

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 549 032**

51 Int. Cl.:

**B29C 70/48** (2006.01)

**B29C 70/86** (2006.01)

**B29L 31/08** (2006.01)

**F03D 1/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.11.2011 E 11187863 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.07.2015 EP 2589796**

54 Título: **Fabricación de una sección de raíz**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**22.10.2015**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Wittelsbacherplatz 2  
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**MADSEN, KRISTIAN LEHMANN y  
SCHIBSBYE, KARSTEN**

74 Agente/Representante:

**LOZANO GANDIA, José**

ES 2 549 032 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).

**FABRICACIÓN DE UNA SECCIÓN DE RAÍZ**

**DESCRIPCIÓN**

5 La presente invención se refiere a un método de fabricación de una sección de raíz de una pala de rotor de una turbina eólica. También se refiere a una disposición de sujeción de varilla de soporte para tal fin y a una sección de raíz de una pala de rotor de una turbina eólica.

10 En turbinas eólicas la unión de la sección de raíz de las palas de rotor al buje de rotor de la turbina eólica es una conexión muy crítica. De este modo, debe asegurarse que la sección de raíz sea lo suficientemente estable como para transferir las fuerzas de la pala de turbina eólica al buje. Como interfaz con el buje se conoce usar piezas de metal que se insertan o unen de otra manera al mismo extremo de la sección de raíz. Por ejemplo, el documento US 4.915.590 enseña el uso de las denominadas varillas de bombeo que se colocan dentro del cuerpo principal de una pala de rotor y en las que pueden enroscarse pernos que conectan una sección de interfaz del buje con la propia

15 Tales varillas de bombeo pueden pegarse por ejemplo en el cuerpo principal. Tienen roscas en su interior para recibir los pernos procedentes del buje. El documento WO 03/057457 A1 describe la fabricación de elementos de inserción con superficies cóncava y convexa complementarias, de modo que los elementos de inserción pueden disponerse en un círculo en la sección de raíz. Cada elemento de inserción tiene un casquillo para su conexión a una brida.

20 También se conoce el uso de un cilindro cónico con orificios roscados para una unión de varillas similar. La pala de rotor se adhiere entonces al cilindro cónico o bien mediante encolado o bien poniendo un material laminado de curado directamente en contacto con la raíz de metal. El cilindro cónico puede estar fabricado, por ejemplo, de aluminio.

25 Las palas de rotor de turbinas eólicas actuales están hechas habitualmente de plástico reforzado con fibra. Para palas que superan una longitud de 30 metros, a menudo es un problema que las fibras de refuerzo predominantes discurren en una dirección longitudinal de la pala de rotor. Sólo algunas fibras son circunferenciales, lo que puede llevar a una ovalización del extremo de raíz (también denominado anillo de raíz) una vez se retira la pala de la herramienta de moldeo en la que se ha producido. Una vez que la pala se somete a las fuerzas de la gravedad sin tener un soporte, se produce la ovalización. Esto representa un problema cuando se monta la pala en el buje de la turbina eólica o cuando tiene lugar un mecanizado mecánico adicional del extremo de raíz, por ejemplo la perforación de orificios.

35 El objetivo de la invención es proporcionar una posibilidad para producir de manera mejorada un extremo de raíz de una pala de rotor de turbina eólica.

Este objetivo se cumple con un método según la reivindicación 1 y con una disposición de sujeción de varilla de soporte según la reivindicación 8.

40 Por consiguiente, en el contexto del método mencionado anteriormente, se produce una mejora mediante las etapas siguientes:

45 - ensamblar una pluralidad de varillas de soporte con una sección de interfaz a una interfaz de buje de la turbina eólica de una forma esencialmente circular de modo que haya huecos entre las varillas de soporte,

- disponer primeras fibras en los huecos, primeras fibras que son física y/o químicamente compatibles con un material de inyección,

50 - colocar una primera herramienta de moldeo a lo largo de una superficie externa de la forma circular y una segunda herramienta de moldeo a lo largo de una superficie interna de la forma circular, con lo que un espacio entre la superficie externa de la forma circular y la primera herramienta de moldeo y/o entre la superficie interna de la forma circular y la segunda herramienta de moldeo se rellena con segundas fibras que son física y/o químicamente compatibles con el material de inyección,

55 - tratar el material de inyección de modo que se una con las primeras fibras.

