

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 712 630**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)
D01F 9/22 (2006.01)
B29C 70/88 (2006.01)
D01F 9/14 (2006.01)
B29L 31/08 (2006.01)
F03D 80/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.07.2012** **PCT/EP2012/063206**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.01.2013** **WO13004805**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2012** **E 12733118 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.11.2018** **EP 2729697**

54 Título: **Pala de turbina eólica**

30 Prioridad:

06.07.2011 EP 11172805

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.05.2019

73 Titular/es:

LM WP PATENT HOLDING A/S (100.0%)
Jupitervej 6
6000 Kolding, DK

72 Inventor/es:

ZHANG, WENTING;
OLESEN, MORTEN y
JACOBSEN, TORBEN KROGSDAL

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 712 630 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Pala de turbina eólica

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a una pala de turbina eólica que incluye una estructura realizada de un material de polímero reforzado con fibra que incluye una matriz polimérica y material de refuerzo de fibra incorporado en la matriz polimérica, en la que el material de refuerzo de fibra incluye fibras de carbono.

Antecedentes de la técnica

10 Los daños a las palas de turbina eólica provocados por impactos de rayos pueden ser bastantes completos. En un periodo de tiempo muy corto, se producen corrientes extremadamente fuertes de la magnitud de 10 a 200 kA. La energía implicada es baja, pero el efecto es muy fuerte y puede provocar estallidos puesto que el aire confinado en la pala se expande de manera explosiva. Se conoce insertar cables entrelazados fuertes en la pala para desviar el rayo. Entonces, se proporciona un receptor particular en la punta de la pala, sirviendo dicho receptor para captar el rayo, así como para impedir que esta ubicación se caliente demasiado. Además, se conoce reforzar cada pala por medio de un revestimiento de fibra de carbono. Opcionalmente, puede aplicarse una red de cobre sobre el
15 revestimiento de fibra de carbono para proteger dicho revestimiento.

El documento WO 00/14405 da a conocer una pala de turbina eólica con un conductor de rayos, en la que dicho conductor de rayos está formado por una o más tiras oblongas de plásticos reforzados con fibra de carbono que, preferiblemente, forman parte de la pala de turbina eólica. De esta manera, las tiras oblongas de plásticos reforzados con fibra de carbono refuerzan la pala y desvían el rayo. Sin embargo, con el fin de impedir que plásticos reforzados con fibra de carbono se calienten demasiado en el caso del impacto de un rayo, puede ser necesario proporcionar una barra de carbono en el interior de cada pala, y conectar las tiras oblongas a dicha barra de carbono interna. Además, puede proporcionarse un cable de conductor de rayos convencional en el conductor de carbono interno o en un elemento de refuerzo interno.

20 El documento EP 1 664 528 B1 describe un método de protección frente a rayos de una pala de turbina eólica en una planta de energía eólica. La pala comprende una carcasa de pala configurada esencialmente como un laminado reforzado con fibra, laminado que comprende fibras eléctricamente conductoras, en la que la pala comprende al menos un pararrayos configurado para conducir corriente de rayo, incluyendo preferiblemente al suelo. El método comprende que las fibras eléctricamente conductoras están conectadas entre sí, y que al menos un receptor metálico está dispuesto para capturar la corriente de rayo en o en proximidad de la cara externa de la pala; y que el
25 receptor y las fibras están conectados al pararrayos para igualar la diferencia de potencial entre el pararrayos y las fibras eléctricamente conductoras. Cuando las fibras eléctricamente conductoras están conectadas entre sí, las fibras actuarán conjuntamente en la conducción de una posible corriente de rayo para impedir que la corriente discurra en fibras individuales. Simultáneamente, el receptor metálico servirá como dispositivo de captación de rayos principal y reducirá el riesgo de que un rayo impacte contra el laminado. Al estar el receptor conectado al pararrayos, la corriente se conducirá de manera predominante al suelo, mientras que el riesgo de transferencia al laminado se minimiza porque se ha igualado una posible diferencia de potencial entre fibras y pararrayos.

