

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 935 395**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06** (2006.01)

**B29C 73/10** (2006.01)

**F03D 80/50** (2006.01)

**B29C 73/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.03.2019** **E 19164332 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.12.2022** **EP 3712423**

54 Título: **Método de reparación de un cordón de larguero dañado de una pala de turbina eólica de una turbina eólica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**06.03.2023**

73 Titular/es:  
**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S**  
**(100.0%)**  
**Borupvej 16**  
**7330 Brande, DK**

72 Inventor/es:  
**GIROLAMO, DONATO**

74 Agente/Representante:  
**LOZANO GANDIA, José**

ES 2 935 395 T3

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

**DESCRIPCIÓN**

Método de reparación de un cordón de larguero dañado de una pala de turbina eólica de una turbina eólica

5 La presente invención se refiere a un método de reparación de un cordón de larguero dañado de una pala de turbina eólica de una turbina eólica, comprendiendo el cordón de larguero dañado material de plástico reforzado con fibra de carbono.

10 Las palas de turbina eólica deben poder convertir de manera eficiente el viento en movimiento de giro de las palas de turbina eólica, de modo que pueda convertirse la energía del viento en movimiento mecánico rotatorio de un rotor al que están unidas las palas de turbina eólica. Es preferible usar materiales que tienen un alto módulo específico (módulo elástico por densidad másica de un material), también conocido como razón de rigidez con respecto al peso, en palas de turbina eólica. Esto es particularmente importante en los cordones de larguero de palas de turbina eólica porque los cordones de larguero se someten a altas cargas de flexión (también denominadas cargas en el sentido del batimiento) que se producen en el funcionamiento de la turbina eólica y las transfieren al buje de turbina eólica y, por último, a los cimientos de la turbina eólica.

20 Cuando partes de un cordón de larguero realizado de material de plástico reforzado con fibra de carbono se dañan debido a defectos de fabricación, daños durante el transporte o incluso debido a fatiga, por ejemplo, es muy difícil reparar los cordones de larguero principalmente debido a los siguientes dos requisitos. Por un lado, lo que debe tenerse en cuenta es que el material de plástico reforzado con fibra de carbono es un material eléctricamente conductor y debe integrarse dentro de un sistema de protección contra rayos de la turbina eólica para un caso en el que la pala de turbina eólica intercepte el impacto de un rayo. El sistema de protección contra rayos puede comprender terminales eléctricos incorporados en el cordón de larguero y un conductor descendente, por ejemplo.

25 En el caso de interceptarse el impacto de un rayo por el cordón de larguero, el material de plástico reforzado con fibra de carbono conduce la corriente eléctrica desde el impacto del rayo hasta la tierra. En un estado impoluto del cordón de larguero, el material de plástico reforzado con fibra de carbono es un buen conductor eléctrico en su dirección de fibra, debido a la continuidad de las fibras de carbono. Las metodologías de reparación requieren interrumpir la continuidad y conductividad eléctrica anteriormente mencionadas y determinar una discontinuidad para el trayecto eléctrico a lo largo del cordón de larguero. En caso del impacto de un rayo, la corriente conducida por el cordón de larguero produce chispas a través de tal discontinuidad. Por tanto, si una parte reparada del cordón de larguero no se integra de manera apropiada en el sistema de protección contra rayos, el material de plástico reforzado con fibra de carbono puede fallar debido al impacto de un rayo directo y/o contorneamientos desde el conductor descendente principal al tiempo que se conduce la corriente hasta la tierra. Por otro lado, la alta rigidez e integridad estructural de los cordones de larguero deben mantenerse después de realizarse una reparación.

35 Generalmente, se conocen métodos para reparar estructuras realizadas de material de plástico reforzado con fibra de carbono en el estado de la técnica. Por ejemplo, el documento US 7.628.879 B2 se refiere a un método de este tipo. Sin embargo, este método se refiere a conjuntos de ala de aeronaves y, por tanto, no es aplicable a la reparación de una pala de turbina eólica para una turbina eólica.

40 El documento EP 2 273 102 A2 describe una pala de rotor de turbina eólica con parche que comprende una superficie preparada, una región de adhesivo dispuesta en la superficie preparada y una reparación dispuesta en la región de adhesivo, en la que la región de adhesivo une de manera suficiente la reparación a la superficie preparada para hacer coincidir sustancialmente las propiedades mecánicas del volumen de la pala de rotor de turbina. Por tanto, existe una necesidad de un método de reparación sencillo y rentable de un cordón de larguero de una pala de turbina eólica de una turbina eólica, comprendiendo el cordón de larguero material de plástico reforzado con fibra de carbono mediante el cual se mantengan la conductividad eléctrica, alta rigidez e integridad estructural del cordón de larguero.

50 Este problema se resuelve mediante el objeto de las reivindicaciones. Por tanto, este objeto se resuelve mediante un método de reparación de un cordón de larguero que comprende material de plástico reforzado con fibra de carbono según la reivindicación 1 independiente. Detalles adicionales de la invención se desprenden de las reivindicaciones dependientes así como de la descripción y los dibujos.

55 Según la invención, el problema se resuelve mediante un método de reparación de un cordón de larguero dañado de una pala de turbina eólica de una turbina eólica, comprendiendo el cordón de larguero dañado material de plástico reforzado con fibra de carbono y teniendo el método las etapas de: (a) retirar material de plástico reforzado con fibra de carbono dañado a partir del cordón de larguero dañado para obtener un rebaje correspondiente en el cordón de larguero dañado, (b) aplicar un adhesivo al rebaje, (c) ajustar al menos un parche que comprende material de plástico reforzado con fibra de carbono en el rebaje, en el que el material de plástico reforzado con fibra de carbono del parche se proporciona como elementos de carbono obtenidos por pultrusión, y (d) unir el al menos un parche con el cordón de larguero para obtener un cordón de larguero reparado.

65 El método de la invención se aplica particularmente a un cordón de larguero de una pala de turbina eólica de una turbina eólica. En particular, el cordón de larguero, y más particularmente el material de plástico reforzado con fibra

de carbono del cordón de larguero, está conectado a un conductor descendente de una turbina eólica. El material de plástico reforzado con fibra de carbono del cordón de larguero puede estar conectado a terminales eléctricos y los terminales eléctricos pueden estar conectados al conductor descendente. Pueden disponerse esteras conductoras de carbono para conectar el material de plástico reforzado con fibra de carbono del cordón de larguero a los terminales eléctricos.

En particular, el material de plástico reforzado con fibra de carbono es un material de plástico reforzado con fibra de carbono unidireccional. Esto significa que la totalidad, o al menos el 95%, de las fibras están dirigidas en una única dirección. Además, en particular, el material de plástico reforzado con fibra de carbono es un material de plástico reforzado con fibra de carbono continuo. Además, el material de plástico reforzado con fibra de carbono, especialmente el material de plástico reforzado con fibra de carbono del parche, puede comprender fibras previamente impregnadas y en particular ser un material preimpregnado. Por ejemplo, un material de matriz de polímero termoestable, tal como resina epoxídica, o una resina termoplástica, puede estar ya presente en el material de plástico reforzado con fibra de carbono previamente impregnado.

