

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 703 212**

51 Int. Cl.:

B29D 99/00 (2010.01)

F03D 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.05.2017** E 17170966 (0)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.10.2018** EP 3252303

54 Título: **Procedimiento para la determinación de un posicionamiento de una polea de pala de rotor, pala de rotor y aerogenerador**

30 Prioridad:

03.06.2016 DE 102016006632

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

07.03.2019

73 Titular/es:

**SENVION GMBH (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

FLACH, CHRISTIAN

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 703 212 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

5 Procedimiento para la determinación de un posicionamiento de una polea de pala de rotor, pala de rotor y aerogenerador

10 La invención se refiere a un procedimiento para la determinación de un posicionamiento de una polea de pala de rotor de un material reforzado con fibras en una semiconcha de una pala de rotor, que se extiende en dirección longitudinal desde una raíz de pala de rotor a una punta de pala de rotor, fabricándose la polea de pala de rotor de una o varias capas de un material compuesto de fibras rígido en un molde correspondiente a una superficie interior curvada de una semiconcha de la pala de rotor que se introduce a continuación en la semiconcha y se une a la superficie interior de la semiconcha, posicionándose a continuación unas almas de forma simétrica alrededor de un plano de alma plano y recto, que se extiende especialmente en dirección longitudinal de la pala de rotor y cruza la semiconcha, en la polea de pala de rotor para su unión a la polea de la pala de rotor. La invención se refiere además a una pala de rotor y a un aerogenerador.

15 Las poleas de pala de rotor se fabrican en muchos casos antes de su inserción y unión en las conchas o semiconchas de las palas de rotor. Para la fabricación se colocan normalmente unas capas de fibras seca de orientación unidireccional en moldes correspondientes. Los moldes de poleas reproduce la forma de la cara interior de la concha o semiconcha de la pala de rotor, en la que después se montará la polea. En muchos casos, el tejido de fibras seco se dota en el molde, mediante un procedimiento de infusión de resina, de una matriz de resina que se
20 seca antes de montar la polea terminada en la semiconcha de la pala de rotor. Como otros componentes estructurales de la pala de rotor se emplean almas que unen entre sí las semiconchas superior e inferior y los lados de succión y de presión de la pala de rotor. Dado que las poleas de pala de rotor constituyen componentes estructuralmente portantes de las semiconchas, las almas se unen a las poleas de pala de rotor del lado de succión y del lado de presión, por ejemplo mediante adhesión o laminado. Las almas, habitualmente un alma anterior y un
25 alma posterior, se desarrollan sin torsión en un plano a lo largo de toda la longitud de la pala de rotor y de forma simétrica respecto a un plano de alma que es plano y cuya orientación es independiente de una torsión constructiva del perfil de pala de rotor.

30 Dado que las almas se fijan con sus bases de alma en las poleas de pala de rotor del lado de presión y del lado de succión, la polea de pala de rotor se extiende normalmente también a lo largo del plano de alma. La línea central de la polea de pala de rotor se conduce a lo largo del plano de alma. En caso de utilización de materiales de fibras secos, esto no supone ningún problema, puesto que las capas de fibras secas son flexibles y se adaptan sin dificultad a la superficie interior curvada de la respectiva semiconcha.

35 El hecho de que el endurecimiento de la resina sea un proceso exotérmico supone un problema en la fabricación de poleas de pala de rotor. El calor distribuido a través de un gran volumen de la polea de pala de rotor puede dar lugar a la formación de ondas en el material de fibras, de modo que a continuación este material ya no se orienta de forma perfectamente paralela en toda la longitud de la polea. Esto influye negativamente en la resistencia a la tracción y, por consiguiente, en la compacidad estructural y en la funcionalidad de la polea de pala de rotor.

El documento DE 2951795 muestra todas las características según el preámbulo del objeto de la reivindicación independiente 1.

40 En los años pasados se han desarrollado técnicas de fabricación de poleas de pala de rotor a partir de materiales conformados, los así llamados compuestos pultruidos. Así se conoce por el documento US 2011/0243750 A1 el método de emplear, en lugar de tejidos secos de fibra de vidrio o preimpregnados, barras pultruidas de materiales reforzados de fibra. Estas barras pultruidas son de un material reforzado con fibras conformado en un procedimiento de pultrusión, en el que las fibras de vidrio o las fibras de carbono ya se han orientado en dirección paralela e insertado en una matriz de resina. Gracias al procedimiento de pultrusión presentan una orientación paralela ideal.
45 Las barras pultruidas se disponen muy cerca unas de otras, de manera que las barras formen la estructura de la polea de barra de rotor. Un ensamblaje posterior de las barras entre sí ya no provoca ondulaciones.

50 Sin embargo, estas capas de barras pultruidas presentan una rigidez mucho mayor que las capas de material de fibras seco empleado hasta ahora, especialmente frente a deformaciones o estirajes en el plano de la capa de material. Por este motivo puede ocurrir que la colocación de capas de material pultruido en el contorno del molde de polea con la superficie curvada que corresponde al contorno de la superficie interior de la semiconcha de pala de rotor a lo largo del plano de alma, dé lugar a que la o las capas ahora menos flexibles ya no puedan adaptarse sin problemas a la curvatura por rebasarse su tolerancia correspondiente a su rigidez frente a la deformación en el material.

55 Por lo tanto, la presente invención tiene por objeto fabricar poleas de pala de rotor con materiales reforzados de fibras más rígidos, que puedan adaptarse al contorno interior de una semiconcha de pala de rotor e insertarse sin pliegues ni dobleces en la respectiva semiconcha de pala de rotor.

La tarea en la que se basa la invención se resuelve por medio de un procedimiento para la determinación de un posicionamiento de una polea de pala de rotor de un material reforzado con fibras en una semiconcha de una pala

de rotor, que se extiende en una dirección longitudinal desde una raíz de pala de rotor a una punta de pala de rotor, fabricándose la polea de pala de rotor de una o varias capas de un material compuesto de fibras que presenta una rigidez en un molde, que corresponde a una superficie interior curvada de una semiconcha de la pala de rotor, y que a continuación se introduce en la semiconcha y se une a la superficie interior de la semiconcha, disponiéndose después unas almas alrededor de un plano de alma que se extiende en dirección longitudinal de la pala de rotor y cruza la semiconcha, especialmente de forma plana y sin torsiones, en la polea de pala de rotor, que se unen a la polea de pala de rotor, para lo que en un procedimiento de cálculo iterativo se calcula, en toda la longitud o en una sección parcial de la pala de rotor, un posicionamiento de tensión optimizada gracias a una rigidez determinada del material de la polea de pala de rotor frente a la deformación de la polea de pala de rotor en la semiconcha en forma de una pista de tensión optimizada a lo largo de la superficie interior curvada de la semiconcha.

La invención se basa en la idea principal de que, a la vista de la rigidez del material elegido, que se aplica en una o varias capas formando la polea de pala de rotor, se produce una diferencia con respecto al procedimiento anterior de posicionar la polea de pala de rotor a lo largo del plano de alma, dado que esta pista conduce en muchos casos a través de zonas de la pala de rotor, en la que ésta presenta una curvatura excesiva o una variación de la curvatura. En el caso de materiales más rígidos existe la posibilidad de rebasar una tolerancia de deformación intrínseca del material, de modo que se produzcan dobleces y pliegues en el material. La tolerancia de deformación resulta de la rigidez frente a recalcados y deformaciones del material. Un tejido de fibras seco presenta una tolerancia de deformación considerablemente mayor que un compuesto pultruido ya preconformado o preendurecido o endurecido, ya sea de una capa o de varias capas de barras pultruidas dispuestas unas al lado de otras o de una capa completa pultruida o una o varias capas correspondientes.

En su lugar se busca, según la invención, una pista o una trayectoria de la polea de pala de rotor que, al contrario que el procedimiento anterior, esté libre de tensiones o presente especialmente tensiones mínimas. Se emplea un procedimiento iterativo en el que la curvatura de la superficie interior de la semiconcha se considera localmente, de modo que las tensiones en las capas de material, aplicadas unas sobre otras y unidas para formar la polea de pala de rotor, se reducen al mínimo. La fórmula iterativa parte de un punto inicial, desde el cual se encuentran en pasos sucesivos una pista de pocas tensiones. Para ello se emplean criterios de tensión de tipo geométrico.

Las consideraciones geométricas correspondientes se basan en que, en el caso de una capa plana o en forma de tira, el grosor es reducido frente a su extensión de longitud y anchura, en que una deformación como ésta se expresa durante la colocación sobre o en una superficie curvada como torsión, similar a la torsión de un tejido en forma de cinta tejida con hilos de urdimbre en dirección longitudinal de la cinta y con hilos de trama transversalmente respecto a la misma. Las fibras unidireccionales del material de la polea corresponden a los hilos de urdimbre, mientras que su relación de capas, determinada por la inserción en una matriz de resina en dirección transversal a la dirección longitudinal, corresponde a los hilos de trama.