Entre las varillas de soporte a lo largo de la extensión circular de la forma circular existen huecos de modo que las varillas de soporte, que preferiblemente están alineadas en paralelo entre sí con respecto a su extensión longitudinal, se mantienen separadas entre sí. Estos huecos sirven como espacio en el que puede introducirse un material de inyección, por ejemplo una resina, que constituirá el cuerpo principal de la pala de rotor, entre las varillas de soporte. Una forma esencialmente circular también comprende formas ovaladas que varían en una medida de hasta el 30% entre su diámetro más grande y más pequeño.

65 Con el fin de proporcionar la estabilidad deseada en la dirección longitudinal de la pala de rotor se introducen fibras en los huecos. De este modo, las varillas de soporte funcionan en primer lugar como soporte para las primeras fibras

entre las mismas y, en segundo lugar, como una especie de estructura de sujeción para la sección de interfaz al buje. Por tanto, las fibras se mantienen en su sitio durante el procedimiento de moldeo mediante las varillas de soporte que aseguran el mantenimiento de su orientación mientras se trata, es decir, se activa el material de inyección.

5 Esto significa que el material de inyección se conecta directamente con las fibras en un procedimiento de moldeo. Tal conexión directa es particularmente deseable porque las fibras que ya se han sometido a un procedimiento de moldeo de antemano son más caras y porque la interconexión entre tales paquetes previos y el resto del material de inyección que se inyecta más tarde es más difícil de establecer y generalmente más débil. Por tanto, puede  
10 concluirse que son más preferibles tales fibras no inyectadas previamente porque son más económicas de suministrar y sorprendentemente mucho más sencillas de manejar en el procedimiento de fabricación.

15 El material de inyección, preferiblemente una resina, y las fibras son física y/o químicamente compatibles entre sí, lo que significa que es posible una conexión firme entre las fibras y el material de inyección y el resultado del procedimiento de tratamiento del material de inyección es una composición de plástico reforzado con fibra. Puede indicarse en este contexto que el material de inyección puede inyectarse entre las herramientas de moldeo, sin embargo también puede succionarse en este espacio usando vacío, o de hecho ya puede estar en su sitio, por ejemplo usando los denominados productos preimpregnados (fibras que ya se han infiltrado con el material de inyección). En cualquier caso, el material de inyección se hace suficientemente líquido como para migrar entre las  
20 fibras y luego curarse para unirse firmemente con las mismas.

La alineación de fibras entre las varillas de soporte y por tanto a lo largo de las secciones de interfaz de las varillas de soporte proporciona una conexión muy estable del material compuesto de fibra-plástico con las secciones de interfaz de modo que pueden resistirse fuerzas importantes durante el funcionamiento de la pala de rotor. Por tanto, en particular, puede evitarse sin problemas una ovalización del extremo de raíz.

25 Las herramientas de moldeo primera y segunda pueden tener una forma sólida, por ejemplo pueden estar construidas como carcasas de metal con una forma de superficie que corresponde a una superficie interna o externa de una pala de rotor de turbina eólica (o de hecho sólo su extremo de raíz) que va a construirse. Sin embargo, al menos una de ellas también puede implementarse como una bolsa estanca al aire y material de inyección que puede expandirse mediante presión y/o vacío de modo que se presione firmemente contra la respectiva superficie de la forma circular. Las extensiones de las herramientas de moldeo primera y segunda limitan las superficies externa e interna del extremo de raíz de la pala de rotor.

35 Dicho de otro modo, las varillas de soporte junto con las fibras entre las mismas se disponen a lo largo de la forma circular y a continuación se someten a un procedimiento de moldeo de inserción que sirve para formar el extremo de raíz de la pala de rotor. En este contexto, puede indicarse que el extremo de raíz se produce preferiblemente de una sola pieza, es decir con una estructura completamente circular. Sin embargo, la expresión "extremo de raíz" también se refiere a una parte del extremo de raíz que puede ensamblarse con otras partes del extremo de raíz de modo que  
40 al final forme todo el extremo de raíz. Por tanto, la expresión "forma circular" también se refiere a una sección de la forma circular, por ejemplo a un semicírculo o similar.