Antes de retirar la parte de material de plástico reforzado con fibra de carbono dañada, la parte dañada o una zona de la parte dañada del cordón de larguero puede identificarse por medio de una tecnología no destructiva tal como exploración por ultrasonidos, por ejemplo. Adicionalmente puede limpiarse la parte o zona dañada y/o puede retirarse pintura unida al cordón de larguero en la zona dañada antes de retirar el material de plástico reforzado con fibra de carbono dañado. Además, el cordón de larguero reparado puede someterse a ensayos no destructivos para determinar la calidad de la reparación.

En una realización preferida de la invención, el rebaje presenta sección decreciente en al menos una dirección con un ángulo de sección decreciente  $\Theta_{43}$  y/o al menos uno del al menos un parche está achaflanado en al menos una dirección con un ángulo de achaflanado  $\Theta_{50}$ . Preferiblemente, el ángulo de sección decreciente  $\Theta_{43}$  está en el intervalo de  $0,2^\circ$  a  $10^\circ$ , preferiblemente en el intervalo de  $0,4^\circ$  a  $7^\circ$  y más preferiblemente en el intervalo de  $0,6^\circ$  a  $5^\circ$ . Preferiblemente, el ángulo de achaflanado  $\Theta_{50}$  está en el intervalo de  $0,2^\circ$  a  $10^\circ$ , preferiblemente en el intervalo de  $0,4^\circ$  a  $7^\circ$  y más preferiblemente en el intervalo de  $0,6^\circ$  a  $5^\circ$ . El ángulo de sección decreciente  $\Theta_{43}$  y/o el ángulo de achaflanado  $\Theta_{50}$  garantizan una transición suave de la rigidez desde el cordón de larguero hasta el parche. Generalmente, se prefiere un ángulo pequeño dado que la carga se transfiere mediante cizalladura en vez de desprendimiento y los adhesivos proporcionados son mucho más tenaces y resistentes en modo de cizalladura. Además, se aumenta la superficie de adhesivo efectiva y de ese modo se aumenta la estabilidad de la unión entre el al menos un parche y el cordón de larguero.

Además, se prefiere que al menos una de la al menos una dirección de la sección decreciente y/o al menos una de la al menos una dirección del achaflanado sea una dirección de fibra F del material de plástico reforzado con fibra de carbono. Preferiblemente, la dirección de fibra F es una dirección unidireccional de material de plástico reforzado con fibra de carbono unidireccional. De ese modo, se mejora adicionalmente la transición de la rigidez desde el cordón de larguero hasta el parche.

Además, se prefiere que el ángulo de sección decreciente  $\Theta_{43}$  corresponda al ángulo de achaflanado  $\Theta_{50}$ . Esto significa que el ángulo de sección decreciente  $\Theta_{43}$  es igual o sustancialmente igual al ángulo de achaflanado  $\Theta_{50}$ , lo que significa que el ángulo de sección decreciente  $\Theta_{43}$  puede ser un valor del 90% al 110% del ángulo de achaflanado  $\Theta_{50}$ . De ese modo, se facilita el ajuste del al menos un parche en el rebaje y se controla el grosor de unos medios de conexión, tales como un adhesivo. En particular, el parche se ajusta con ajuste de forma en el rebaje correspondiente.

Una opción es que el al menos un parche comprenda, en particular a lo largo de un único chaflán del al menos un parche, al menos dos ángulos de achaflanado diferentes  $\Theta_{50,1}$ ,  $\Theta_{50,2}$ . En particular, los ángulos de achaflanado  $\Theta_{50,1}$ ,  $\Theta_{50,2}$  pueden desviarse uno con respecto al otro en al menos  $0,1^\circ$ , preferiblemente en al menos  $0,3^\circ$  y más preferiblemente en al menos  $0,5^\circ$  y hasta un máximo de  $5^\circ$ . Uno de los ángulos de achaflanado  $\Theta_{50,1}$ , en particular el ángulo de achaflanado  $\Theta_{50,1}$  proporcionado más cerca de un extremo largo del parche, es más pequeño que el otro de los ángulos de achaflanado  $\Theta_{50,2}$ , en particular el ángulo de achaflanado  $\Theta_{50,2}$  proporcionado más cerca de una porción central del parche. El ángulo de achaflanado  $\Theta_{50,1}$  proporcionado más cerca del extremo largo del parche puede estar en el intervalo de  $0,5^\circ$  a  $3^\circ$ , por ejemplo. El ángulo de achaflanado  $\Theta_{50,2}$  proporcionado más cerca de la porción central del parche puede estar en el intervalo de  $1^\circ$  a  $5^\circ$ , por ejemplo. De ese modo, se proporcionan dos superficies adhesivas de diferente inclinación, lo cual aumenta adicionalmente la estabilidad de la unión entre el al menos un parche y el cordón de larguero.

En una realización preferida de la invención, el adhesivo se aplica de manera continua en al menos el 80% de una superficie del rebaje y en particular al menos el 90% de la superficie del rebaje. Más particularmente, el adhesivo puede aplicarse a toda la superficie del rebaje. Dicho de otro modo, el adhesivo se extiende de manera continua a lo largo de la superficie del rebaje.

De ese modo, el adhesivo se extiende de manera continua a lo largo de toda la sección de reparación, en la que las

fibras de carbono del cordón de larguero se han interrumpido después de la retirada de la parte dañada y se han conectado al adhesivo.

5 En una realización preferida de la invención, el adhesivo es una película adhesiva eléctricamente conductora. De ese modo, una corriente de rayo procedente del impacto de un rayo puede transferirse a través del parche. En particular, la película adhesiva conductora puede comprender una capa de adhesivo y una capa de material conductor. La capa de material conductor puede comprender fibras de carbono o mallas metálicas, por ejemplo.

10 En una realización preferida adicional de la invención, el al menos un parche está dotado de una capa desprendible sobre una superficie superior y/o una superficie inferior del parche, mediante lo cual la capa desprendible se retira antes de ajustar el al menos un parche en el rebaje. La capa desprendible puede ser una capa de protección de nailon, poliéster o Teflon no poroso. De ese modo, la superficie del parche está protegida frente a la contaminación y se logra la activación de la superficie tras la retirada de la capa desprendible para potenciar la unión adhesiva.

15 En otra realización preferida de la invención, el material de plástico reforzado con fibra de carbono del cordón de larguero se proporciona como elementos de carbono obtenidos por pultrusión. Se trata en particular de fibras de carbono previamente curadas, en las que la matriz ya está endurecida, por ejemplo, mediante un procedimiento de pultrusión. Por medio del uso de elementos de carbono obtenidos por pultrusión, se elimina el riesgo de introducir arrugas durante la reparación, que pueden conducir a un daño estructural adicional del cordón de larguero durante la  
20 reparación. Los elementos de carbono obtenidos por pultrusión pueden tener una anchura en el intervalo de 20 mm a 500 mm, preferiblemente en el intervalo de 50 mm a 300 mm. Los elementos de carbono obtenidos por pultrusión pueden tener un grosor en el intervalo de 0,1 mm a 10 mm, preferiblemente en el intervalo de 2 mm a 5 mm. Preferiblemente, los elementos de carbono obtenidos por pultrusión del cordón de larguero y de los parches tienen un grosor igual o sustancialmente igual.