El documento WO 03/078833 da a conocer una pala de turbina eólica de polímero reforzado con fibra. La pala está dividida en una porción de extremo interna que incluye la raíz de pala y que está hecha sustancialmente de polímero reforzado con fibra de vidrio, y una porción de extremo externa que incluye la punta de pala y está hecha sustancialmente de polímero reforzado con fibra de carbono. El peso, por tanto, se reduce en la parte más externa, por lo cual el momento de carga muerta se minimiza. Sin embargo, por motivo de los rayos, la porción más externa de la punta de pala puede estar realizada enteramente de fibra de vidrio para garantizar que los impactos de rayos golpeen un receptor de rayos construido específicamente y no el material de fibra de carbono eléctricamente conductor.

45 El documento WO 03/078832 da a conocer una pala de turbina eólica y una preforma de carcasa de transición para la fabricación de la carcasa de una pala de turbina eólica, estando realizada la pala o la preforma de carcasa de transición de polímero reforzado con fibra que incluye un primer tipo de fibras de una primera rigidez y un primer alargamiento a rotura, y un segundo tipo de fibras de una rigidez diferente y un alargamiento a rotura diferente. Los dos tipos de fibra se distribuyen en la matriz polimérica. Cuando se observa en una vista en sección perpendicular a la dirección longitudinal de la pala o la preforma de carcasa de transición, la razón cuantitativa de los dos tipos de fibras varía de manera continuada en la dirección longitudinal de la pala o de la preforma de carcasa de transición. El primer tipo de fibra pueden ser fibras de vidrio y el segundo tipo pueden ser fibras de carbono. Sin embargo, tal como se describió anteriormente, por motivo de los rayos, la porción más externa de la punta de pala puede estar realizada enteramente de fibra de vidrio para garantizar que los impactos de rayos golpeen un receptor de rayos construido específicamente y no el material de fibra de carbono eléctricamente conductor.
50
55

El documento US 2001/024722 da a conocer fibras de carbono que consisten en una pluralidad de filamentos que pueden usarse en preimpregnados y material compuesto. Las fibras de carbono pueden producirse estabilizando y posteriormente carbonizando fibras de precursor. Se describe que el preimpregnado y el material compuesto pueden

usarse como material estructural principal, por ejemplo, de molinos de viento y palas de turbina.

La patente estadounidense n.º 4.816.242 da a conocer un método de formación de material fibroso parcialmente carbonizado con una resistividad estable mejorada y una conductividad aumentada para su uso en un disipador de carga electrostática o como protección frente a radiación electromagnética. Tal material fibroso no es adecuado para material de refuerzo en palas de turbina eólica, puesto que relámpagos tendrían una tendencia mayor a golpear la pala en lugar del receptor, dificultando de ese modo el control de la trayectoria de corriente de rayo al suelo.

Por tanto, se observa que palas de turbina eólica conocidas que incorporan fibras de carbono con el fin de mejorar propiedades tales como peso y resistencia son generalmente complicadas de fabricar debido a las precauciones necesarias para impedir daños provocados por impactos de rayos.

Por otro lado, con un aumento de la longitud de la pala de hasta incluso más de 100 metros, puede ser necesario reducir el peso relativo de las palas. Además, pueden requerirse palas más rígidas con mejor rendimiento frente a fatiga.

Divulgación de la invención

El objeto de la presente invención es proporcionar una pala de turbina eólica que tenga propiedades mejoradas con respecto a peso y resistencia y que sea al mismo tiempo más sencilla de fabricar.

En vista de este objeto, las fibras de carbono se han producido mediante carbonización de un precursor a un grado de carbonización del 60% al 80%.

De ese modo, generalmente puede obtenerse una resistividad aumentada en gran medida del material de polímero reforzado con fibra, por lo cual puede reducirse la necesidad de medidas de protección contra rayos complicadas, ya que las propias fibras de carbono, sustancialmente, no conducen la corriente y por tanto no resultarán dañadas. Al mismo tiempo, puede obtenerse una pala más resistente, ya que la rigidez de fibras de carbono puede ser de hasta al menos tres veces más alta en comparación con la rigidez de fibras de vidrio. Además, puede obtenerse un mejor rendimiento frente a fatiga por medio de fibras de carbono que por medio de fibras de vidrio. Además, puede requerirse menos material por pala. Una masa de pala más baja puede conducir a la reducción de momento de doblado de raíz, y las palas pueden ser más fáciles de manejar en la producción, el envío y el montaje.