Una torsión de esta estructura conduce a que los "hilos de urdimbre" y los "hilos de trama" simbólicos ya no se desarrollen en línea recta ni se crucen en ángulo recto, similar a una combinación de una curvatura y de un cizallamiento, con lo que en este caso ésta última no mantiene la superficie. Otra consecuencia consiste en que los hilos de urdimbre contiguos o las fibras unidireccionales, que en dirección longitudinal de la polea de pala de rotor son paralelos, se recalcan en las zonas curvadas por uno de los lados de una llamada "fibra neutral", y se dilatan por el lado opuesto. Dado que en el material de polea no existen hilos de trama, el equivalente del recalco y de la dilatación se expresan, transversalmente respecto a la dirección de las fibras unidireccionales, en una tensión dentro del material de matriz.

Esta combinación de torsión, dilatación, recalco y tensión en el material, resumida en el marco de la presente invención como deformación, varía localmente en función del contorno local de la superficie en la que se coloca la capa. Debido a su rigidez, el material empleado sólo presenta una tolerancia limitada frente a una deformación de este tipo. Dado que se utilizan capas de material relativamente finas que se superponen para formar la polea de pala de rotor, resulta mucho más sencillo doblar el material alrededor de un eje situado en la superficie de la capa que alrededor de un eje perpendicular a la superficie. Si se rebasa la tolerancia de deformación se producen pliegues y dobleces.

El término de curvatura se emplea aquí también en relación con la superficie de la semiconcha en la que se introduce la polea de pala de rotor. En este sentido, el término de curvatura corresponde a una superficie en un espacio tridimensional que se puede describir a través de la curvatura de curvas en esta superficie.

El procedimiento según la invención se emplea preferiblemente para toda la longitud de la pala de rotor, pero también se puede usar sólo en una sección parcial de la pala de rotor en la que la curvatura local sea especialmente fuerte y ya no exista la posibilidad de una colocación convencional de la polea. En este caso se suma, como condición marginal, que la sección calculada se adapta de forma continua y sin dobleces al desarrollo normal de la polea.

Generalmente, el procedimiento según la invención se usará en el diseño de la pala de rotor y se empleará un modelo de las semiconchas de pala de rotor en el que se proceda al cálculo de la pista de tensión optimizada. La pista de tensión optimizada encontrada no será necesariamente la línea de unión más corta en la superficie interior curvada de la semiconcha, puesto que la línea de unión más corta, que también recibe el nombre de "geodésica", no presenta necesariamente una tensión moderada en relación con la anchura de la polea de pala de rotor. El

cálculo de la línea de unión más corta entre dos puntos de una superficie curvada es conocido y figura en muchos programas CAD como función.

El término de "distancia" se entiende y define en el marco de la presente invención como la longitud de la línea más corta entre dos puntos de la superficie curvada. Por lo tanto corresponde a la geodésica. Esta distancia será más larga que la distancia en línea recta a través del espacio tridimensional.

Una de las condiciones marginales en la colocación de una o varias capas del material reforzado con fibras de la polea es que la anchura del material de polea, tal como se inserta en la superficie interior curvada, se mantenga, pudiéndose producir un ligero estrechamiento como consecuencia de una deformación del material. Debido a su rigidez, el material opone una gran resistencia a la deformación, de modo que la deformación de capas de barras pultruidas o en forma de capas pultruidas completas puede ser reducida.

Preferiblemente, una posible pista de tensión optimizada de la polea de pala de rotor comienza con un punto inicial global y con un ángulo inicial, avanzando el cálculo de la pista de manera iterativa en secciones de pista sucesivas A_i con una longitud de sección de pista L_i respectivamente predefinida o calculada en dirección a un último punto final global a determinar en un último paso de iteración, formándose una pista de línea central c y dos pistas de fibras de borde a , b , que se desarrollan a lo largo de la superficie interior de la semiconcha y que representan la línea central geométrica y los cantos anterior y posterior de la polea de pala de rotor, desarrollándose las pistas de fibras de borde a , b en ambos lados a una distancia geodésica lateral predeterminada en la superficie interior curvada de la semiconcha respecto a la pista de línea central c , empleándose los puntos finales locales de la sección de pista de línea central c_i y/o de las secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i , calculados en un paso iterativo i , en el paso iterativo siguiente $i + 1$, como puntos iniciales locales, considerándose como condición marginal que las secciones de pista a_{i+1} , b_{i+1} , c_{i+1} en el punto inicial local siguen respectivamente de forma continua y sin doblez a las secciones de pista a_i , b_i , c_i . Los conceptos de pista de línea central y de pistas de fibras de borde son representaciones de la polea de pala de rotor, en concreto de su línea central así como de sus cantos anterior y posterior, visto en dirección de profundidad del perfil de la pala de rotor. Debido a las características mecánicas y físicas del material de pala de rotor, los cantos anterior y posterior de la polea de pala de rotor tienen una relación de posición definida entre sí, por lo que las pistas de la línea central y de las dos fibras de borde no pueden ser independientes las unas de las otras.

En el procedimiento iterativo también se tiene que cumplir en cada paso la condición marginal de que las distintas pistas sigan sin costura ni doblez, es decir, de forma continua, a las secciones de pista de los pasos iterativos respectivamente anteriores. De este modo resulta también una línea continua y sin curvas desde el punto inicial al punto final. El punto inicial se puede encontrar en la zona de la raíz de la pala de rotor y el procedimiento se puede calcular en dirección a la punta de la pala de rotor, o viceversa, desde la punta de la pala de rotor a la raíz de la pala de rotor o, de manera correspondiente, en la sección parcial de la pala de rotor en la que en la que sea necesaria la desviación de la colocación tradicional. Esta limitación a una sección parcial necesaria puede acortar el tiempo de cálculo preciso.

La longitud de sección de pista L_i se calcula ventajosamente en el transcurso de la iteración para cada sección de pista A_i siguiente como función de la curvatura ascendente de la superficie interior de la semiconcha, eligiéndose en las zonas de curvatura más fuerte la longitud de sección de pista L_i más corta que en las zonas de curvatura menor. La función puede ser, por ejemplo, una función escalonada en la que se almacenan diferentes escalones de longitud, por ejemplo 1 m en zonas planas, 0,5 m en zonas moderadamente curvadas y 0,25 m en zonas fuertemente curvadas de la superficie interior de la semiconcha. Estos valores han de entenderse como ejemplos, pero en comparación con la escala de la curvatura de las palas de rotor representan un escalonamiento posible. Alternativamente, la amplitud de los pasos puede depender de una medida continua, es decir, sin saltos, de la curvatura en la sección anterior de la semiconcha, por ejemplo con referencia a un radio de curvatura central de la superficie interior de la semiconcha a lo largo de los 10, 20 o 50 cm siguientes. Así, manteniendo una alta precisión del cálculo de pistas, se puede acortar el tiempo de cálculo en zonas complicadas y fuertemente curvadas aumentando la amplitud de paso en las zonas poco curvadas, con lo que se necesitan menos pasos de iteración.

En cada paso de iteración del procedimiento iterativo la deformación del material de polea se reduce ventajosamente al mínimo, reduciéndose especialmente un recalcado o una dilatación del canto anterior y/o del canto posterior del material de polea y/o un desplazamiento longitudinal de fibras en el material de polea.

En una forma de proceder ventajosa se calcula en cada paso iterativo i , partiendo del punto inicial local de la línea central c , una sección de pista de tensión optimizada $A_{i, opt}$ de entre una cantidad de secciones de pista A_i posibles, que a su vez se determinan calculando posibles secciones de pista de línea central c_i de la longitud de sección de pista L_i con posibles puntos finales locales, determinándose en primer lugar, en relación con cada sección de pista de línea central c_i , una línea final a lo largo de la superficie interior de la semiconcha que se desarrolla en ángulo recto con respecto a la respectiva sección de pista de línea central c_i posible a través de su punto final local, determinándose a continuación secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i , fijando en la línea final determinada, a la distancia lateral predeterminada respecto al punto final de la posible sección de pista de línea central c_i , puntos finales correspondientes de secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i y calculándose a continuación secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i entre los puntos iniciales locales y los puntos finales de las secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i que tienen respectivamente una distancia lateral predeterminada respecto a la posible sección de pista de línea central c_i , determinándose a continuación, a partir de las secciones de pista A_i posibles, una sección

de pista de tensión optimizada $A_{i, opt}$, en la que una diferencia de las longitudes de las dos secciones de pista de fibras de borde a_i, b_i en la sección de pista $A_{i, opt}$ sea menor que en las otras secciones de pista A_i posibles, especialmente mínima.