25 Una opción es que el cordón de larguero y/o el al menos un parche estén dotados de una matriz de al menos dos elementos de carbono obtenidos por pultrusión dispuestos en paralelo entre sí en una dirección de fibra F del material de plástico reforzado con fibra de carbono. Dado que el material de plástico reforzado con fibra de carbono relativamente rígido está dispuesto más alejado de un eje neutro de la pala de turbina eólica, mediante lo cual se  
30 aumenta la inercia en sección de la pala de turbina eólica, se mejora la distribución de rigidez a lo largo del cordón de larguero.

Además, una opción es que el cordón de larguero y/o el al menos un parche estén dotados de una pila de al menos dos elementos de carbono obtenidos por pultrusión dispuestos apilados uno encima de otro. De ese modo, puede  
35 mejorarse la rigidez del cordón de larguero.

En aún otra realización opcional de la invención, al menos dos parches se ajustan en el rebaje, mediante lo cual se aplica adhesivo encima de al menos uno de los al menos dos parches. En particular, el adhesivo puede ser uno que puede aplicarse al rebaje tal como se describió anteriormente. Los al menos dos parches pueden tener ángulos de  
40 achaflanado  $\Theta_{50}$  iguales o sustancialmente iguales. De ese modo, se aumenta adicionalmente la estabilidad de la unión entre los parches y el cordón de larguero.

En una realización preferida de la invención, se retira material de plástico reforzado con fibra de carbono dañado a partir del cordón de larguero por medio de abrasión y/o lijado. Una herramienta para abrasión y/o lijado puede  
45 manipularse de manera manual o preferiblemente mediante una máquina de CNC. De ese modo, el material de plástico reforzado con fibra de carbono dañado se retira de una manera precisa y rentable.

En una realización preferida adicional de la invención, el al menos un parche se une con el cordón de larguero por medio de tratamiento en bolsa de vacío usando un conjunto de tratamiento en bolsa de vacío. De esta manera, la  
50 unión entre los parches y el cordón de larguero se establece de manera uniforme a través de la zona dañada y de ese modo se vuelve muy estable. El conjunto de tratamiento en bolsa de vacío puede comprender: una fuente de vacío, una bolsa de vacío, un orificio de vacío, un material de ventilación, una lámina desprendible no perforada, un material de purga y una lámina desprendible perforada. En particular, la bolsa de vacío es una lámina flexible hermética colocada sobre una disposición que comprende el material de ventilación, la lámina desprendible no  
55 perforada, el material de purga y la lámina desprendible perforada. La disposición puede sellarse por medio de sellantes a lo largo de sus bordes. La bolsa de vacío puede estar dotada de los orificios de vacío, que pueden estar conectados a la fuente de vacío. Durante el curado, se evacúa la bolsa de vacío y se compacta la disposición a presión atmosférica o de autoclave. Puede aplicarse vacío a la bolsa de vacío durante todo el ciclo de curado. Preferiblemente, la disposición comprende el material de ventilación, la lámina desprendible no perforada, el material  
60 de purga y la lámina desprendible perforada que están dispuestos en el orden indicado estando la lámina desprendible perforada dispuesta en contacto con la superficie superior del parche. En particular, el material de ventilación es un material tejido de manera suelta o no tejido que actúa como trayecto de vacío continuo sobre una parte pero no entra en contacto con adhesivo del parche, por ejemplo. Particularmente, el material de purga es una capa no estructural de material usada para permitir un escape de exceso de gas y resina durante el curado. El  
65 material de purga puede retirarse después de completarse el procedimiento de curado y cualquier exceso de resina con el mismo. La película desprendible perforada puede ser una película desprendible maciza que se ha perforado

con un patrón de orificios, que puede ser uniforme. El efecto de la película desprendible perforada es restringir la cantidad de purga de resina que puede pasar a través de la película desprendible perforada. La lámina desprendible no perforada puede usarse en el procedimiento de tratamiento en bolsa de vacío que puede estar en contacto directo con una parte sin unión. El conjunto de tratamiento en bolsa de vacío puede retirarse fácilmente después de unir el parche con el cordón de larguero.

Además, se prefiere que el al menos un parche se una con el cordón de larguero aplicando calor al al menos un parche, en particular por medio de una cubierta de calentamiento. La aplicación de calor puede proporcionarse adicionalmente al tratamiento en bolsa de vacío. En particular, la cubierta de calentamiento y/o un termopar pueden estar encerrados por la bolsa de vacío del conjunto de tratamiento en bolsa de vacío. De ese modo, el procedimiento de tratamiento en bolsa de vacío puede controlarse y certificarse.

En aún otra realización preferida, al menos una chapa de refuerzo se dispone encima del al menos un parche y el cordón de larguero y la al menos una chapa de refuerzo se une con el al menos un parche y el cordón de larguero. La chapa de refuerzo puede comprender o estar reforzada de material de plástico reforzado con fibra de carbono. En particular, la chapa de refuerzo puede estar realizada de elementos de carbono obtenidos por pultrusión. La chapa de refuerzo puede diseñarse como el parche tal como se describió anteriormente. Puede aplicarse adhesivo tal como se describió anteriormente entre la chapa de refuerzo y el parche y el cordón de larguero. La chapa de refuerzo puede disponerse solapando una línea de límite entre el parche y el cordón de larguero. La chapa de refuerzo puede estar dotada de una sección decreciente que tiene un ángulo de sección decreciente  $\Theta_{70}$  en el intervalo de  $0,2^\circ$  a  $10^\circ$ , preferiblemente en el intervalo de  $0,4^\circ$  a  $7^\circ$  y más preferiblemente en el intervalo de  $0,6^\circ$  a  $5^\circ$ . La longitud de la chapa de refuerzo puede estar en el intervalo de 50 mm a 2.000 mm y preferiblemente en el intervalo de 200 mm a 1.000 mm. La chapa de refuerzo proporciona un segundo trayecto de carga redundante a través de la reparación y de ese modo proporciona una unión particularmente estable entre el parche y el cordón de larguero a costa de una adición de peso mínima al cordón de larguero.

Ventajas, características y detalles adicionales de la invención se desprenden de la siguiente descripción, en la que, haciendo referencia a las figuras 1 a 8 de dibujos, se describen en detalle realizaciones de la presente invención.

En los dibujos, se muestra esquemáticamente:

la figura 1 muestra una vista en sección a lo largo de un plano transversal de una pala de turbina eólica,

la figura 2 muestra una vista en perspectiva de un parche según una primera realización,

la figura 3 muestra una vista de lado largo en sección del parche de la figura 2,

la figura 4 muestra una vista de lado corto en sección del parche de la figura 2,

la figura 5 muestra una vista en perspectiva de un parche según una segunda realización,

la figura 6 muestra una vista de lado largo en sección del parche de la figura 5,

la figura 7 muestra una vista de lado corto en sección del parche de la figura 5,

la figura 8 muestra una vista en perspectiva en una etapa del método según la invención,

la figura 9 muestra una vista en sección lateral en la etapa del método según la invención de la figura 8,

la figura 10 muestra una vista lateral en una etapa adicional del método según la invención tras la etapa de la figura 9,

la figura 11 muestra una vista en sección lateral en aún otra etapa del método según la invención tras la etapa de la figura 10, y

la figura 12 muestra una vista lateral en un parche según una tercera realización.

Los mismos objetos en las figuras 1 a 12 se denominan con el mismo número de referencia. Si hay más de un objeto de la misma clase en una de las figuras, los objetos se numeran en orden ascendente estando el número ascendente del objeto separado de su número de referencia por un punto.

