamiento. En algunos casos, la capa de distribución de calor puede añadirse en una etapa de procedimiento completamente independiente o, en moldes que no forman parte de la presente invención, puede omitirse.

40 Se apreciará que se conciben muchas otras variaciones de la invención que entran dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un molde (30) para un componente de turbina eólica, tal como para una pala de turbina eólica (10), comprendiendo el componente una pluralidad de elementos que tienen diferentes capacidades térmicas respectivas y comprendiendo el molde (30):
- 5 una capa de molde interna (38) que define una superficie de molde (40) para soportar la pluralidad de elementos;
medios de calentamiento dispuestos bajo la superficie de molde (40); y
una capa de distribución de calor (46) adyacente a los medios de calentamiento;
- 10 en el que el molde (30) tiene una o más primeras regiones (34) configuradas para soportar elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente alta, una o más segundas regiones (36) configuradas para soportar elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente baja, y una o más regiones de transición (35) definidas entre las regiones primeras y segundas (34, 36); y
en el que la capa de distribución de calor (46) en una o más regiones de transición (35) del molde (30) está configurada para potenciar la transferencia de calor dentro de la capa de distribución (46) a una o más primeras regiones (34) del molde (30).
- 15 2. El molde según la reivindicación 1, en el que la capa de distribución de calor (46) es de mayor conductividad térmica y/o es de mayor grosor y/o tiene una densidad de malla más alta en una o más regiones de transición (35) del molde (30) que en una o más segundas regiones (36) del molde (30).
- 20 3. El molde (30) según cualquier reivindicación anterior, en el que la capa de distribución de calor (46) es de mayor conductividad térmica y/o es de mayor grosor y/o tiene una densidad de malla más alta en una o más de las primeras regiones (34) del molde que en una o más de las segundas regiones (36) del molde (30).
- 25 4. El molde (30) según la reivindicación 3, en el que la capa de distribución de calor (46) es sustancialmente de la misma conductividad térmica y/o es sustancialmente del mismo grosor y/o tiene sustancialmente la misma densidad de malla en una o más primeras regiones (34) del molde (30) y en una o más regiones de transición (35) del molde (30).
- 30 5. El molde (30) según cualquier reivindicación anterior, en el que el molde (30) comprende una pluralidad de zonas de control de calentamiento (26), comprendiendo cada zona de control de calentamiento (26) unos medios de calentamiento controlables por separado, y en el que una primera región (34), una segunda región (36) y una región de transición (35) del molde están ubicadas en la misma zona de control de calentamiento (26).
- 35 6. El molde según cualquier reivindicación anterior, en el que la capa de distribución de calor (46) comprende una pluralidad de subcapas; preferiblemente en el que la capa de distribución de calor (46) comprende un mayor número de subcapas en una o más de las regiones de transición (35) del molde (30) que en una o más de las segundas regiones (36) del molde (30).
7. El molde (30) según cualquier reivindicación anterior, en el que la capa de distribución de calor (46) comprende una o más capas de malla (48).
8. El molde (30) según cualquier reivindicación anterior, en el que la capa de distribución de calor (46) está fabricada al menos parcialmente de aluminio.
- 40 9. El molde (30) según cualquier reivindicación anterior, en el que los medios de calentamiento comprenden elementos de calentamiento eléctricos (44).
10. El molde (30) según cualquier reivindicación anterior, en el que los medios de calentamiento están empotrados en el molde (30).
11. El molde (30) según cualquier reivindicación anterior, en el que el molde (30) comprende una o más regiones adicionales en las que la capa de distribución de calor (46) no está presente.
- 45 12. Un método de fabricación de un componente de turbina eólica, tal como una pala de turbina eólica (10), usando el molde según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que el método comprende:
disponer uno o más primeros elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente alta en una o más primeras regiones (34) del molde (30);
50 disponer uno o más segundos elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente baja en una o más segundas regiones (34) del molde (30);

formar una región sellada alrededor de los elementos;

reducir una presión en la región sellada;