5 Esta forma de proceder reduce la problemática de la deformación al concepto de que, en un principio, se asume la parte de la torsión o deformación que se expresa brevemente en una dilatación o en un recalco de fibras del material de polea en dirección longitudinal de las palas de rotor, mientras que en ángulo de cruce respecto a los "hilos de trama" se mantenga en un ángulo recto, lo que significa que se impide un desplazamiento longitudinal relativo entre sí de las fibras contiguas en el material de polea. Este ángulo recto de cruce viene determinado por la manera de formar la sección de pista, y la dilatación y el recalco del material en dirección longitudinal de la banda de material se reduce al mínimo gracias a la reducción al mínimo de la diferencia de longitud entre las secciones de pista de fibras de borde.

10 En el caso de este procedimiento de iteración se considera para cada sección de pista anterior una cantidad o un grupo de secciones de pista de línea central posibles. Estas secciones de pista de línea central posibles tienen en común que las secciones de pista siguen, por una parte, de forma constante a la sección de pista de la iteración anterior y que, por otra parte, tienen la misma longitud y la misma medida de arco en la superficie curvada. Una posible forma de proceder consiste en continuar en principio, partiendo del punto inicial local, en la misma dirección hasta alcanzar la respectiva distancia o la longitud de pista predeterminada y en calcular para las demás secciones de pista posibles una curvatura propia progresiva de la línea central en ambas direcciones de la dirección central. Las posibles secciones de pista que difieran de la dirección central o de la dirección en línea recta provocarían en una superficie plana una longitud diferente de las dos secciones de pista de fibras de borde. Sin embargo, teniendo en cuenta que las secciones de pista de fibras de borde se desarrollan igualmente en la superficie interior curvada de la semiconcha, se observa con más frecuencia una pista, en la que las dos secciones de pista de fibras de borde tienen la misma longitud o al menos una diferencia de longitud mínima, que en una pista, en la que la línea central difiere de la dirección en línea recta.

15 El criterio de la mínima diferencia de longitud de las secciones de pista de fibras de borde es equivalente a una deformación mínima de las capas del material de polea, dado que ya se presupone en el cálculo el otro criterio del ángulo recto de cruce. Esta deformación mínima significa que se introduce un número especialmente reducido de tensiones en el material de polea y, por lo tanto, un desarrollo con pocas tensiones de la polea. No obstante, todavía se puede producir una cierta deformación por el hecho de que el material de polea se coloca a lo largo de una superficie curvada. De todos modos, esta deformación se reduce claramente en comparación con el estado de la técnica.

20 En una forma de realización ventajosa alternativa se determinan en cada paso iterativo i , partiendo de los puntos iniciales locales de las secciones de pista de fibras de borde a_i, b_i , pares iguales de secciones de pista de fibras de borde a_i, b_i , cuya distancia en la superficie interior curvada de la semiconcha corresponde a la anchura de la polea de pala de rotor guiada de forma correspondiente, calculándose a continuación, a partir de los pares de secciones de pista de fibras de borde a_i, b_i posibles, una sección de pista $A_{i, opt}$ de tensión optimizada, en la que un valor de un ángulo de cruce entre una línea final que pasa por puntos finales locales de las secciones de pista de fibras de borde a_i, b_i y una sección de pista de fibras de borde a_i, b_i o entre una sección de pista de línea central c_i situada entre las secciones de pista de fibras de borde a_i, b_i , difiera en menos de 90° que en otros pares posibles, siendo especialmente igual a 90° .

25 Desde el punto de vista geométrico, esta segunda alternativa se diferencia de la primera alternativa en que el ángulo de cruce se reduce al mínimo, mientras que cualquier recalco y dilatación de la fibra de borde o del canto anterior y/o del canto posterior del material de polea ya se impide a la hora de formar posibles secciones de pista. Por lo tanto, el desplazamiento longitudinal relativo de las fibras unidireccionales entre sí se permite, pero también se reduce al mínimo. Como consecuencia, las dos alternativas se complementan.

30 Así, en esta segunda alternativa, y al contrario que en la alternativa antes citada, la longitud de las secciones de pista de fibras de borde ya se mantiene igual en cada paso de iteración. De este modo el criterio de minimización de la primera alternativa se convierte en condición marginal fija de esta segunda alternativa. Una de las consecuencias consiste en que la línea final, que pasa por los dos puntos finales de las secciones de pista de fibras de borde, ya no se desarrolla en ángulo recto respecto a las secciones de pista de fibras de borde y a la sección de pista de línea central resultante entre las mismas. Aquí se ve la deformación que se produce en las capas del material durante su colocación en el molde. El ángulo, en el que la línea final así formada cruza las secciones de pista de fibras de borde, puede variar de un paso de iteración a otro. La línea central resulta, a través de la medida de arco, por encima de la línea de unión, entre las secciones de pista de fibras de borde. El ángulo de cruce se puede reducir al mínimo como criterio de optimización a la hora de seleccionar las secciones de pista posibles.

35 En el cálculo de secciones de pista de fibras de borde posibles se puede determinar, en primer lugar, una sección de pista de fibras de borde con una longitud de pista correspondiente predeterminada o calculada, por ejemplo la que representa el canto anterior o el canto posterior del material de polea de pala de rotor, y después la sección de pista de fibras de borde paralela correspondiente del par, que cumpla la distancia exigida respecto a la sección de pista de fibras de borde determinada en primer lugar y presente la longitud correspondiente.

Las dos modalidades de cálculo alternativas pueden dar lugar a resultados que difieran ligeramente los unos de los otros, dado que los criterios de cálculo y las condiciones marginales, por una parte, y los criterios de optimización, por otra parte, se cambian. Sin embargo, en la mayoría de los casos serán muy parecidos o coincidentes. Especialmente en el caso de una amplitud de paso reducida, se aproximarán mucho unos a otros, dado que se basan en las mismas reflexiones y en los mismos criterios. En el caso de estos criterios se trata, por un lado, de la diferencia de longitud de las secciones de pista de fibras de borde y, por otro lado, del ángulo de cruce de la línea final de un paso de iteración con las secciones de pista de línea central o secciones de pista de fibras de borde del respectivo paso de iteración. Los dos criterios son respectivamente un aspecto de la deformación del material.

Además resulta ventajoso unir las dos alternativas. A estos efectos, tanto los ángulos de cruce como la diferencia de longitud de las secciones de pista de fibras de borde se dejan abiertos como variables de optimización. Según la primera alternativa, se puede calcular en primer lugar una sección de pista de línea central de longitud definida, y definir después las líneas finales bajo ángulos de cruce variables, en las que se calculan los respectivos puntos finales para las secciones de pista de fibras de borde posibles y, a partir de los mismos, las secciones de pista de fibras de borde, cuya diferencia de longitud se debe reducir, a su vez, al mínimo. En el caso ideal se obtendrá, para cada sección de pista de línea central posible, una combinación de ángulos de cruce en lo posible rectos, y de una diferencia de longitud lo más reducida posible de las secciones de pista de fibras de borde.

Por otra parte, también se puede proceder partiendo de las secciones de pista de fibras de borde, siendo posible variar ligeramente la longitud de la segunda sección de pista de fibras de borde frente a la longitud de la primera sección de pista de fibras de borde, reduciéndose de nuevo al mínimo el ángulo de cruce de la línea final a través de los puntos finales de las dos secciones de pista de fibras de borde o de la sección de pista de línea central. En la combinación de los dos valores, a saber, el ángulo de cruce y la diferencia de longitud de las secciones de pista de fibras de borde, se tiene que buscar un valor óptimo.

En ambos casos es posible comparar los mínimos locales respectivamente conseguidos en el ángulo de cruce y en la diferencia de longitud con las tolerancias conocidas del material de polea empleado en relación con estas dos variantes, por lo que gracias a la combinación se pueden encontrar en algunos casos soluciones que no se hubieran podido encontrar solamente con las dos primeras alternativas. Esto se debe a que en algunos casos resulta menos favorable que una variable a optimizar ya se ajuste a un valor óptimo, dado que así cabe la posibilidad de que se impida en caso dado alcanzar un valor aceptable en la otra variante. En muchos casos, el resultado del procedimiento combinado mencionado en último lugar estará entre los resultados de las dos últimas alternativas indicadas.