La figura 1 es una vista en sección a lo largo de un plano transversal de una primera realización de una pala 10 de turbina eólica según la invención. La pala 10 de turbina eólica tiene un borde 11 de salida y un borde 12 de ataque. La pala 10 de turbina eólica comprende una carcasa 20 y un larguero 30. El larguero 30 comprende dos cordones 40.1, 40.2 de larguero, que están orientados uno hacia el otro y están conectados entre sí por medio de una banda 35 de larguero.

La figura 2 es una vista en perspectiva de un parche 50 según una primera realización, que puede usarse en el método según la invención. El parche 50 es un elemento 51 de carbono obtenido por pultrusión con fibras unidireccionales dispuestas en la dirección de la flecha F. El parche 50 comprende una capa 52.1 desprendible dispuesta sobre una superficie superior del parche 50 y una capa 52.2 desprendible dispuesta sobre una superficie inferior del parche 50. El parche 50 tiene un grosor  $T_{50}$  en el intervalo de 1 mm a 5 mm y una anchura  $W_{50}$  en el intervalo de 50 mm a 300 mm.

La figura 3 es una vista de lado largo en sección del parche 50 de la figura 2 a lo largo de la línea de corte III-III. La figura 4 es una vista de lado corto en sección del parche 50 de la figura 2 a lo largo de la línea de corte IV-IV.

La figura 5 es una vista en perspectiva de un parche 50 según una segunda realización, que puede usarse en el método según la invención. El parche 50 es un elemento 51 de carbono obtenido por pultrusión con fibras unidireccionales en la dirección de la flecha F. El parche 50 comprende una capa 52.1 desprendible dispuesta sobre una superficie superior del parche 50 y una capa 52.2 desprendible dispuesta sobre una superficie inferior del parche 50. El parche 50 tiene un grosor  $T_{50}$  en el intervalo de 1 mm a 5 mm y una anchura  $W_{50}$  en el intervalo de 50 mm a 300 mm. El parche 50 está achaflanado en la superficie inferior del parche 50 en la dirección de fibra F. El achaflanado se proporciona en los lados largos del parche 50 no estando achaflanada una porción central del parche 50, es decir estando dispuesta en paralelo a la superficie superior.

La figura 6 es una vista de lado largo en sección del parche 50 de la figura 5 a lo largo de la línea de corte VI-VI. En este caso, los ángulos de achaflanado  $\Theta_{50.1}$ ,  $\Theta_{50.2}$  de los chaflanes están marcados. Ambos ángulos de achaflanado  $Q_{50.1}$ ,  $Q_{50.2}$  están en el intervalo de  $1^\circ$  a  $5^\circ$  y son iguales entre sí en esta realización.

La figura 7 es una vista de lado corto en sección del parche 50 de la figura 5 a lo largo de la línea de corte VII-VII. Dado que la porción central del parche 50 a lo largo de la línea de corte VII-VII no está achaflanada sino que está dispuesta en paralelo a la superficie superior del parche 50, la figura 7 es igual a la figura 4.

La figura 8 es una vista en perspectiva en una etapa del método según la invención. En esta etapa, se ajustan dos parches 50.1, 50.2 en un rebaje 43 del cordón 40 de larguero, que es uno de los cordones 40.1, 40.2 de larguero de la pala 10 de turbina eólica de la figura 1. El cordón 40 de larguero comprende una matriz de una primera pila de elementos 41.1, 41.2, 41.3, 41.4 de carbono obtenidos por pultrusión y una segunda pila de elementos 41.5, 41.6, 41.7, 41.8 de carbono obtenidos por pultrusión, estando la primera y segunda pilas dispuestas en paralelo entre sí en la dirección de fibra F de los elementos 41.1...41.8 de carbono obtenidos por pultrusión. Además, los parches 50.1, 50.2 comprenden una matriz de elementos 51.1, 51.2 de carbono obtenidos por pultrusión, no siendo visibles los elementos 51 de carbono obtenidos por pultrusión del parche 50.2 en esta perspectiva porque están cubiertos por el parche 50.1. Hay elementos 42.1 y 42.2 de cuña dispuestos en una dirección transversal adyacente a los elementos 41.1...41.8 de carbono obtenidos por pultrusión. El rebaje 43 dentro de ambas pilas de los elementos 41.1...41.8 de carbono obtenidos por pultrusión corresponde para ajustar los parches 50.1, 50.2. En particular, el rebaje 43 presenta sección decreciente en la dirección de fibra F con ángulos de sección decreciente  $\Theta_{43.1}$ ,  $\Theta_{43.2}$  que son iguales entre sí en esta realización. Los ángulos de sección decreciente  $\Theta_{43.1}$ ,  $\Theta_{43.2}$  corresponden a los ángulos de achaflanado  $\Theta_{50.1}$ ... $\Theta_{50.4}$  de los parches 50.1, 50.2. Los parches 50.1, 50.2 se ajustan con sus longitudes  $L_{50.1}$ ,  $L_{50.2}$  medidas en la dirección de fibra F en el rebaje 43.

La figura 9 es una vista en sección lateral en la etapa del método según la invención de la figura 8 a lo largo de la línea de corte IX-IX del cordón 40 de larguero y el parche 50. En esta realización, se han retirado porciones de los dos primeros elementos 41.1, 41.2 de carbono obtenidos por pultrusión de la primera matriz del cordón 40 de larguero para formar el rebaje 43. Se ha aplicado adhesivo 60.1 entre los parches 50.1, 50.2 y se ha aplicado adhesivo 60.2 entre el parche 50.2 y el cordón 40 de larguero. El grosor  $T_{50.1}$  del parche 50.1 corresponde al grosor  $T_{41.1}$  del elemento 41.1 de carbono obtenido por pultrusión. Además, el grosor del parche 50.2 corresponde al grosor del elemento 41.2 de carbono obtenido por pultrusión.

La figura 10 es una vista lateral en una etapa adicional del método según la invención tras la etapa de la figura 9. En este caso, los parches 50.1, 50.2 se unen con el cordón 40 de larguero por medio de tratamiento en bolsa de vacío usando un conjunto 80 de tratamiento en bolsa de vacío dispuesto encima de los parches 50.1, 50.2 y el cordón 40 de larguero. El conjunto de tratamiento en bolsa de vacío comprende una fuente de vacío (no mostrada), una bolsa 81 de vacío, dos orificios 82.1, 82.2 de vacío ajustados en la bolsa 81 de vacío y una disposición que consiste en un material 83.1, 83.2, 83.3 de ventilación, una lámina 86 desprendible no perforada, un material 87 de purga y una lámina 88 desprendible perforada. La disposición está encerrada por la bolsa 81 de vacío, que se sella por medio de sellantes 89.1, 89.2, 89.3, 89.4 al cordón 40 de larguero. Un termopar 84 y una cubierta 85 de calentamiento están dispuestos entre el material 83.1, 83.2, 83.3 de ventilación y la lámina 86 desprendible no perforada. Se conducen cables de potencia y de control del termopar 84 y la cubierta 85 de calentamiento fuera de la bolsa 81 de vacío. El termopar 84 y la cubierta 85 de calentamiento pueden estar conectados a una unidad de control (no mostrada) para el control de temperatura ajustada de la cubierta 85 de calentamiento.