Por consiguiente, se observa que las fibras de carbono constituyen fibras de refuerzo en la pala de turbina eólica, preferiblemente para añadir rigidez a la pala. Por consiguiente, las fibras de carbono pueden comprender capas con fibras de carbono dispuestas de manera unidireccional, que de manera ventajosa se extienden sustancialmente en la dirección longitudinal o en el sentido de la envergadura de la pala. Las fibras de carbono pueden ser por ejemplo estopas de fibra de carbono que comprenden una pluralidad de filamentos. Los estopas pueden comprender 1.000-15.000 filamentos, por ejemplo, alrededor de 6.000 o 12.000 filamentos.

En una realización, las fibras de carbono se han producido mediante carbonización de un precursor a un grado de carbonización de menos del 78%, preferiblemente menos del 76%, más preferido menos del 74%, incluso más preferido menos del 72%, incluso más preferido menos del 70%, incluso más preferido menos del 68%, incluso más preferido menos del 66%, y lo más preferido menos del 64%.

En una realización, la pala de turbina eólica incluye una estructura que porta una carga que se extiende longitudinalmente que incluye al menos una parte de dichas fibras de carbono y preferiblemente todas dichas fibras de carbono.

En una realización, la estructura que porta la carga que se extiende longitudinalmente es un laminado principal que forma parte de una estructura de carcasa.

En una realización, la estructura que porta la carga que se extiende longitudinalmente es una viga interna o caja de larguero que conecta estructuras de carcasa externas.

En una realización, el precursor es poliacrilonitrilo (PAN).

En una realización, el material de refuerzo de fibra está constituido por fibras de carbono.

En una realización, cualquier muestra rectangular correspondiente en composición y grosor a una parte de la estructura de carcasa tiene una resistencia laminar de más de 10^9 ohmios por cuadrado y preferiblemente de más de 10^{10} ohmios por cuadrado.

En una realización, cualquier muestra rectangular correspondiente en composición y grosor a una parte de la estructura que porta la carga que se extiende longitudinalmente tiene una resistencia laminar de más de 10^9 ohmios por cuadrado y preferiblemente de más de 10^{10} ohmios por cuadrado.

Breve descripción de los dibujos

Ahora, se explicará la invención con más detalle a continuación por medio de ejemplos de realizaciones con referencia a los dibujos muy esquemáticos, en los que

la figura 1 es una vista desde arriba de una pala de turbina eólica;

5 la figura 2 es una sección transversal a lo largo de la línea II-II de la figura 1; y

la figura 3 es una muestra rectangular correspondiente en composición y grosor a una parte de la estructura de carcasa de la pala de turbina eólica en las figuras 1 y 2.

Descripción detallada de la invención

10 La figura 1 muestra una pala 1 de turbina eólica según la invención. La pala 1 de turbina eólica incluye una estructura 2 de carcasa realizada de un material de polímero reforzado con fibra que incluye una matriz polimérica y material de refuerzo de fibra incorporado en la matriz polimérica. Tal como se observa en la figura, la estructura 2 de carcasa está compuesta por dos partes de carcasa oblongas, una parte 3 de carcasa superior y una parte 4 de carcasa inferior. Las partes 3, 4 de carcasa están unidas entre sí en sus bordes. Además, las partes de carcasa están conectadas internamente por medio de elementos 5 de refuerzo que se extienden longitudinalmente, tales como vigas o almas, que están alineados dentro de las partes de carcasa de la pala 1 de turbina eólica y unidos a las partes 3, 4 de carcasa. En la realización mostrada, estos elementos 5 de refuerzo no portan una parte sustancial de la carga en la pala; más bien, sirven para conectar las partes de carcasa de la pala 1 de turbina eólica y para aliviar tensiones de cizalladura.