45 El procedimiento de fabricación es preferiblemente de tal manera que en un primer extremo longitudinal de cada una de las varillas de soporte una sección de interfaz sobresale del cuerpo principal del extremo de raíz. Tal sección de interfaz comprende generalmente medios de conexión (tales como casquillos) adecuados para una unión de la pala de rotor a una interfaz del buje de la turbina eólica. Estos medios de conexión o bien tienen que dejarse accesibles o bien debe hacerse posible un acceso sencillo como consecuencia del procedimiento de fabricación, por ejemplo perforando un acceso a los medios de conexión.

50 La invención también se refiere a una disposición de sujeción de varilla de soporte para fabricar una sección de raíz de una pala de rotor de una turbina eólica. Según la invención tal disposición de sujeción de varilla de soporte comprende

55 - un conjunto de una pluralidad de varillas de soporte con una sección de interfaz a una interfaz de buje de la turbina eólica de una forma esencialmente circular de modo que haya huecos entre las varillas de soporte,

- primeras fibras en los huecos, primeras fibras que son física y/o químicamente compatibles con un material de inyección,

60 - un dispositivo de sujeción que sujeta las varillas de soporte en la forma esencialmente circular.

65 En esencia, la disposición de sujeción de varilla de soporte está constituida por las varillas de soporte y por las primeras fibras en los huecos entre las mismas y por un dispositivo de sujeción que sirve para sujetar las varillas de soporte, y por tanto indirectamente las primeras fibras en la forma circular. Esta sujeción es necesaria para el procedimiento de moldeo de inserción descrito anteriormente.

De este modo, el dispositivo de sujeción puede implementarse como una herramienta de soporte que de manera específica sirve para mantener las varillas de soporte en su sitio. Realizaciones particularmente preferidas de una herramienta de soporte de este tipo resultarán evidentes en el contexto de la descripción más adelante. Sin embargo, el dispositivo de sujeción también puede comprender la herramienta de moldeo primera y/o segunda o de hecho cualquier otra herramienta de moldeo adicional. En tal caso la respectiva herramienta de moldeo sirve para alinear las varillas de soporte a lo largo de su forma interna o externa, por ejemplo con ayuda de medios de fijación adicionales tales como adhesivos o similares.

Por último, la invención se refiere a un extremo de raíz de pala de rotor de una turbina eólica fabricado con un método según la invención. De este modo, también puede ocurrir que el extremo de raíz sea una pieza solidaria de toda la pala de rotor. Como se comentó anteriormente, tal extremo de raíz puede fabricarse de modo que sea particularmente estable, aparte del hecho de que el procedimiento de fabricación requiere menos tiempo y es menos costoso tanto con respecto al material como con respecto a los costes.

Las reivindicaciones dependientes proporcionan realizaciones y características de la invención particularmente ventajosas, tal como se expone en la siguiente descripción. De este modo, las características expuestas en el contexto del método también pueden implementarse en el contexto de la disposición de sujeción de varilla de soporte y viceversa.

Como ya se explicó, un espacio entre la superficie externa de la forma circular y la primera herramienta de moldeo y/o entre la superficie interna de la forma circular y la segunda herramienta de moldeo se rellena con segundas fibras que son física y/o químicamente compatibles con el material de inyección. De la manera más preferida, las primeras fibras y las segundas fibras comprenden el mismo material, lo que las hace más compatibles. Las segundas fibras funcionan generalmente como refuerzo adicional del extremo de raíz y pueden orientarse ventajosamente de una manera diferente a las primeras fibras. Por ejemplo, pueden alinearse y orientarse a lo largo de la extensión circunferencial del extremo de raíz. Esto proporciona un refuerzo particular que puede ayudar adicionalmente a evitar una ovalización del extremo de raíz una vez que abandona las herramientas de moldeo. Dicho de otro modo, las fibras no sólo se disponen en una zona interna del material de plástico reforzado, sino que también pueden llegar casi hasta las superficies de la pala de rotor y por consiguiente proporcionan una mayor resistencia frente a fuerzas durante el funcionamiento de la pala de rotor. Las segundas fibras, por ejemplo mechas y/o esteras de fibra (de vidrio) pueden fijarse a cualquiera de las herramientas de moldeo por ejemplo mediante vacío.

Ha resultado particularmente ventajoso que las primeras fibras comprendan un material de fibra de vidrio. Esto proporciona un material compuesto muy estable tras el procedimiento de moldeo.