En funcionamiento, se evacúa la bolsa 81 de vacío para compactar la disposición a presión atmosférica. El material

5 83.1, 83.2, 83.3 de ventilación actúa como trayecto de vacío continuo pero no entra en contacto con adhesivo de los parches 50.1, 50.2 previamente curados. El material 87 de purga permite el escape de exceso de gas y resina durante el curado. El efecto de la película 88 desprendible perforada es que restringe la cantidad de purga de resina que puede pasar a través de la película 88 desprendible perforada. La lámina 86 desprendible no perforada está en contacto directo con la cubierta 85 de calentamiento, de modo que no se une. Después de la operación, puede retirarse el conjunto 80 de bolsa de vacío y se ha realizado la reparación, de modo que se obtiene un cordón 40 de larguero reparado.

10 La figura 11 es una vista en sección lateral en una etapa adicional del método según la invención tras la etapa de la figura 10. En este caso, los parches 50.1, 50.2 se han unido con el cordón 40 de larguero y se ha obtenido un cordón 40 de larguero reparado.

15 Además, se han dispuesto adicionalmente chapas 70.1, 70.2 de refuerzo realizadas de elementos de carbono obtenidos por pultrusión encima del parche 50.1 y el cordón 40 de larguero, en particular encima del elemento 41.1 de carbono obtenido por pultrusión del cordón 40 de larguero, para reforzar la unión de los parches 50.1, 50.2 con el cordón 40 de larguero. Por medio de adhesivo 60.3, 60.4 se unen las chapas 70.1, 70.2 de refuerzo con el cordón 40 de larguero y el parche 50.1. Las chapas 70.1, 70.2 de refuerzo están dotadas de sección decreciente que tiene un ángulo de sección decreciente  $\Theta_{70}$ .

20 La figura 12 es una vista lateral en un parche 50 según una tercera realización. En este caso, se proporcionan primeros chaflanes que tienen un primer ángulo de achaflanado  $\Theta_{50.1A}$ ,  $\Theta_{50.2A}$  que son iguales entre sí en los lados largos del parche 50. Se proporcionan segundos chaflanes que tienen segundos ángulos de achaflanado  $\Theta_{50.1B}$ ,  $\Theta_{50.2B}$  que son mayores que los primeros ángulos de achaflanado  $\Theta_{50.1A}$ ,  $\Theta_{50.2A}$  adyacentes a los primeros chaflanes en una dirección orientada hacia una porción central del parche 50. La superficie inferior de la porción central del parche 50 es paralela a la superficie superior del parche 50.

25

**REIVINDICACIONES**

1. Método de reparación de un cordón (40) de larguero dañado de una pala (10) de turbina eólica de una turbina eólica, comprendiendo el cordón (40) de larguero dañado material de plástico reforzado con fibra de carbono y teniendo el método las etapas de:
- (a) retirar una parte de material de plástico reforzado con fibra de carbono dañada a partir del cordón (40) de larguero dañado para obtener un rebaje (43) correspondiente en el cordón (40) de larguero dañado,
- (b) aplicar un adhesivo (60) al rebaje (43),
- (c) ajustar al menos un parche (50) que comprende material de plástico reforzado con fibra de carbono en el rebaje (43), y
- (d) unir el al menos un parche (50) con el cordón (40) de larguero para obtener un cordón (40) de larguero reparado, caracterizado porque el material de plástico reforzado con fibra de carbono del parche (50) se proporciona como elementos (51) de carbono obtenidos por pultrusión.
2. Método de reparación de un cordón (40) de larguero dañado según la reivindicación 1, caracterizado porque el rebaje (43) presenta sección decreciente en al menos una dirección con un ángulo de sección decreciente  $\Theta_{43}$  y/o al menos uno del al menos un parche (50) está achaflanado en al menos una dirección con un ángulo de achaflanado  $\Theta_{50}$ .
3. Método de reparación de un cordón (40) de larguero dañado según la reivindicación 2, caracterizado porque al menos una de la al menos una dirección de la sección decreciente y/o al menos una de la al menos una dirección del achaflanado es una dirección de fibra F del material de plástico reforzado con fibra de carbono.
4. Método de reparación de un cordón (40) de larguero dañado según la reivindicación 2 ó 3, caracterizado porque el ángulo de sección decreciente  $\Theta_{43}$  corresponde al ángulo de achaflanado  $\Theta_{50}$ .
5. Método de reparación de un cordón (40) de larguero dañado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el adhesivo (60) se aplica de manera continua sobre al menos el 80% de una superficie del rebaje (43).
6. Método de reparación de un cordón (40) de larguero dañado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el adhesivo (60) es una película adhesiva eléctricamente conductora.
7. Método de reparación de un cordón (40) de larguero según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el al menos un parche (50) está dotado de una capa (52) desprendible sobre una superficie superior y/o una superficie inferior del parche (50), mediante lo cual la capa (52) desprendible se retira antes de ajustar el al menos un parche (50) en el rebaje (43).
8. Método de reparación de un cordón (40) de larguero dañado según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque

el material de plástico reforzado con fibra de carbono del cordón (40) de larguero se proporciona como elementos (41) de carbono obtenidos por pultrusión.

- 5 9. Método de reparación de un cordón (40) de larguero dañado según la reivindicación 8,  
caracterizado porque
- 10 el cordón (40) de larguero y/o el al menos un parche (50) están dotados de una matriz de al menos dos  
elementos (41, 51) de carbono obtenidos por pultrusión dispuestos en paralelo entre sí en una dirección de  
fibra F del material de plástico reforzado con fibra de carbono.
10. Método de reparación de un cordón (40) de larguero dañado según la reivindicación 8 ó 9,  
15 caracterizado porque
- el cordón (40) de larguero y/o el al menos un parche (50) están dotados de una pila de al menos dos  
elementos (41, 51) de carbono obtenidos por pultrusión dispuestos apilados uno encima de otro.
- 20 11. Método de reparación de un cordón (40) de larguero dañado según cualquiera de las reivindicaciones  
anteriores,  
caracterizado porque
- 25 al menos dos parches (50) se ajustan en el rebaje (43), mediante lo cual se aplica adhesivo (60) encima de  
al menos uno de los al menos dos parches (50).
12. Método de reparación de un cordón (40) de larguero dañado según cualquiera de las reivindicaciones  
anteriores,  
30 caracterizado porque
- el material de plástico reforzado con fibra de carbono dañado se retira del cordón (40) de larguero por  
medio de abrasión y/o lijado.
- 35 13. Método de reparación de un cordón (40) de larguero dañado según cualquiera de las reivindicaciones  
anteriores,  
caracterizado porque
- 40 el al menos un parche (50) se une con el cordón (40) de larguero por medio de tratamiento en bolsa de  
vacío usando un conjunto (80) de tratamiento en bolsa de vacío.
- 45 14. Método de reparación de un cordón (40) de larguero dañado según cualquiera de las reivindicaciones  
anteriores,  
caracterizado porque
- 50 el al menos un parche (50) se une con el cordón (40) de larguero aplicando calor al al menos un parche  
(50), en particular por medio de una cubierta (85) de calentamiento.
15. Método de reparación de un cordón (40) de larguero dañado según cualquiera de las reivindicaciones  
anteriores,  
55 caracterizado porque
- al menos una chapa (70) de refuerzo se dispone encima del al menos un parche (50) y el cordón (40) de  
larguero y la al menos una chapa (70) de refuerzo se une con el al menos un parche (50) y el cordón (40)  
de larguero.
- 60