20 Las partes 3, 4 de carcasa oblongas primera y segunda comprenden un material de polímero reforzado con fibra producido por medio de un procedimiento de infusión, tal como infusión por vacío o VARTM (moldeo por transferencia de resina asistido por vacío). Durante el procedimiento de fabricación, se vierte polímero líquido, también denominado resina, en una cavidad de molde, en la que se ha insertado previamente material de fibra, y donde se genera un vacío en la cavidad de molde atrayendo de ese modo el polímero. El polímero puede ser plástico termoendurecible o termoplásticos. Normalmente, se estratifican fibras distribuidas de manera uniforme en una primera parte de molde rígida, siendo las fibras mechas, es decir manojos de bandas de fibra, bandas de mechas o esteras, que son o bien esteras de fieltro hechas de fibras individuales o esteras de tejido hechas de mechas de fibra. Una segunda parte de molde, que a menudo está realizada de una bolsa de vacío elástica, se coloca posteriormente en la parte superior del material de fibra y se sella contra la primera parte de molde con el fin de generar una cavidad de molde. Al generar un vacío, normalmente del 80 al 95% del vacío total, en la cavidad de molde entre la primera parte de molde y la bolsa de vacío, el polímero líquido puede atraerse y llenarse la cavidad de molde con el material de fibra contenido en la misma. Se usan las denominadas capas de distribución o tubos de distribución, denominados también canales de entrada, entre la bolsa de vacío y el material de fibra con el fin de obtener una distribución de polímero lo más sólida y eficiente posible. En la mayoría de los casos, el polímero aplicado es poliéster o epoxi, y el refuerzo de fibra se basa, según la presente invención, al menos parcialmente en fibras de carbono, pero puede incluir también fibras de vidrio.

Según la presente invención, las fibras de carbono se han producido mediante carbonización de un precursor a un grado de carbonización del 60% al 80%.

40 Las fibras de carbono pueden haberse producido mediante carbonización de un precursor a un grado de carbonización de menos del 78%, preferiblemente menos del 76%, más preferido menos del 74%, incluso más preferido menos del 72%, incluso más preferido menos del 70%, incluso más preferido menos del 68%, incluso más preferido menos del 66%, y lo más preferido menos del 64%.

El precursor puede ser poliacrilonitrilo. Además, el material de refuerzo de fibra por toda la pala de turbina eólica puede estar constituido enteramente por fibras de carbono.

El procedimiento de producción de fibra de carbono convencional puede ser de la siguiente manera:

- 45 • Proceso de producción de PAN: polimerización, lavado, tratamiento de superficie, secado, estirado y envasado
- Procedimiento de carbonización: estirado, oxidación, carbonización, tratamiento de superficie y bobinado

50 El procedimiento de carbonización deja una fibra compuesta por cadenas estrechamente entrelazadas y largas de átomos de carbono. La temperatura de carbonización influye en el grado de fibra de carbono y módulo de elasticidad que, por ejemplo, puede ser de desde 200 hasta más de 600 GPa. Según la invención, las fibras de carbono empleadas pueden haberse producido en un procedimiento de carbonización que se ha modificado para reducir el grado de carbonización de las fibras de carbono. Por ejemplo, la temperatura de carbonización puede reducirse hasta por debajo de 1000 °C. El procedimiento de estirado puede acelerarse. Un revestimiento o tratamiento de superficie puede proporcionarse en la superficie de fibra de carbono.

Además, en la realización mostrada, la pala de turbina eólica incluye una estructura que porta una carga que se extiende longitudinalmente en forma de un laminado 6 principal que forma parte de la estructura de carcasa. La estructura que porta la carga que se extiende longitudinalmente puede incluir al menos una parte de dichas fibras de carbono. Tal estructura que porta una carga en forma de un laminado principal o similar se forma normalmente como una inserción de fibra que comprende una pluralidad de capas de refuerzo de fibra, por ejemplo, entre 20 y 50 capas. En cada lado de la estructura que porta una carga, la pala normalmente comprende una estructura intercalada con un material de núcleo, tal como madera de balsa o polímero espumado, y con un acabado interno y externo realizado de polímero reforzado con fibra.