En todas las alternativas, la pista de tensión optimizada encontrada se desplazará con preferencia posteriormente por secciones y de forma lateral en dirección hacia el plano de alma hasta que las almas se posicionen en toda su longitud en la polea de pala de rotor, si la pista de tensión optimizada encontrada no permite hacerlo por secciones. También en este caso se tiene que tener en cuenta la rigidez intrínseca del material de polea al colocarlo en el molde. Si el desplazamiento lateral de secciones de la pista de tensión optimizada provoca la superación de la tolerancia de deformación del material, la pista de tensión optimizada encontrada se tiene que desechar como inadecuada.

Preferiblemente es el procedimiento de cálculo iterativo el que calcula pistas posibles de los puntos iniciales globales variables y/o bajo ángulos iniciales variables, determinándose a partir de la cantidad de pistas posibles encontrada una pista de tensión optimizada, que en comparación con otras pistas posibles requiera menos o el menor número de correcciones para el posicionamiento de las almas en la polea de pala de rotor.

Con preferencia se cambia el molde de la semiconcha cuando el procedimiento de cálculo iterativo no lleva a ningún resultado que permita colocar las capas de material compuesto de fibras, a la vista de sus características de rigidez, sin pliegues ni dobleces a lo largo de la pista de tensión optimizada y, en su caso, localmente desplazada hacia un lado, en un molde. Estos pliegues y dobleces se producen cuando se rebasa la tolerancia de deformación del material de polea.

La tarea, en la que se basa la invención, se resuelve también por medio de una pala de rotor con una polea de pala de rotor cuya conformación ha sido calculada en un procedimiento según la invención antes descrito y que se ha fabricado o se fabrica sin pliegues ni dobleces en un molde para la polea de pala de rotor, difiriendo la línea central de la polea de pala de rotor en el transcurso de la dirección longitudinal de la pala de rotor, al menos por secciones, de manera variable respecto al plano de alma. Por lo tanto, una polea de pala de rotor calculada y fabricada según la invención se tiene que diferenciar de poleas de pala de rotor colocadas convencionalmente, cuya línea central, es decir, el centro geométrico entre los cantos anteriores y los cantos posteriores de la polea de pala de rotor, se desarrolla siempre en el plano de alma y que, por consiguiente, no presenta ninguna distancia variable respecto al plano de alma. Otra característica visible consiste en la variación del saliente de la polea con respecto a las almas.

Con preferencia, la o las capas del material compuesto de fibras comprende/n una o varias capas de barras pultruidas dispuestas unas al lado de otras y/o una o varias capas pultruidas con fibras unidireccionales insertadas en un material de matriz endurecible o endurecido, especialmente fibras de vidrio y/o fibras de carbono, o se compone/n de las mismas.

La tarea, en la que se basa la invención, se resuelve también por medio de un aerogenerador con al menos una pala de rotor según la invención antes descrita.

Los objetos de la invención, es decir, el procedimiento, la pala de rotor y el aerogenerador, presentan respectivamente las ventajas, características y propiedades descritas en relación con los otros objetos de la invención.

5 Otras características de la invención se desprenden de la descripción de formas de realización según la invención en combinación con las reivindicaciones y los dibujos adjuntos. Las formas de realización según la invención pueden presentar algunas de las características o una combinación de varias características.

La invención se describe a continuación sin limitación de la idea inventiva general a la vista de ejemplos de realización y con referencia a los dibujos, señalándose estos dibujos expresamente en relación con todos los detalles no explicados específicamente en el texto. Se muestra en la

10 Figura 1 una representación esquemática de la estructura de una pala de rotor;

Figura 2 representaciones esquemáticas de la posición de la polea a lo largo de una pala de rotor;

Figura 3 una representación esquemática del desarrollo de una polea de pala de rotor que difiere de un plano de alma;

15 Figura 4 una representación esquemática de una primera alternativa según la invención de un procedimiento de determinación de la posición de polea;

Figura 5 una representación esquemática de una segunda alternativa según la invención de un procedimiento de determinación de la posición de polea;

Figura 6 una vista en perspectiva de una semiconcha de pala de rotor con plano de alma y posición de polea de tensión optimizada.

20 En los dibujos, los elementos y/o las piezas respectivamente iguales o similares se identifican con las mismas referencias, por lo que se prescinde respectivamente de una nueva presentación.

25 En la figura 1 se representa esquemáticamente la estructura de una pala de rotor. En la mitad izquierda de la imagen se representa una vista sobre una semiconcha 22 de un lado de presión de una pala de rotor 10, que se extiende desde una raíz de pala de rotor 12 hasta la punta de pala de rotor 14. También se señalan un canto anterior de perfil 16 y un canto posterior de perfil 18. El canto posterior de perfil 18 se transforma en la zona de la raíz de pala de rotor 12 en un canto posterior romo 24, dado que el propio perfil aerodinámico no continúa estructuralmente en este punto.

30 La pala de rotor 10 es atravesada, desde la raíz de pala de rotor 12 hasta la punta de pala de rotor 14, por un plano de alma 30 que se desarrolla perpendicular al plano de pala y que por toda la longitud de la pala de rotor 10 es recto y no presenta torsión.

35 En la mitad derecha de la imagen de la figura 1 la pala de rotor 10 se muestra en sección transversal de perfil. Se trata de una sección transversal cerca de la raíz de pala de rotor 12. El perfil se extiende desde un canto anterior de perfil 16 hasta el canto posterior romo 24 y comprende 2 semiconchas, en concreto la semiconcha 20 del lado de succión y una semiconcha 22 del lado de presión. También se ha trazado el plano de alma 30. Alrededor del mismo se han dispuesto simétricamente en dirección al canto posterior de perfil 16 y al canto posterior romo 24, dos almas 32, 34 orientadas respectivamente de forma paralela al plano de alma 30, que presentan bases de alma 36 por sus extremos superior e inferior, con las que se pegan o laminan en poleas de pala de rotor no representadas.

40 En la mitad izquierda, la figura 2 muestra esquemáticamente una vista sobre una semiconcha 22 representada esquemáticamente de una pala de rotor 10, en la que se ha insertado de manera conocida una polea de pala de rotor 42, cuya línea central se desarrolla en el plano de alma 30. En la mitad derecha de la imagen se ilustran 2 cortes de perfil a lo largo de los planos de corte B-B y A-A. En la parte inferior El corte A-A representa un corte en la zona del lado de la raíz de la pala de rotor 10. En esta zona, el perfil se tuerce frente a la zona exterior en dirección a la punta de pala 14. En este corte de perfil se representan 2 poleas principales 40, 42 para el lado de succión 20 y el lado de presión 22 de la pala de rotor 10, que se encuentran con su centro respectivamente en el plano de alma 30.

45 Como se puede ver especialmente en la parte inferior a la vista de la polea principal 42, la polea principal 42 se encuentra en una superficie curvada y oblicua en relación con el plano de alma 30. La curvatura de esta superficie da lugar a que el canto anterior 50 de la polea principal 42 se encuentre a más distancia del plano de alma 30 que el canto posterior de polea 52, calculada como distancia más corta respecto al plano de alma 30. Por lo tanto, perpendicular al plano de alma 30 la polea principal 40 presenta en la proyección, por el lado de succión 20, una extensión mayor que la polea principal 42 del lado de presión 22.

50 En la representación mostrada en la parte superior de la mitad derecha de la imagen de un corte perfilado a lo largo del plano de corte perfilado B-B, en una zona dispuesta más cerca de la punta de pala de rotor 14 de la pala de rotor 10, se puede reconocer que en esta zona la curvatura de las semiconchas 20, 22 es menos pronunciada y que las poleas de pala de rotor 40, 42 se han situado mientras tanto de forma fundamentalmente perpendicular respecto al plano de alma 30. En esta zona la colocación de las capas, a partir de las cuales se conforma la polea, resulta más sencilla que en la zona más curvada por el lado de la raíz de la pala de rotor. También es mucho más fácil encontrar un desarrollo de poca tensión o sin tensión.

En la figura 3 se muestra esquemáticamente un posible posicionamiento de una polea de pala de rotor 42 en una semiconcha 22 del lado de presión, cuya línea central 44 difiere del plano de alma 30. También se representan los cantos de polea anterior y posterior 50, 52 paralelos a la línea central 44. Como se puede ver en la mitad izquierda de la imagen. Estas líneas características de la polea principal 42 describen un arco que representa el trayecto más corto o la geodésica en la superficie. Como se reconoce en la mitad derecha de la imagen en ampliaciones de secciones, el punto inicial 46 y el punto final 48 de la línea central 44 de la polea principal 42 ya no se encuentran en este caso en el plano de alma 30. La línea central 44 cruza el plano de alma 30 en dos puntos. Sin embargo, esta unión más corta entre la raíz de la pala de rotor 12 y la punta de la pala de rotor 14 no presenta necesariamente una tensión reducida.