FIG 1

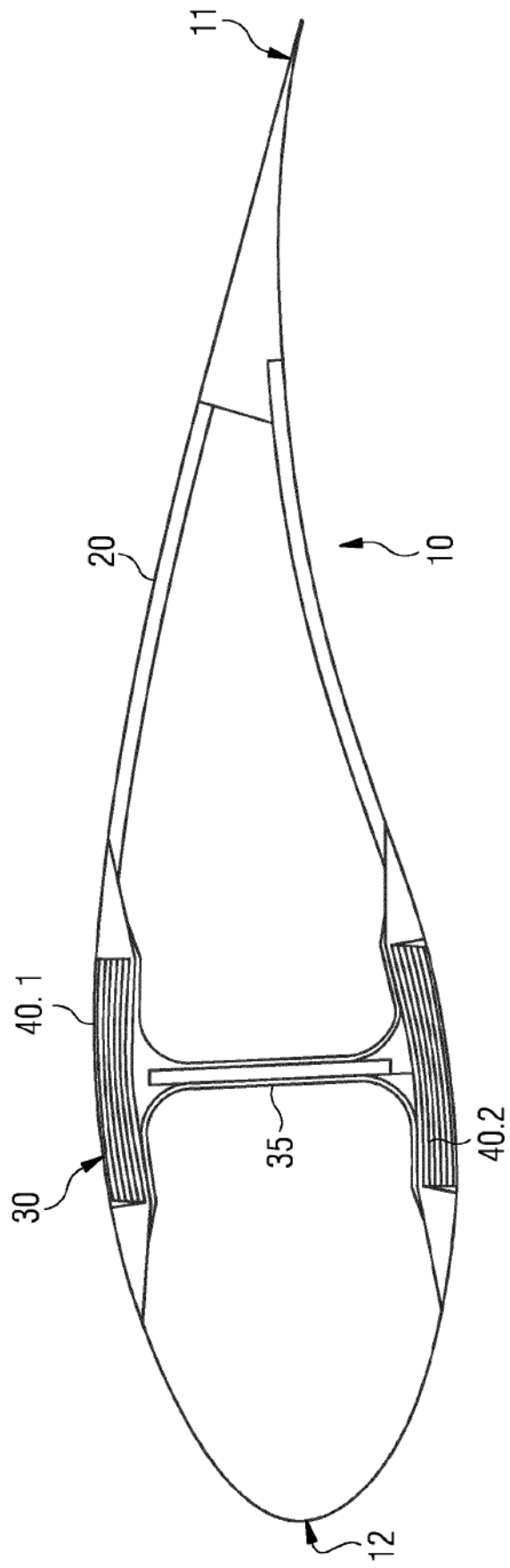


FIG 2

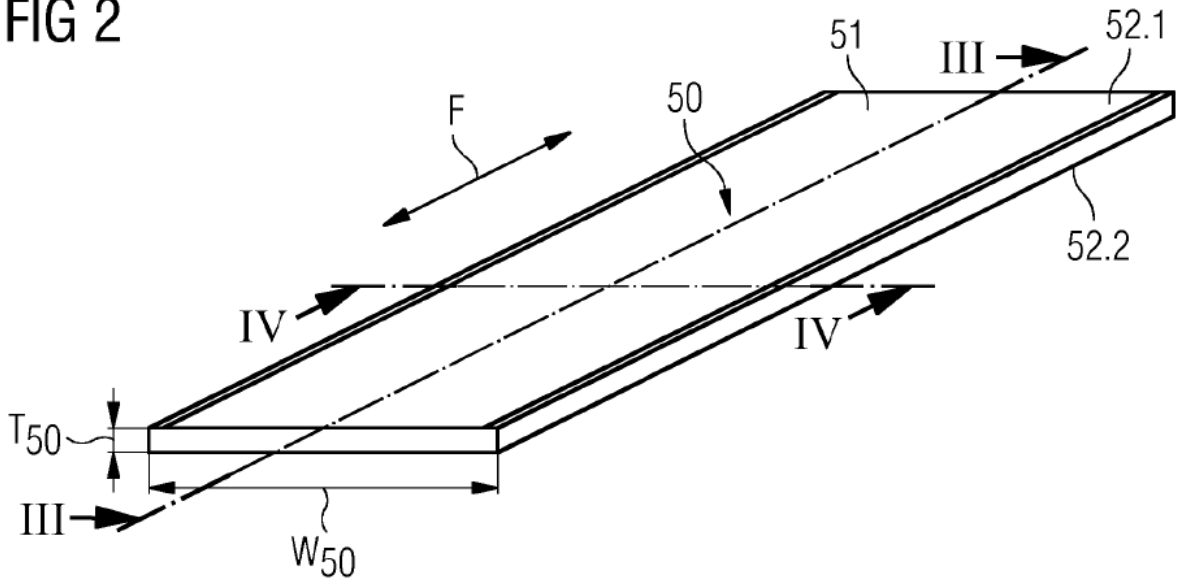


FIG 3

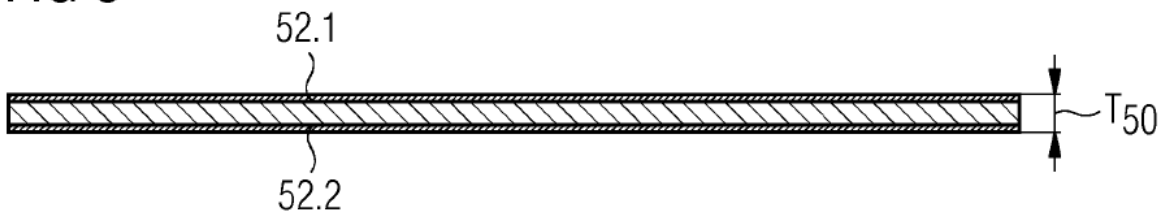


FIG 4

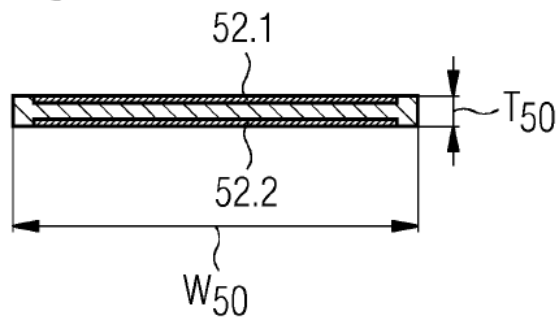


FIG 5