Según otra realización no mostrada, la pala de turbina eólica incluye una estructura que porta una carga que se extiende longitudinalmente en forma de una viga interna o caja de larguero que conecta estructuras de carcasa externas. Dicha viga interna o caja de larguero puede ser una parte independiente unida a las estructuras de carcasa externas y puede adaptarse para portar una parte sustancial de la carga en la pala. Según esta realización, puede no ser necesario un laminado principal.

La resistencia laminar puede aplicarse normalmente a sistemas bidimensionales en los que una película delgada se considera que es una entidad bidimensional y corresponde a resistividad tal como se emplea en sistemas tridimensionales. Cuando se emplea el término resistencia laminar, la corriente fluye a lo largo del plano de la lámina y no perpendicular a la misma. En esta descripción, sin embargo, se emplea resistencia laminar para describir la resistividad de una muestra 7 rectangular tal como se muestra en la figura 3 correspondiente en composición y grosor a una parte de la estructura de carcasa de una pala de turbina eólica. La muestra 7 rectangular puede corresponder a una pieza 8 rectangular cortada de la estructura 2 de carcasa tal como se indica en la figura 1. En la figura 2, las líneas 9 discontinuas indican las líneas de corte longitudinal a lo largo de las que puede cortarse la pieza 8 rectangular de la estructura 2 de carcasa.

En un conductor tridimensional habitual, la resistencia puede expresarse como

$$R = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{L}{Wt}$$

donde ρ es la resistividad, A es el área en sección transversal y L es la longitud. El área en sección transversal puede separarse en la anchura W y el grosor de lámina t .

Al agrupar la resistividad con el grosor, la resistencia puede expresarse entonces como:

$$R = \frac{\rho}{t} \frac{L}{W} = R_s \frac{L}{W}$$

R_s se considera, entonces, la resistencia laminar.

Como la resistencia se multiplica por una cantidad adimensional para conseguir la resistencia laminar, las unidades de resistencia laminar son ohmios o comúnmente "ohmios por cuadrado".

Según una realización de la presente invención, cualquier muestra rectangular correspondiente en composición y grosor a una parte de la estructura de carcasa de la pala de turbina eólica tiene una resistencia laminar de más de 10^9 ohmios por cuadrado y preferiblemente de más de 10^{10} ohmios por cuadrado. Esto significa que si se prepara una muestra de forma cuadrada que corresponde en composición y grosor a una parte de la estructura de carcasa de la pala de turbina eólica, esta muestra de forma cuadrada tendrá una resistencia medida entre dos bordes opuestos de más de 10^9 ohmios y preferiblemente de más de 10^{10} ohmios. Naturalmente, según esta realización, lo mismo será cierto para cualquier pieza de forma cuadrada cortada de la estructura de carcasa, a través de todo el grosor de la estructura de carcasa, de la pala de turbina eólica. Si la muestra es rectangular con por ejemplo una longitud L de 2 metros y una anchura W de 1 metro, la resistencia medida entre los dos bordes de extremo opuestos (bordes más pequeños) será, según esta realización, de más de 2×10^9 ohmios y preferiblemente de más de 2×10^{10} ohmios.

En una realización, cualquier muestra rectangular correspondiente en composición y grosor a una parte de la estructura que porta una carga que se extiende longitudinalmente tiene una resistencia laminar de más de 10^9 ohmios por cuadrado y preferiblemente de más de 10^{10} ohmios por cuadrado.

Según la invención, mediante la incorporación de fibras de carbono como refuerzo, una pala de turbina eólica mejorada en cuanto a peso y resistencia puede obtenerse sin la necesidad de precauciones complicadas y costosas, tales como cableado interno difícil, con el fin de impedir daños provocados por impactos de rayos.