Generalmente, las primeras fibras pueden orientarse en diferentes direcciones y usarse como fibras individuales que sólo se ensamblan de manera suelta entre las varillas de soporte. Sin embargo, se prefiere que las fibras comprendan una mecha de fibra con fibras orientadas esencialmente en una dirección principal. Tales mechas de fibra son materiales convencionales que pueden obtenerse fácilmente en el mercado. Pueden envolverse adicionalmente con una estructura de fibra en el exterior, de modo que se proporciona una especie de estructura tubular con fibras orientadas en su interior. La dirección principal de las fibras proporciona la posibilidad de orientar fácilmente todas o la mayor parte de las fibras entre las varillas de soporte. Además, las mechas de fibra tienen la ventaja de estar disponibles en tamaños preestablecidos particulares de modo que los tamaños de los huecos entre las varillas de soporte pueden elegirse, de hecho, dependiendo del tamaño de las mechas de fibra disponibles.

Aunque las fibras no se suministren en forma de mechas de fibra sino de fibras individuales, se prefiere que las fibras estén orientadas esencialmente en una dirección principal. Generalmente, eso significa también con respecto a las mechas de fibra, que la dirección principal es de manera preferible esencialmente paralela a los ejes longitudinales de las varillas de soporte. Esto significa que las varillas de soporte, que preferiblemente están alineadas en paralelo con respecto a sus orientaciones longitudinales, proporcionan también la dirección principal de orientación de las fibras. Por tanto, pueden soportar las fibras óptimamente y tal disposición ayudar a rellenar los huecos entre las varillas de soporte de manera completa y apropiada.

Adicionalmente, resulta útil en algunos casos envolver las varillas de soporte con un elemento de relleno, comprendiendo el elemento de relleno preferiblemente fibras y/o un tubo de plástico. Esto ayuda a hacer que la conexión entre las primeras fibras y las varillas de soporte (en particular las secciones de interfaz) sea más fuerte proporcionando superficies de las varillas de soporte que son más compatibles con las fibras de lo que sería por ejemplo una superficie de metal de las varillas de soporte.

Tal como se comentó anteriormente, con el fin de alinear las varillas de soporte en la forma circular, se usa un dispositivo de sujeción. En este contexto lo más preferido es el uso de una herramienta de soporte, de modo que preferiblemente el método según la invención comprende las etapas de fijar temporalmente la sección de interfaz de una varilla de soporte a una herramienta de soporte, herramienta de soporte que lo más preferiblemente comprende una brida de raíz, con lo que la varilla de soporte se fija a la brida de raíz. Tal brida de raíz tiene preferiblemente una forma esencialmente circular correspondiente a la forma circular que tendrán posteriormente las varillas de soporte.

Tal forma de la brida de raíz también puede implementarse disponiendo estructuras de fijación tales como orificios para unir las varillas de soporte a la brida en una forma circular. De hecho, la forma geométrica de la brida de raíz de la herramienta de soporte corresponde preferiblemente a la de una brida de raíz del buje de la turbina eólica a la que posteriormente se unirá el respectivo extremo de raíz. Dicho de otro modo, la forma geométrica de la brida de raíz de la herramienta de soporte y/o de sus estructuras de fijación coincide con la de la brida de raíz de la turbina eólica designada.

Con respecto a una varilla de soporte en el contexto de la invención, se prefiere que comprenda una forma hueca y esté abierta en un extremo longitudinal externo opuesto a la sección de interfaz. De este modo puede ser particularmente ligera desde el punto de vista constructivo y el material de inyección también puede introducirse dentro de la varilla de soporte. Por tanto, puede conseguirse una mejor conexión o efecto de unión entre el material de inyección y la varilla de soporte.

Además, una varilla de soporte comprende preferiblemente una sección de extremo de raíz tal como un casquillo o similar, en términos generales una interfaz para alojar un elemento de fijación conectado al buje, y una sección principal. La sección de extremo de raíz y la sección principal están conectadas entre sí a través de una zona de transición. De este modo la sección de extremo de raíz puede estabilizarse específicamente con el fin de formar una interfaz estable al buje, mientras que la sección principal no es necesariamente tan estable como la sección de extremo de raíz porque en realidad sólo sirve para sujetar las primeras fibras durante el procedimiento de fabricación.

En tal caso la sección principal se inserta preferiblemente en un lado interno de la sección de extremo de raíz en la zona de transición. Esto proporciona una interconexión firme de ambas secciones que pueden fabricarse por separado y a continuación interconectarse en la zona de transición.