En la figura 4 se ilustra una primera alternativa de un procedimiento según la invención para la determinación de un posicionamiento de una polea de pala de rotor 60 en una semiconcha 22 de una pala de rotor 10. La figura 4a) muestra el desarrollo de la polea de tensión optimizada 60 en la extensión longitudinal de la pala de rotor 10 con líneas transversales, que representan una deformación local del material de polea. En este caso, las líneas transversales son respectivamente perpendiculares al desarrollo local de la línea central 44.

El procedimiento iterativo de esta alternativa se representa en la figura 4b). El desarrollo de la polea 42 se divide en secciones de pista A_i , de las que se muestran cinco secciones A_1 a A_5 . En cada sección de pista A_i la polea 42 se representa por medio de una sección de pista de línea central c_i así como por medio de secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i paralelas a la anchura 54 de la polea principal 42. En cada sección de pista A_i las secciones de pista a_i , b_i , c_i comienzan respectivamente en un punto inicial 76 y terminan en un punto final 78, que constituye respectivamente el punto inicial 76 de la sección correspondiente de la siguiente fase de iteración. Por los puntos finales 78 de las secciones de pista a_i , b_i , c_i pasa una línea final 80. Así resulta un dibujo análogo a los hilos de urdimbre e hilos de trama de un tejido.

En la alternativa mostrada en la figura 4b) del procedimiento según la invención se busca, partiendo respectivamente de un punto inicial local 76, una sección de pista de línea central c_i que tenga una longitud L_i definida. A continuación se calcula, por medio del punto final 78 de esta sección de pista de línea central c_i encontrada, la línea final 80 con la condición de que ésta se desarrolle perpendicular a la sección de pista de línea central c_i . En la línea final 80 se marcan después, con las distancias conocidas según la anchura de polea 54, los puntos finales 78 para las secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i y se calculan las secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i entre sus puntos iniciales actuales 76 y los puntos finales 78. Debido a la curvatura de la superficie de la semiconcha 22, la longitud de las secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i será en la mayoría de los casos diferente. Esta diferencia de longitud se reduce al mínimo para un desarrollo de polea con la menor tensión posible. Para ello se calcula en cada paso de iteración una pluralidad de desarrollos de sección de polea posibles y se elige el desarrollo de sección de polea en el que la diferencia de longitud de las secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i sea mínima. Este procedimiento presupone una capacidad de dilatación o recalado del material y reprime desplazamientos entre las fibras contiguas del material de polea en dirección longitudinal.

La figura 5 muestra el procedimiento alternativo, mostrándose en la figura 5a) de nuevo una semiconcha de pala de rotor 22 con un plano de alma, y mostrándose en la figura 5b) una estructura como la de la figura 4b), que ilustra el procedimiento iterativo alternativo. En este caso se determinan, en cada paso de iteración, las secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i con la condición marginal de que la longitud de las secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i entre sí sea la misma. De este modo se establece como condición marginal que las fibras del material de polea prácticamente no se puedan comprimir ni dilatar. De nuevo resultan puntos finales 78 por los que pasa respectivamente una línea final 80. El ángulo de cruce de la línea final 80 con las secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i así como con la sección de pista de línea central c_i , depende del desarrollo de la pista y no se fija en 90° . Puede variar de un paso de iteración a otro (α , β , y ...) y constituye respectivamente un criterio de selección entre diferentes secciones de pista posibles, eligiéndose la sección de pista posible en la que el ángulo de cruce se acerque más a 90° .

En los procedimientos alternativos mostrados en las figuras 4 y 5, el ángulo de cruce y la diferencia de longitud de las secciones de pista de fibras de borde se reducen así al mínimo, fijándose respectivamente una de las dos variables, debido a la manera de conformación de las secciones de pista posibles, en un valor óptimo. Un ángulo de cruce óptimo de 90° , con una diferencia de longitud de las secciones de pista de fibras de borde que al mismo tiempo desaparece, significa una polea óptima sin deformación. Esto no se puede conseguir en la práctica. A causa de la forma de proceder ligeramente distinta, los dos procedimientos alternativos registrarán resultados ligeramente diferentes.

En algún caso se consigue ocasionalmente un resultado todavía mejor si las dos variables se emplean como variables de optimización y si no se establecen ya en el cálculo de las secciones de pista posibles. Según la primera alternativa de la figura 4, esto se logra permitiendo una variación del ángulo de cruce de la línea final 80 con la sección de pista de línea central c_i formada en primer lugar en 90° , con lo que se produce en un espacio paramétrico 2-dimensional una aproximación a una deformación mínima. A la inversa, se puede emplear el procedimiento representado en la figura 5, en el que la diferencia de longitud entre las dos secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i conformadas en primer lugar se puede variar ligeramente cambiando la longitud de la sección de pista de fibras de borde creada como segunda sección, es decir, haciéndola más larga o más corta que la sección de pista de fibras de borde creada en primer lugar. Como consecuencia cambia también el ángulo de cruce de la línea final 80 con las

fibras que se desarrollan en dirección longitudinal de la polea, con lo que resulta de nuevo una optimización bidimensional.

La optimización bidimensional tiene además la ventaja de permitir soluciones que no se pueden encontrar con un procedimiento de optimización unidimensional según las primeras dos alternativas, dado que la obligación de mantener una de las dos variables de optimización de forma fija en un valor óptimo, puede dar lugar a que en la otra variable no se pueda encontrar ninguna solución compatible con las circunstancias de la rigidez del material de polea. Sin embargo, en el caso de la optimización bidimensional se incrementa el trabajo de cálculo.

En el cálculo, el punto inicial global se puede encontrar en la raíz de la pala de rotor 12 o en la punta de la pala de rotor 14 y se pueden emplear diferentes puntos iniciales, situados muy cerca los unos de los otros, como puntos de partida del procedimiento de cálculo iterativo. Cada uno de los puntos iniciales generará una solución, siendo posible compararlas y seleccionar de entre ellas una pista optimizada. La condición marginal es que la pista seleccionada permita, en su caso mediante desplazamiento de la polea en dirección de profundidad del perfil, que las almas 32, 34 se puedan disponer realmente en la polea 40, 42.

La figura 6 muestra esquemáticamente una vista en perspectiva desde la raíz de la pala de rotor 12 al interior de la semiconcha 22 del lado de succión de una pala de rotor 10. El canto anterior del perfil 16 se representa a la derecha de la imagen, el canto posterior del perfil 18 a la izquierda. El plano de alma 30 se ha trazado en línea recta desde el centro de la raíz de la pala de rotor 12 a la punta de la pala de rotor 14. También se ha dibujado una línea central 44, así como el canto anterior 50 y el canto posterior 52 de una polea de pala de rotor 42, cuyo desarrollo se ha calculado en un procedimiento según la invención. Se puede ver perfectamente que la polea de pala de rotor 42 difiere con su línea central 44 claramente del plano de alma 30, precisamente en dirección al canto anterior 52 en la zona del lado de la raíz y hacia el canto posterior 52 en la zona del lado de la punta de la pala.

Todas las características indicadas, también las que se deducen de los dibujos así como características individuales reveladas en combinación con otras características, se consideran esenciales para la invención, tanto por sí solas como en combinación. Las formas de realización según la invención pueden presentar algunas de las características o una combinación de características. En el marco de la invención, las características identificadas con "especialmente" o "preferiblemente" han de entenderse como características facultativas.

Lista de referencias

10	Pala de rotor
30	12 Raíz de pala de rotor
	14 Punta de pala de rotor
	16 Canto anterior de perfil
	18 Canto posterior de perfil
	20 Semiconcha del lado de succión
35	22 Semiconcha del lado de presión
	24 Canto posterior romo
	26 Superficie interior curvada de la semiconcha
	30 Plano de alma
	32, 34 Alma
40	36 Base de alma
	40 Polea principal del lado de succión
	42 Polea principal del lado de presión
	44 Línea central de la polea de pala de rotor
	46 Punto inicial
45	48 Punto final
	50 Canto anterior de polea
	52 Canto posterior de polea
	54 Anchura de polea
	60 Polea de pala de rotor en posición optimizada
50	70 Sección de pista de línea central

ES 2 703 212 T3

- 72, 74 Sección de pista de fibras de borde
- 76 Puntos iniciales
- 78 Puntos finales
- 80 Línea final