REIVINDICACIONES

1. Pala (1) de turbina eólica que incluye una estructura realizada de un material de polímero reforzado con fibra que incluye una matriz polimérica y material de refuerzo de fibra incorporado en la matriz polimérica, en la que el material de refuerzo de fibra incluye fibras de carbono, caracterizada porque las fibras de carbono se han producido mediante carbonización de un precursor a un grado de carbonización del 60% al 80%.
5
2. Pala de turbina eólica según la reivindicación 1, en la que las fibras de carbono se han producido mediante carbonización de un precursor a un grado de carbonización de menos del 78%, preferiblemente menos del 76%, más preferido menos del 74%, incluso más preferido menos del 72%, incluso más preferido menos del 70%, incluso más preferido menos del 68%, incluso más preferido menos del 66%, y lo más preferido menos del 64%.
- 10 3. Pala de turbina eólica según la reivindicación 1 o 2, en la que la pala de turbina eólica incluye una estructura que porta una carga que se extiende longitudinalmente que incluye al menos una parte de dichas fibras de carbono y preferiblemente todas dichas fibras de carbono.
4. Pala de turbina eólica según la reivindicación 3, en la que la estructura que porta una carga que se extiende longitudinalmente es un laminado (6) principal que forma parte de una estructura (2) de carcasa.
- 15 5. Pala de turbina eólica según la reivindicación 3, en la que la estructura que porta una carga que se extiende longitudinalmente es una viga interna o caja de larguero que conecta estructuras de carcasa externas.
6. Pala de turbina eólica según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el precursor es poliacrilonitrilo.
- 20 7. Pala de turbina eólica según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el material de refuerzo de fibra está constituido por fibras de carbono.
8. Pala de turbina eólica según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cualquier muestra (7) rectangular correspondiente en composición y grosor a una parte de la estructura (2) de carcasa tiene una resistencia laminar de más de 10^9 ohmios por cuadrado y preferiblemente de más de 10^{10} ohmios por cuadrado.
- 25 9. Pala de turbina eólica según una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 7, en la que cualquier muestra (7) rectangular correspondiente en composición y grosor a una parte de la estructura que porta una carga que se extiende longitudinalmente tiene una resistencia laminar de más de 10^9 ohmios por cuadrado y preferiblemente de más de 10^{10} ohmios por cuadrado.
10. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el material de refuerzo comprende capas de fibras de carbono que están dispuestas de manera unidireccional.
- 30 11. Pala de turbina eólica según la reivindicación 10, en la que las fibras de carbono dispuestas de manera unidireccional están dispuestas sustancialmente en una dirección en el sentido de la envergadura de la pala.
12. Pala de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que al menos una parte de las fibras de carbono están dispuestas como estopas de fibra de carbono.