Puesto que la sección de extremo de raíz es aquella parte de la varilla de soporte que resistirá las mayores cargas durante el funcionamiento de la pala de rotor, la sección de extremo de raíz se inserta preferiblemente al menos parcialmente en material de fibra. Esto proporciona una mejor conexión con el primer (y segundo) material de fibra y con el material de inyección de modo que puede conseguirse una conexión muy firme entre todos estos materiales compuestos y la sección de extremo de raíz. Esto significa que las fuerzas procedentes de la pala de rotor pueden transferirse fácilmente al buje a través de las secciones de extremo de raíz de las varillas de soporte.

Según una realización preferida, la sección de extremo de raíz comprende acero, preferiblemente acero inoxidable, y/o la sección principal comprende aluminio. De este modo la sección de extremo de raíz se realiza de nuevo de manera particularmente estable, mientras que la sección principal es particularmente ligera, lo que ayuda a construir una pala de rotor que es lo más ligera posible por un lado y tan estable como es necesario por otro lado.

A partir de las siguientes descripciones detalladas consideradas junto con los dibujos adjuntos resultarán evidentes otros objetivos y características de la presente invención. Se entenderá, sin embargo, que los dibujos se han diseñado únicamente con fines de ilustración y no como definición de los límites de la invención.

En los dibujos, números de referencia similares se refieren a objetos similares en todo el documento. Los objetos en los diagramas no están dibujados necesariamente a escala.

La figura 1 muestra una vista en perspectiva de una disposición para construir una disposición de sujeción de varilla de soporte según una realización de la presente invención,

la figura 2 muestra una vista en perspectiva de la brida de raíz de la disposición de la figura 1,

la figura 3 muestra una vista en perspectiva más detallada de la misma brida de raíz que en la figura 2,

la figura 4 muestra una vista lateral de la sección de extremo de raíz de una varilla de soporte tal como puede usarse en el contexto de la disposición según la figura 1,

la figura 5 muestra una vista en sección transversal de la misma sección de extremo de raíz que en la figura 4,

la figura 6 muestra una vista en perspectiva de una sección principal de una varilla de soporte tal como puede usarse en el contexto de la disposición de la figura 1,

la figura 7 muestra una vista en perspectiva de una disposición de sujeción de varillas de soporte según una primera realización de la invención que utiliza la disposición de la figura 1,

la figura 8 muestra una vista en perspectiva de la misma disposición de sujeción de varilla de soporte que en la figura 7 dentro de una primera herramienta de moldeo,

la figura 9 muestra una vista en perspectiva de una disposición de sujeción de varilla de soporte según una segunda

realización dentro de una primera herramienta de moldeo,

la figura 10 muestra una pala de rotor según una realización de la invención en una vista en sección,

5 la figura 11 muestra un diagrama de bloques de una sucesión de etapas durante una realización de un método según la invención.

10 La figura 1 muestra una disposición en la que varillas 1 de soporte con secciones 3 de extremo de raíz están alineadas en una forma circular. Para este fin, las secciones 3 de extremo de raíz se insertan en una brida 5 de raíz de una forma circular. Con referencia a las figuras 2 y 3 puede observarse que la brida 5 de raíz comprende orificios 11 en los que pueden introducirse las secciones 3 de extremo de raíz hasta el punto de una brida 13 interna dentro de los orificios 11. De este modo las varillas 1 de soporte pueden mantenerse temporalmente en su sitio durante un procedimiento de moldeo.

15 La brida 5 de raíz forma parte de una herramienta 9 de soporte que comprende una estructura 7 de viga. Esta estructura 7 de viga comprende dos vigas 7a verticales que están interconectadas por tres vigas 7e, 7f, 7g horizontales desde las cuales sobresalen, en el lado inferior, dos vigas 7b de soporte y más hacia arriba una primera viga 7c de sujeción y de nuevo más hacia arriba hacia el extremo superior de la brida 5 de raíz dos vigas 7d de sujeción más. Por tanto, la estructura 7 de viga proporciona una construcción estable a la que se une la brida 5 de raíz a través de la primera viga 7c de sujeción y las segundas vigas 7d de sujeción. Entre las vigas 7b de soporte y la más baja de las varillas 1 de soporte, hay un hueco en el que puede introducirse una primera herramienta de moldeo.