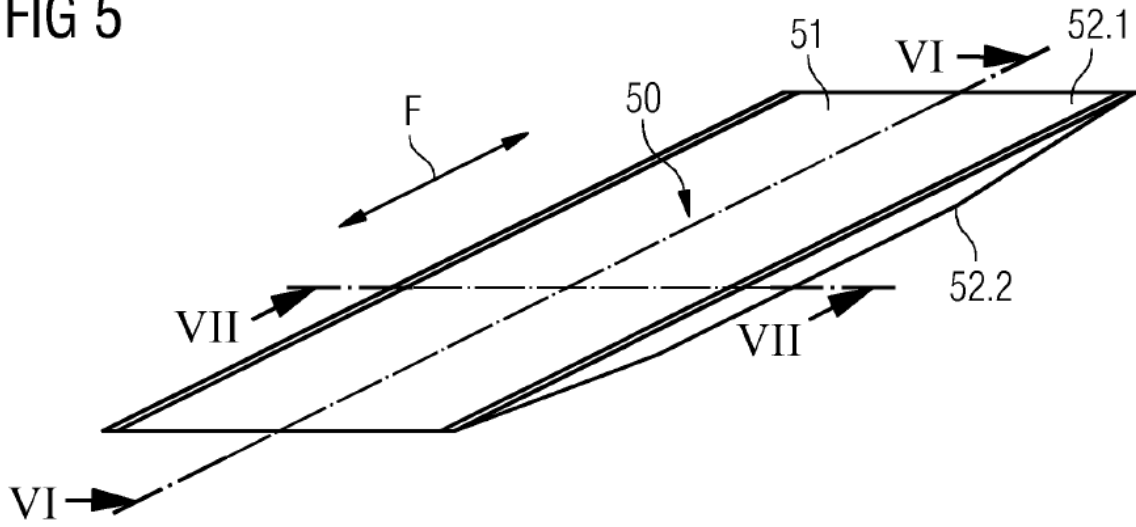


FIG 6

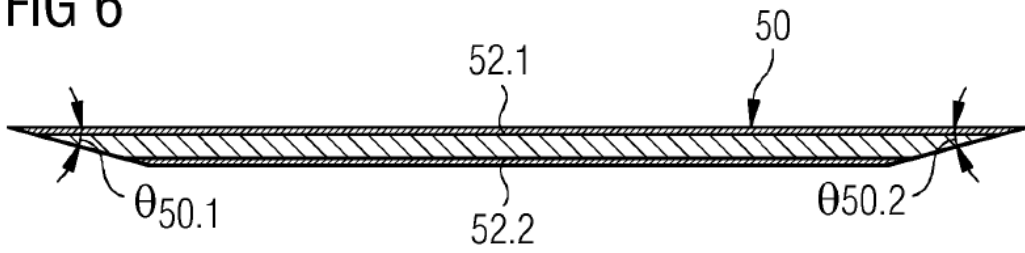
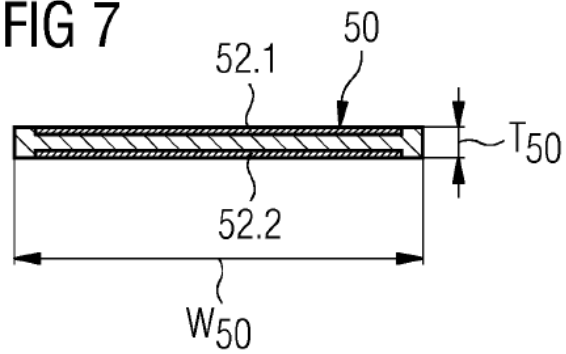


FIG 7



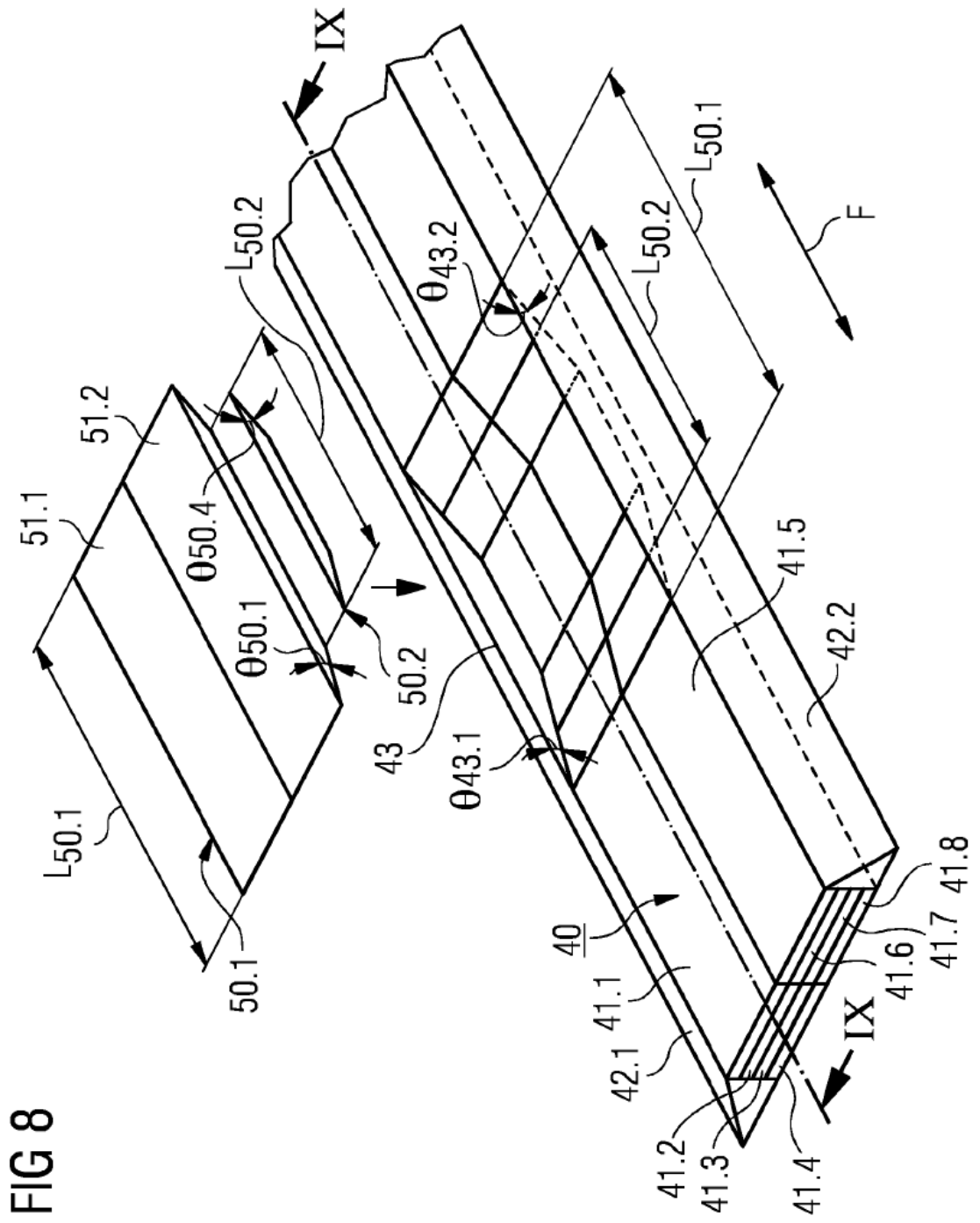
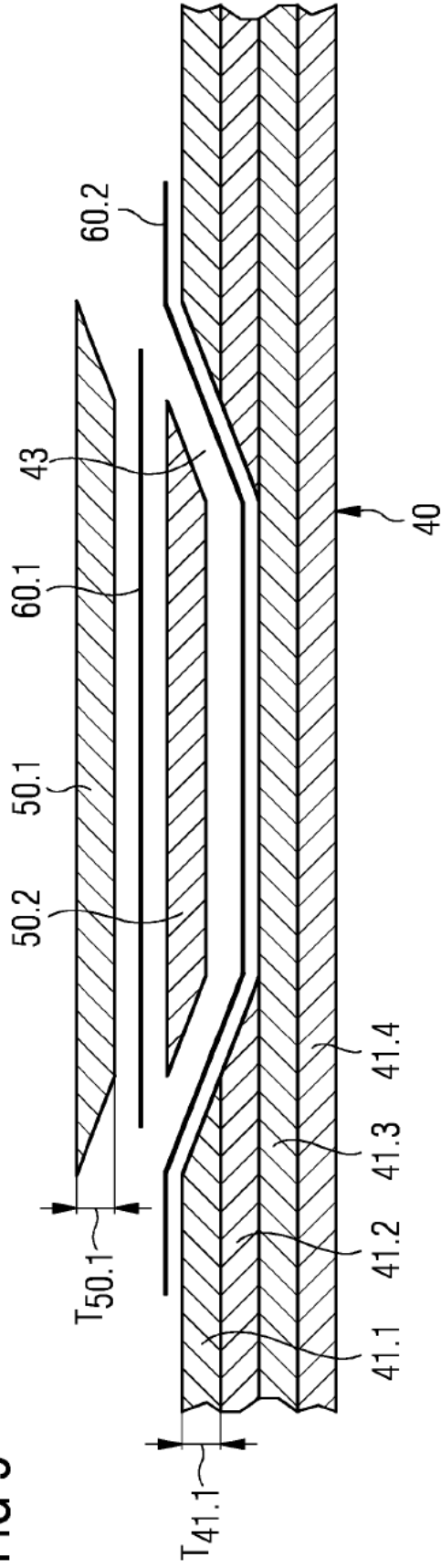