opcionalmente, suministrar resina a la región sellada; y

- 5 calentar el molde (30) usando los medios de calentamiento del molde (30) para provocar un flujo de calor neto hacia los primeros elementos del componente, en el que el flujo de calor hacia uno o más de los primeros elementos se potencia por la configuración de la capa de distribución de calor (46) en una o más regiones de transición (35) del molde (30).
- 10 13. El método según la reivindicación 12, en el que la región de transición (35) del molde (30) se encuentra bajo un límite (23) entre un elemento del componente de capacidad térmica relativamente alta y un elemento del componente de capacidad térmica relativamente baja.
14. El método según la reivindicación 12 ó 13, en el que los elementos del componente de capacidad térmica relativamente alta están fabricados de un material que contiene carbono, en el que dichos elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente alta son preferiblemente miembros de refuerzo que se extienden longitudinalmente.
- 15 15. El método según cualquier reivindicación 12-14, en el que los elementos del componente que tienen capacidad térmica relativamente baja son material de núcleo relativamente ligero tal como espuma (24) y/o elementos de balsa.

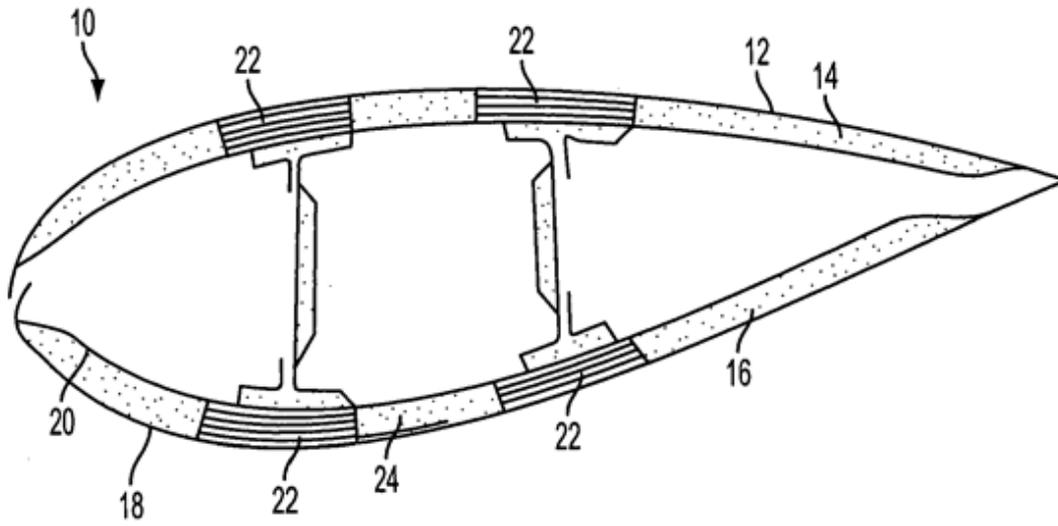


FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR

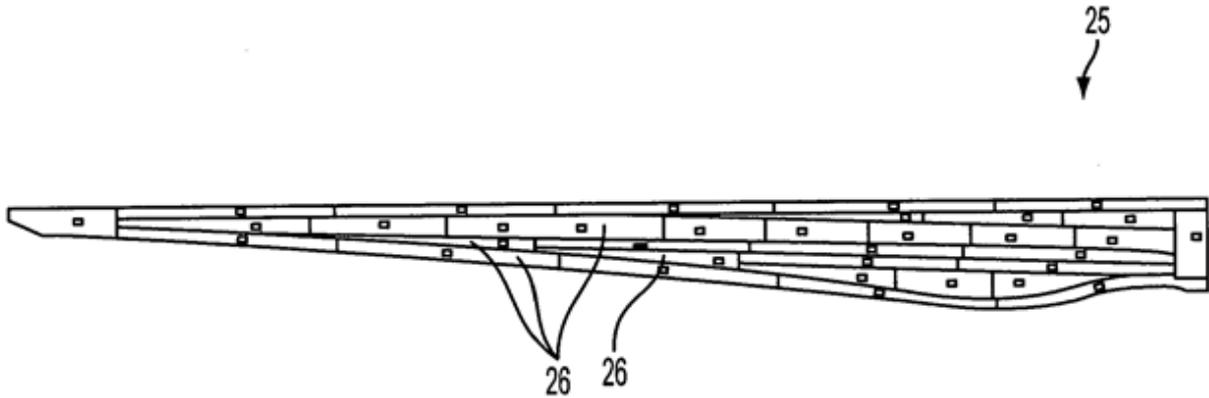