5

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la determinación de un posicionamiento de una polea de pala de rotor (40, 42, 60) de un material reforzado con fibras en una semiconcha (20, 22) de una pala de rotor (10), que se extiende en dirección longitudinal desde una raíz de pala de rotor (12) a una punta de pala de rotor (14), fabricándose la polea de pala de rotor (40, 42, 60) de una o varias capas de un material compuesto de fibras rígido en un molde correspondiente a una superficie interior curvada (26) de una semiconcha (20, 22) de la pala de rotor (10) e introduciéndose la misma a continuación en la semiconcha (20, 22) para su unión a la superficie interior (26) de la semiconcha (20, 22), posicionándose a continuación unas almas (32, 34) de forma simétrica alrededor de un plano de alma (30) plano y recto, que se extiende especialmente en dirección longitudinal de la pala de rotor (10) y que cruza la semiconcha (20, 22) especialmente en toda la longitud de la pala de rotor (10), en la polea de pala de rotor (40, 42, 60) para su unión a la polea de la pala de rotor (40, 42, 60), caracterizado por que en un procedimiento de calculo iterativo se calcula, en una longitud completa o en una sección parcial de la pala de rotor (10), un posicionamiento de la polea de pala de rotor (40, 42, 60), de tensión optimizada gracias a la rigidez del material de la polea de pala de rotor (40, 42, 60), en la semiconcha (20, 22) en forma de una pista de tensión optimizada, a lo largo de la superficie interior curvada (26) de la semiconcha (20, 22).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que una pista de tensión optimizada posible de la polea de pala de rotor (40, 42, 60) comienza con un punto inicial global y con un ángulo inicial respecto al plano de alma (30), avanzando el cálculo de la pista de forma iterativa en secciones de pista sucesivas A_i con una longitud de sección de pista L_i respectivamente predeterminada o calculada en dirección a un punto final global a determinar en el último paso de iteración, formándose una pista de línea central c y dos pistas de fibras de borde a , b que se extienden a lo largo de la superficie interior (26) de la semiconcha (20, 22) y que representan la línea central geométrica (44) y el canto anterior (50) y el canto posterior (52) de la polea de pala de rotor (40, 42, 60), desarrollándose las pistas de fibras de borde a , b en ambos lados, a una distancia lateral predeterminada, en la superficie interior curvada (26) de la semiconcha (20, 22) desde la pista de línea central c_i (70), empleándose puntos finales locales (78) de la sección de pista de fibras de borde a_i , b_i (72, 74) calculados en un paso iterativo i , en el paso iterativo siguiente $i + 1$, como puntos iniciales locales (76), considerándose como condición marginal que las secciones de pista a_{i+1} , b_{i+1} , c_{i+1} (70, 72, 74) en el punto inicial local (76) sigan respectivamente de forma continua y sin doblez a las secciones de pista a_i , b_i , c_i (70, 72, 74).
3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado por que la longitud de sección de pista L_i se calcula en el transcurso de la iteración para cada sección de pista A_i siguiente como función de la curvatura de la superficie interior (26) de la semiconcha (20, 22), eligiéndose la longitud de sección de pista L_i en las zonas de curvatura más pronunciada más corta que en las zonas de menor curvatura.
4. Procedimiento según la reivindicación 2 o 3, caracterizado por que en cada paso de iteración del procedimiento iterativo se reduce al mínimo una deformación local del material de polea, minimizándose especialmente un recalado o una dilatación del canto anterior y/o del canto posterior del material de polea y/o un desplazamiento longitudinal de fibras contiguas en el material de polea.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizado por que en cada paso iterativo i , partiendo del punto inicial local (76) de la línea central c (44), se calcula una sección de pista de tensión optimizada $A_{i, opt}$ de entre una cantidad de secciones de pista posibles A_i , que a su vez se determinan calculando posibles secciones de pista de línea central c_i (70) de la longitud de sección de pista L_i con posibles puntos finales locales (78), determinándose en primer lugar, para cada sección de pista de línea central posible c_i (70), una línea final (80) a lo largo de la superficie interior (26) de la semiconcha (20, 22) que pasa en ángulo recto respecto a la respectiva sección de pista de línea central posible c_i (70) por su punto final local (78), determinándose a continuación secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i (72, 74), fijando en la línea final (80) a la distancia lateral predeterminada respecto al punto final (78) de la posible sección de pista de línea central c_i (70), puntos finales correspondientes (78) de secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i (72, 74) y calculándose después secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i (72, 74) entre los puntos iniciales locales (76) y los puntos finales (78) de las secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i (72, 74), que presentan respectivamente la distancia lateral predeterminada respecto a la posible sección de pista de línea central c_i (70), determinándose a continuación, a partir de las posibles secciones de pista A_i determinadas, una sección de pista de tensión optimizada $A_{i, opt}$, en la que una diferencia de las longitudes de las dos secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i (72, 74) en la sección de pista $A_{i, opt}$ sea menor que en otras secciones de pista posibles A_i , especialmente mínima.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizado por que en cada paso iterativo i , partiendo de los puntos iniciales locales (76) de las secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i (72, 74), se determinan posibles pares de secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i (72, 74) de la misma longitud, cuya distancia en la superficie interior curvada (26) de la semiconcha (20, 22) corresponde a la anchura (54) de la polea de pala de rotor (60), determinándose después, a partir de los posibles pares de secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i (72, 74), una sección de pista de tensión optimizada $A_{i, opt}$, en la que un valor de un ángulo de cruce entre una línea final que pasa por los puntos finales locales (78) de las secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i (72, 74) o una sección de pista

de línea central c_i (70) situada entre las secciones de pista de fibras de borde a_i , b_i (72, 74) difiera menos de los 90° que en otros pares posibles, siendo especialmente igual a 90° .

5 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que la pista de tensión optimizada encontrada se desplaza posteriormente por secciones de forma lateral en dirección al plano de alma (30) hasta que las almas (32, 34) se puedan posicionar en toda su longitud sobre la polea de pala de rotor (40, 42, 60), en el supuesto de que la pista de tensión optimizada encontrada no lo permita por secciones.

10 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que el procedimiento de cálculo iterativo calcula pistas posibles desde puntos iniciales globales variables y/o en ángulos iniciales variables, determinándose a partir de la cantidad de posibles pistas encontradas una pista de tensión optimizada que, en comparación con otras pistas posibles, requiera menos o el menor número posible de correcciones para el posicionamiento de las almas (32, 34) en la polea de pala de rotor (40, 42, 60).

15 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que se cambian el molde de la semiconcha (20, 22), si el procedimiento de cálculo iterativo no llega a ningún resultado que permita colocar las capas del material compuesto de fibras sin pliegues ni dobleces en un molde a lo largo de la pista de tensión optimizada y, en su caso, localmente desplazada hacia un lado, debido a las características de rigidez del material.

20 10. Pala de rotor (10) con una polea de pala de rotor (60), cuyo moldeo se ha calculado en un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, que se fabrica o se puede fabricar sin pliegues ni dobleces en un molde para la polea de pala de rotor (60), desviándose la línea central (44) de la polea de pala de rotor (60) a lo largo de la dirección longitudinal de la pala de rotor (10), al menos por secciones, de forma variable del plano de alma (30).

25 11. Pala de rotor (10) según la reivindicación 10, caracterizada por que la o las capas del material compuesto de fibras comprende o comprenden una o varias capas de barras pultruidas dispuestas unas al lado de otras y/o una o varias capas con fibras unidireccionales insertadas en un material de matriz endurecible o endurecido, especialmente fibras de vidrio y/o fibras de carbono, o se componen de las mismas.

30 12. Aerogenerador con al menos una pala de rotor (10) según la reivindicación 11.