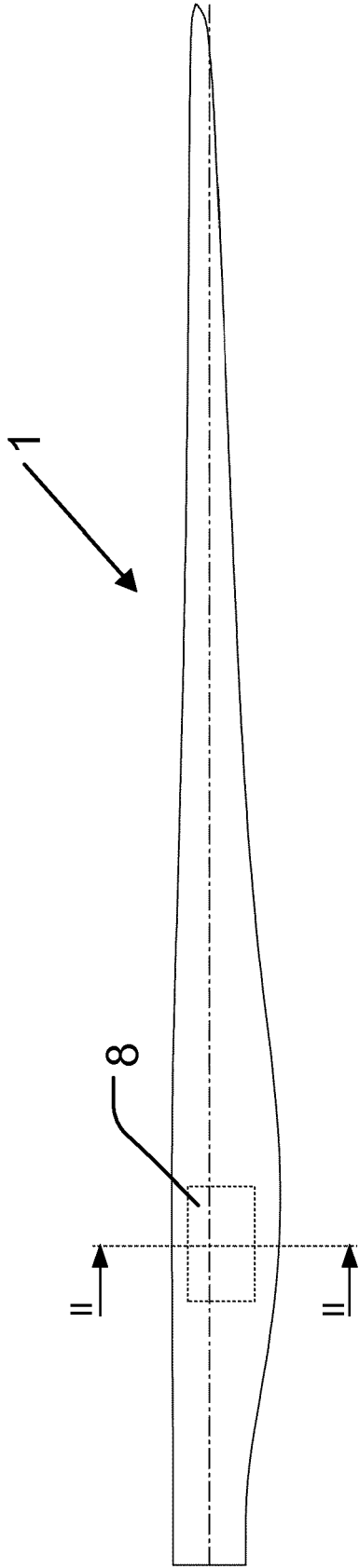


Fig. 1

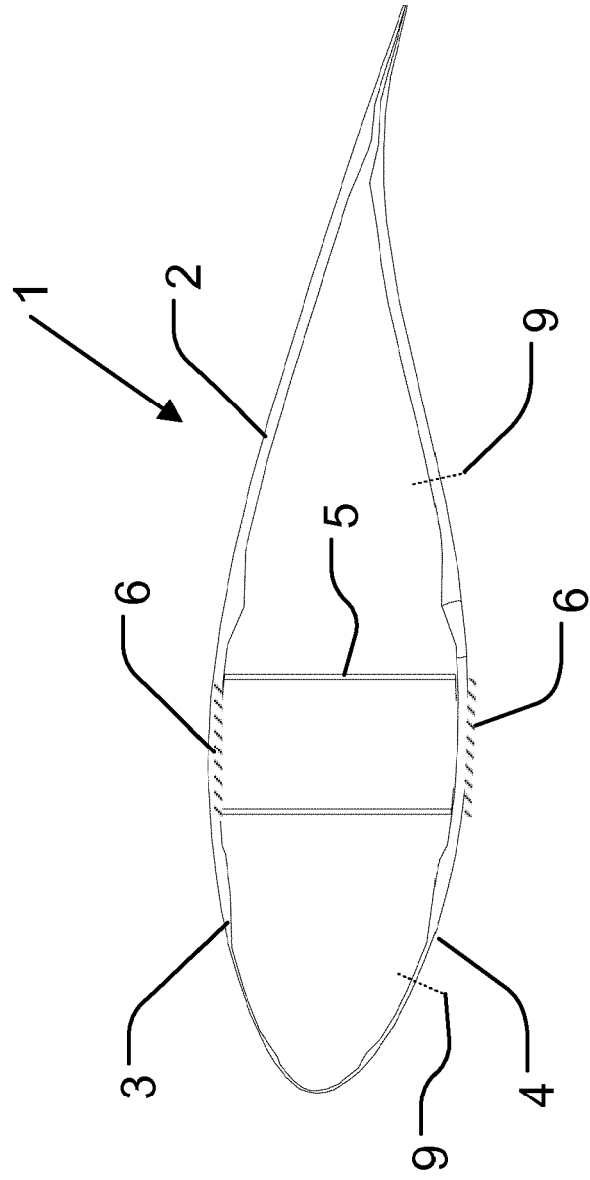


Fig. 2

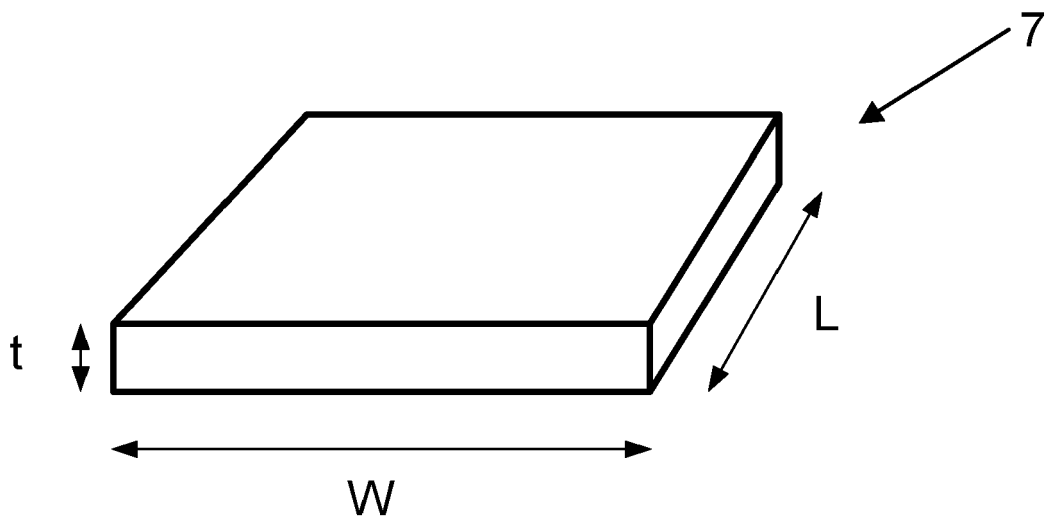


Fig. 3