FIG 9



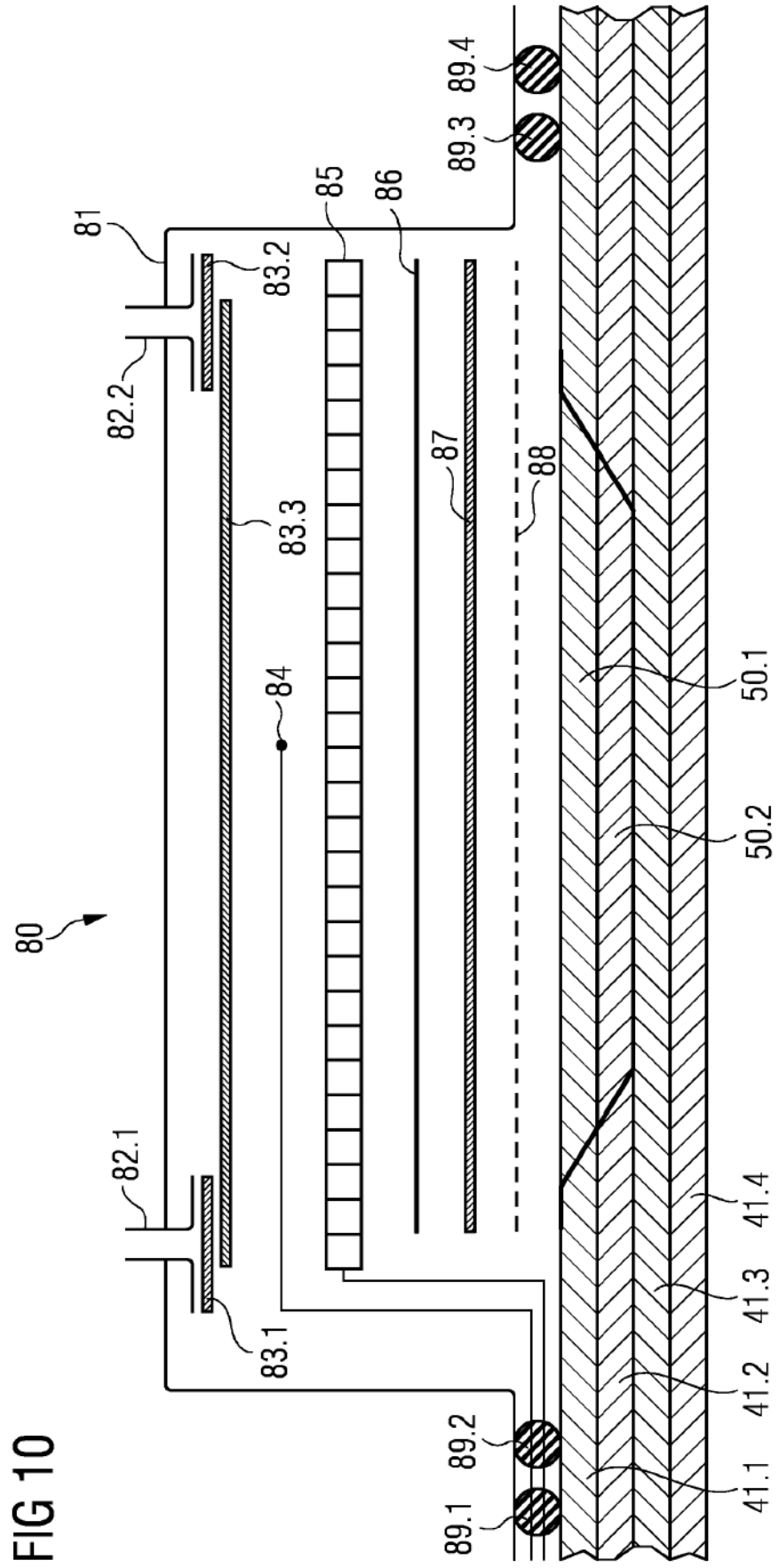


FIG 11

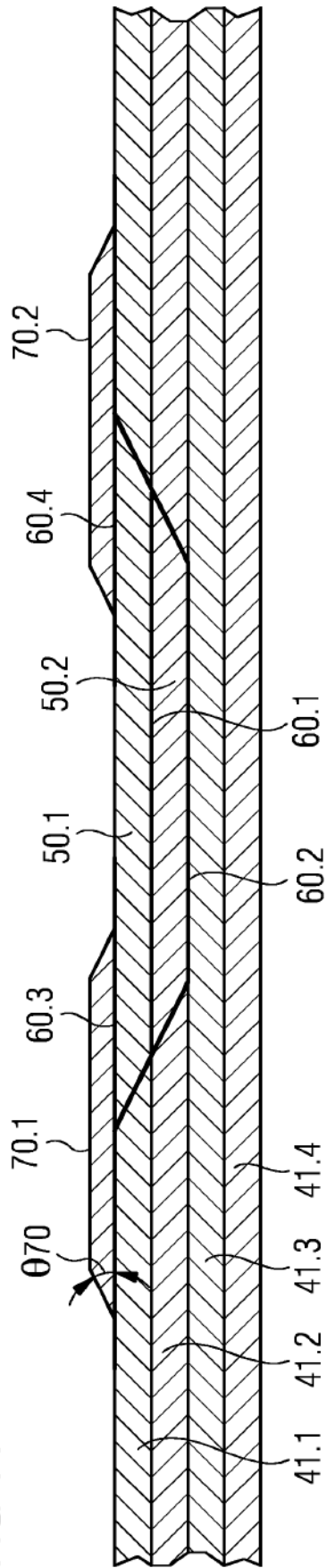


FIG 12