Fig. 1

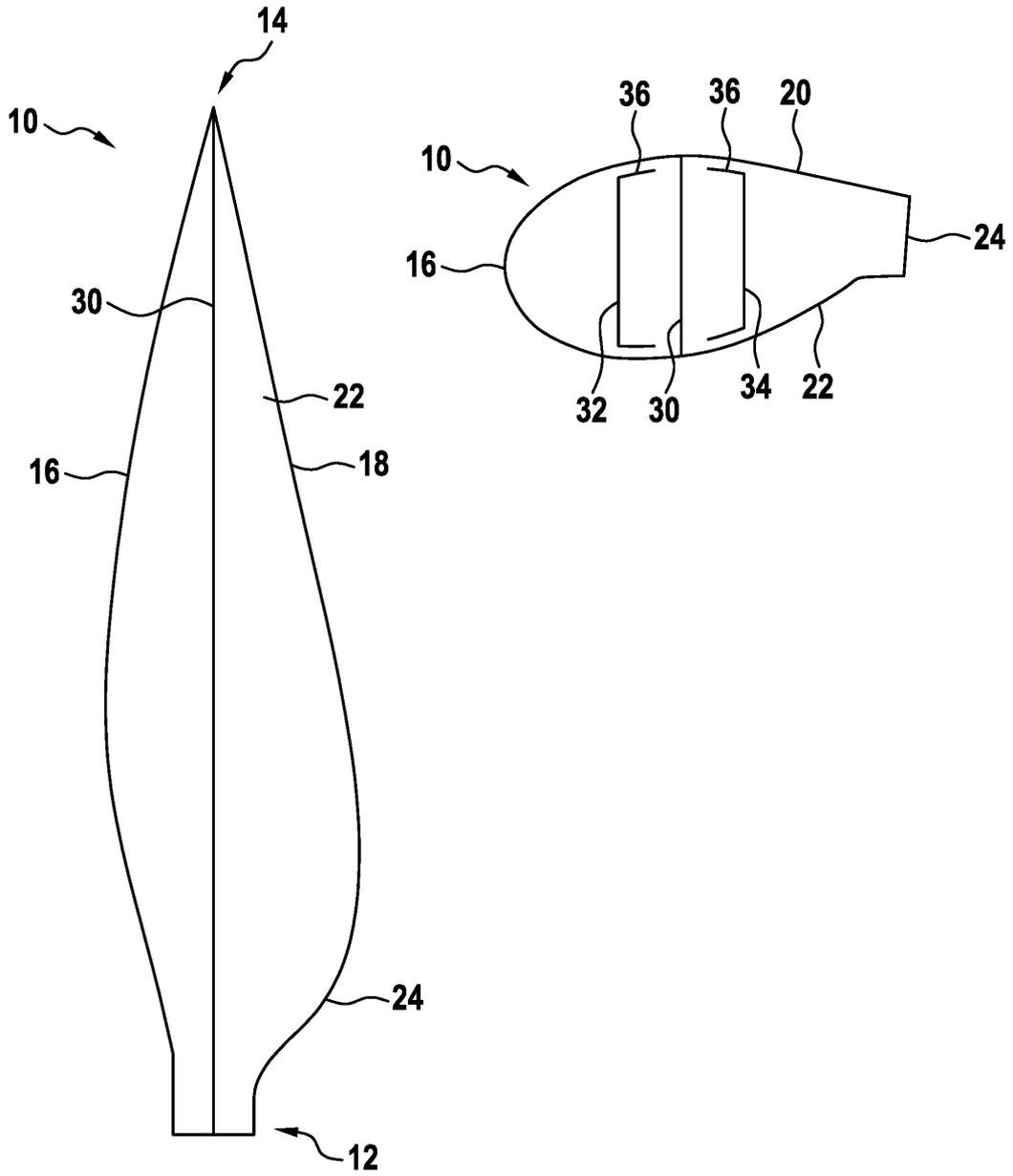


Fig. 2
Estado de la técnica

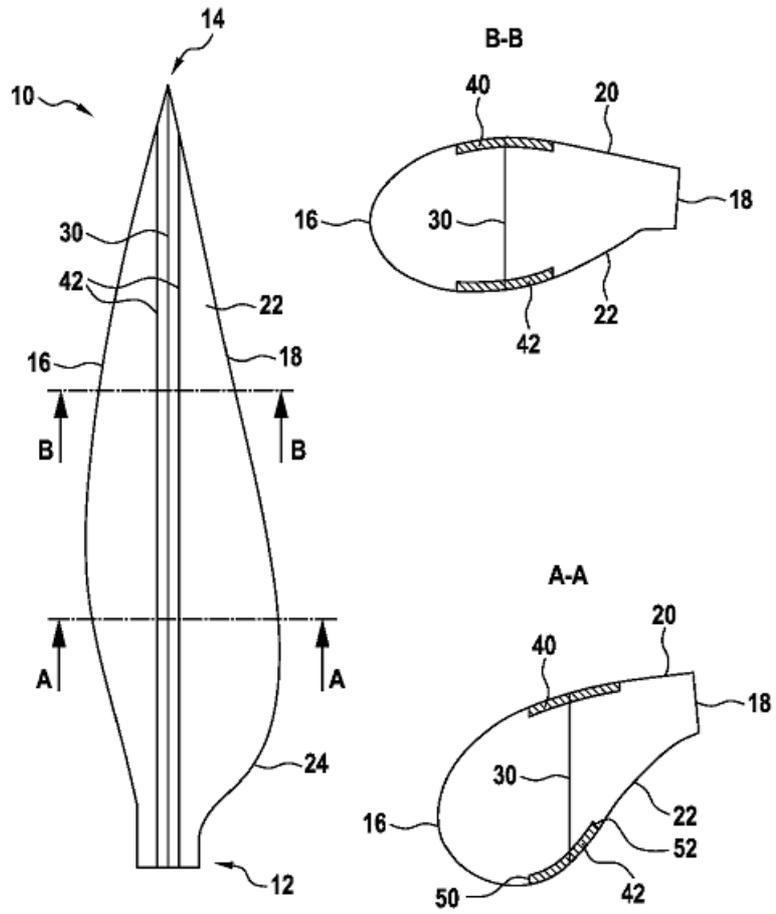


Fig. 3

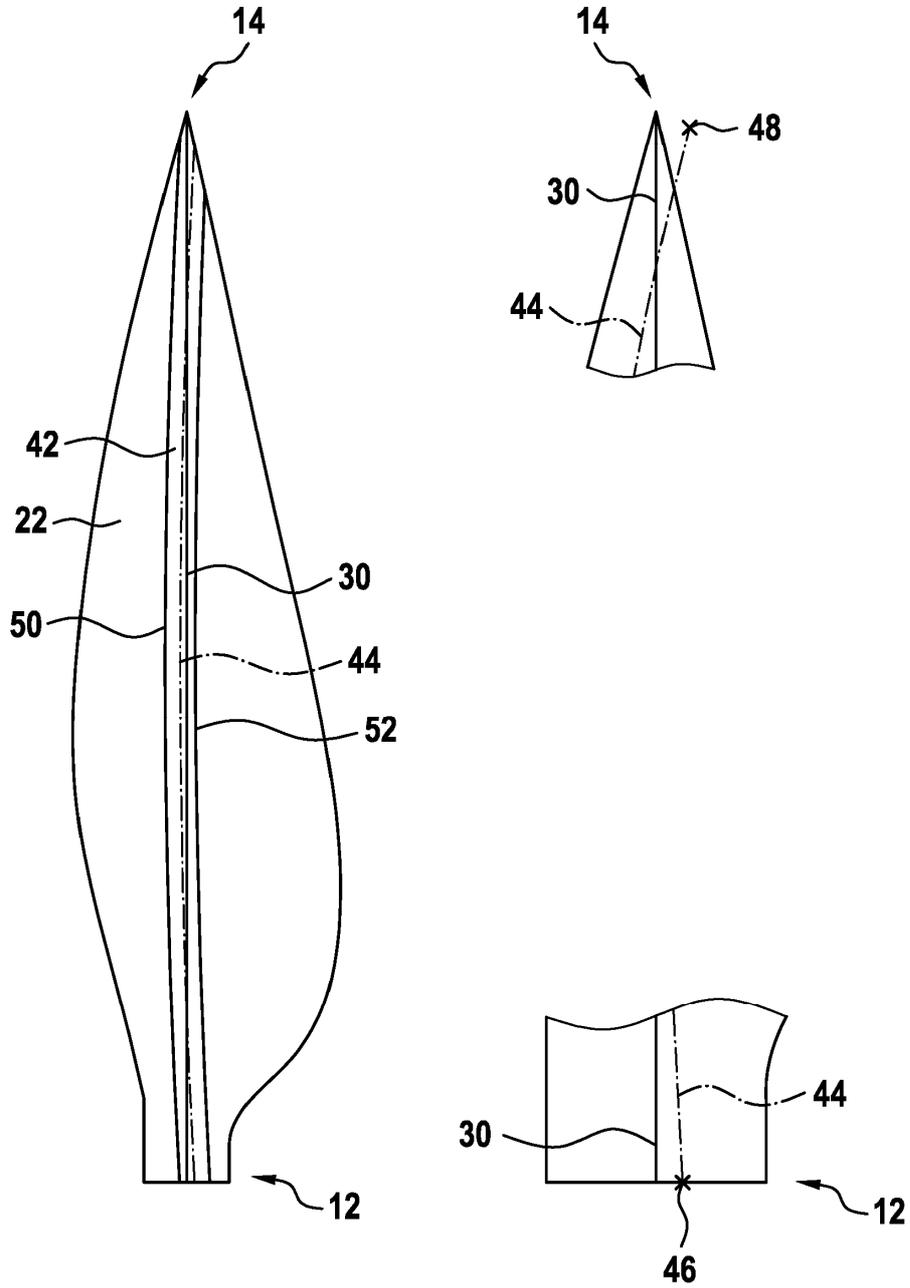


Fig. 4a