FIG. 2
TÉCNICA ANTERIOR

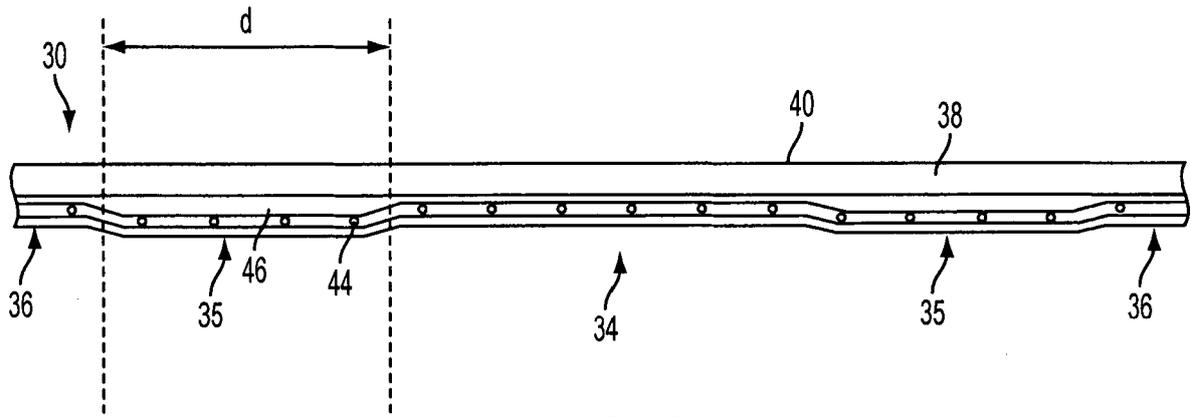


FIG. 3

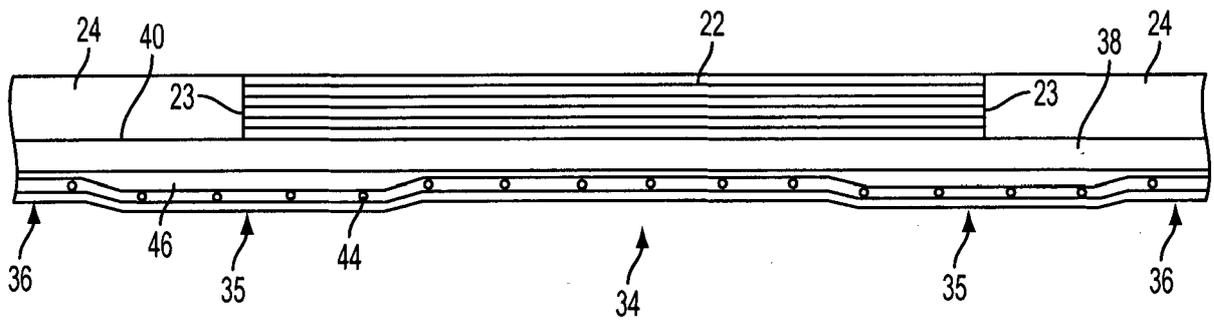


FIG. 4

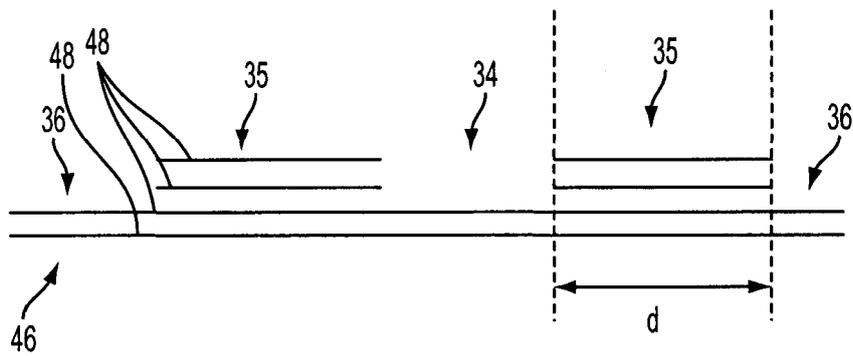


FIG. 5

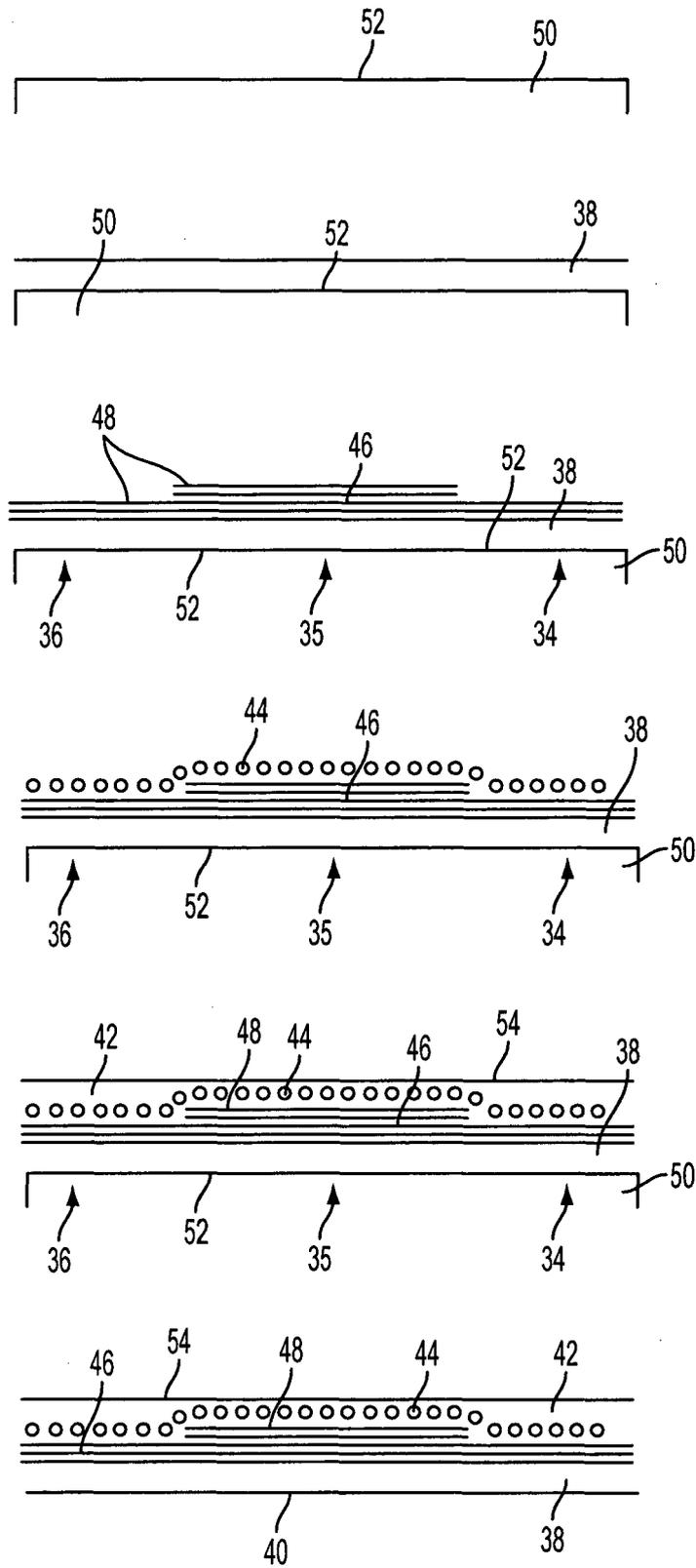


FIG. 6

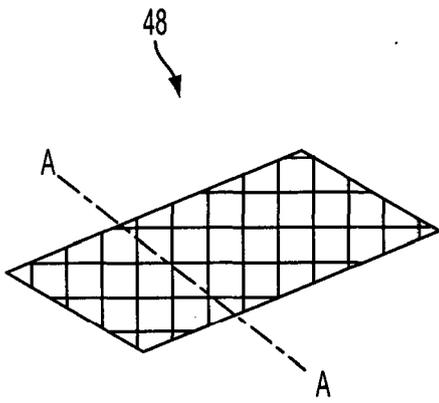


FIG. 7A

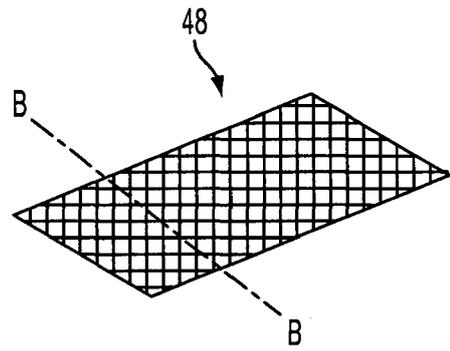


FIG. 7B



FIG. 7C



FIG. 7D

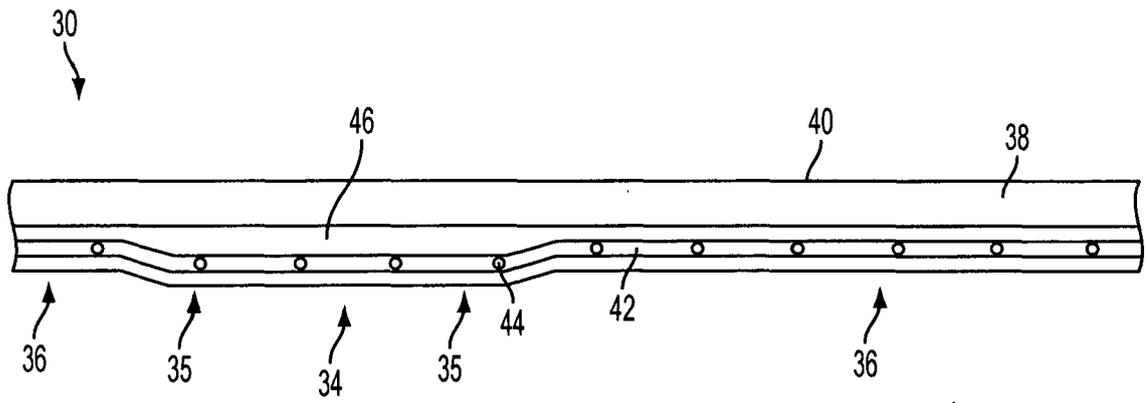


FIG. 8

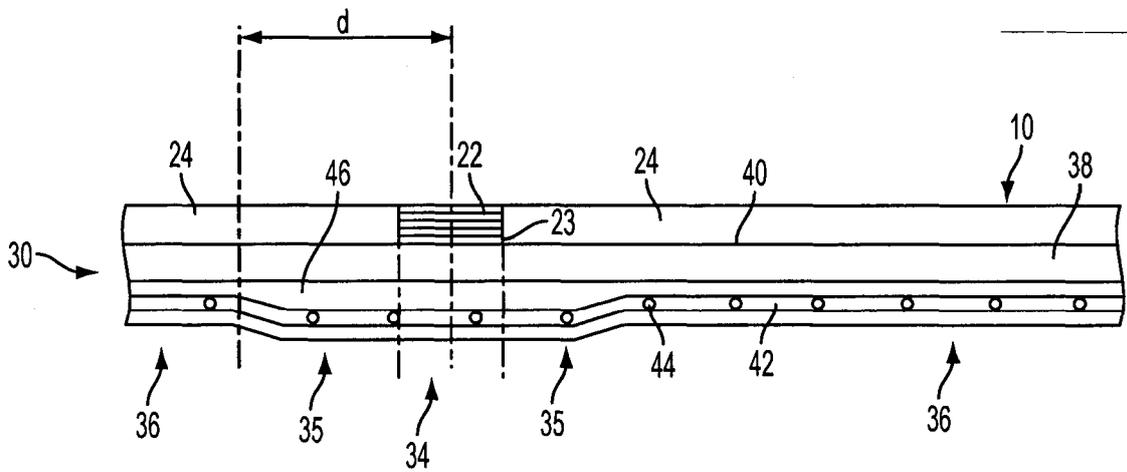


FIG. 9