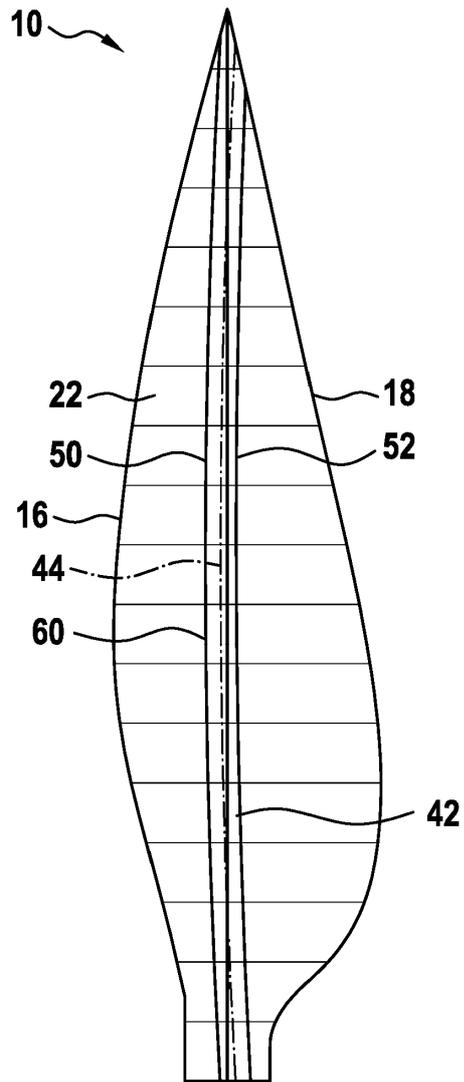


Fig. 4b

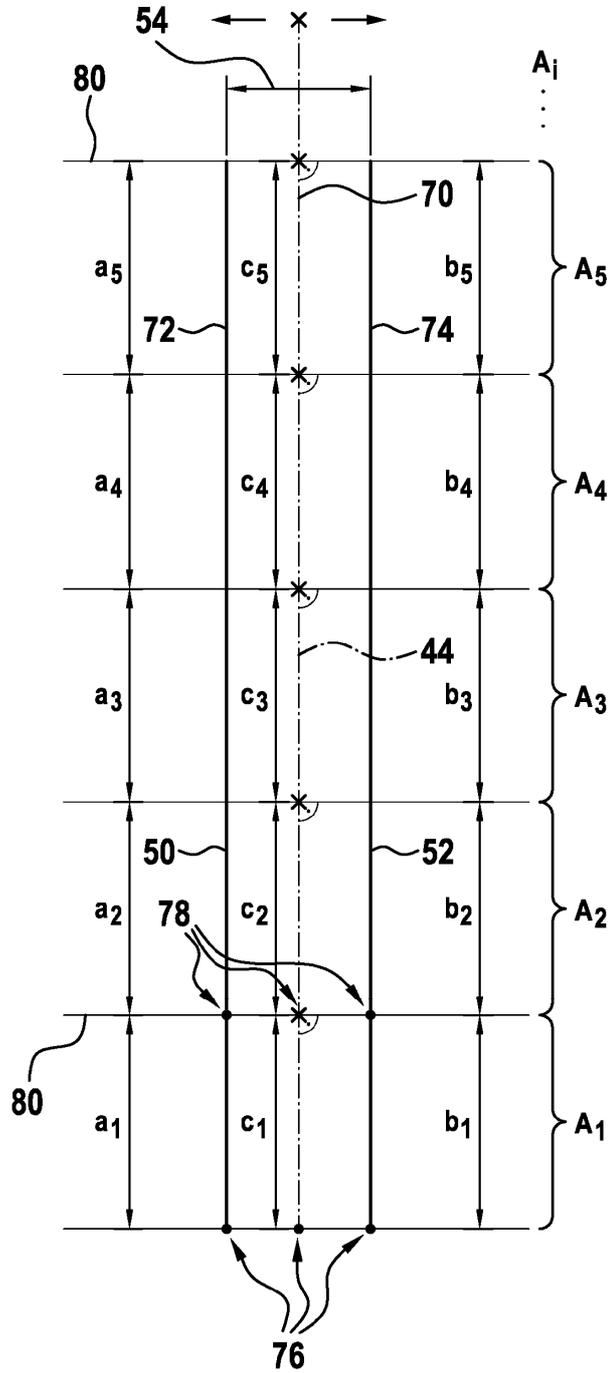


Fig. 5a

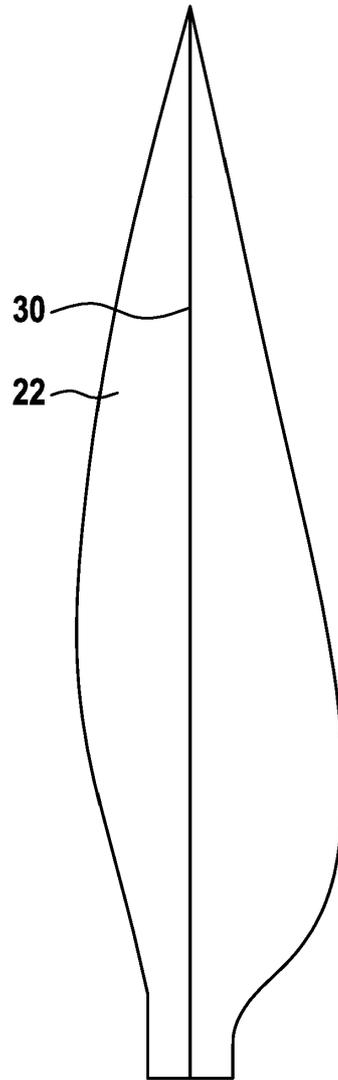


Fig. 5b

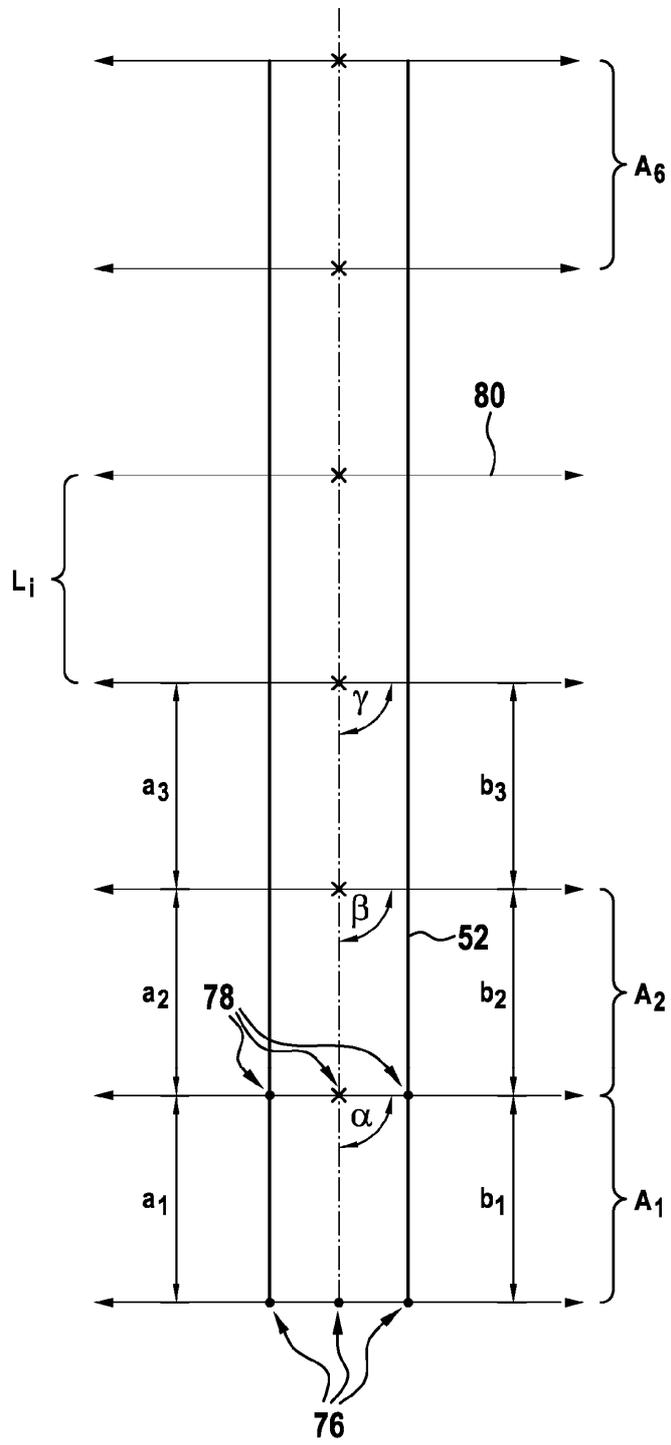


Fig. 6