20 La figura 4 muestra una sección 3 de extremo de raíz de una varilla 1 de soporte. En un primer extremo longitudinal  $E_1$  la sección 3 de extremo de raíz comprende una interfaz 17 a un buje de una turbina eólica, que aquí se implementa como un casquillo cuya superficie exterior es lisa y no curvada. En su otro extremo longitudinal la sección 3 de extremo de raíz comprende una zona 15 de transición a una sección principal de la varilla 1 de soporte (no mostrada).

25 Lo mismo puede verse en la vista en sección en la figura 5. La sección 3 de extremo de raíz comprende varias partes internas: en primer lugar una sección 25 de extremo de raíz distal está preparada para recibir pernos de pala que fijan la pala de rotor a, por ejemplo, un elemento de cojinete de ajuste de paso del buje. Esta sección 25 de extremo de raíz distal tiene un diámetro mayor que los propios pernos de pala, es decir no puede establecerse ninguna conexión entre esta sección y los pernos. Adyacente a la raíz distal y la sección 25 hay una sección 27 intermedia roscada que está preparada para recibir los pernos de pala y, adyacente a esa sección 27 intermedia roscada está dispuesta una sección 23 inclinada orientada hacia fuera hacia el extremo de la sección 3 de extremo de raíz y que tiene la función de garantizar que no se producen transiciones bruscas en esta zona de modo que actúa como una especie de transición de rigidez o adaptación de rigidez. En el exterior estos elementos 23, 25, 27 mencionados de la sección 3 de raíz están envueltos con fibras 21. Éstas dan a la sección 3 de raíz una superficie curvada que puede conectarse o unirse fácilmente a un material de inyección de la pala de rotor. La superficie curvada garantiza que se obtiene una conexión segura al material de plástico compuesto moldeado y que la sección 3 de extremo de raíz y el material de plástico no pueden deslizarse ni separarse entre sí en una dirección longitudinal de la varilla 1 de soporte. Tal como puede observarse, la zona 15 de transición cubre parcialmente las fibras 21 y sobresale adicionalmente de la sección 3 de extremo de raíz hacia una región de una sección 19 principal de la varilla 1 de soporte de modo que hay una interfaz no interrumpida lisa. Por tanto, la sección 19 principal de la varilla 1 de soporte se inserta en la zona 15 de transición, zona 15 de transición que se implementa de manera sencilla como árbol 15 de metal hueco que puede rellenarse, por ejemplo con espuma de PU. Mientras que las partes 23, 25, 27 internas mencionadas anteriormente de la sección 3 de extremo de raíz estaban hechas de acero, lo que las hace particularmente rígidas y estables, la sección 19 principal de la varilla 1 de soporte está hecha de aluminio, lo que la hace más ligera. Otros materiales posibles para la sección 19 principal de las varillas de soporte incluyen hierro, acero inoxidable o PVC.

30 La figura 6 muestra en una vista en perspectiva una sección 19 principal de una varilla 1 de soporte con un segundo extremo longitudinal  $E_2$ , es decir, el extremo longitudinal que es opuesto al primer extremo longitudinal  $E_1$  mostrado en las figuras 4 y 5. La sección 19 principal está hecha de un tubo de aluminio que está abierto hacia el segundo extremo longitudinal  $E_2$  y cuya forma se asemeja a la de una hoja de cuchilla.

35 La figura 7 muestra varillas 1 de soporte y una disposición tal como se muestra en la figura 1 con algunos detalles adicionales: en primer lugar, las varillas 1 de soporte están envueltas ahora por un tubo 29 de plástico con el fin de proporcionar una mejor capacidad de conexión al material de inyección que se inyectará posteriormente alrededor de las varillas 1 de soporte, y en segundo lugar pueden verse unos huecos 33 entre las varillas 1 de soporte. En uno de estos huecos se han insertado fibras 31. Estas fibras 31 se han suministrado en forma de mechas 31 de fibra envueltas con un material de empaquetamiento de fibra. Las mechas 31 de fibra se orientan longitudinalmente en una primera dirección principal  $d_1$  que es paralela a una segunda dirección principal  $d_2$ , es decir un eje longitudinal de una varilla 1 de soporte (con lo que se observa que también todas las varillas 1 de soporte están alineadas en paralelo). Estas mechas 31 de fibra se conectarán posteriormente con un material de inyección tal como una resina

y a continuación formarán un material compuesto que constituye el cuerpo principal de la pala de rotor o una sección de raíz de la misma. La disposición de la figura 1 con las fibras 31 insertadas constituye ahora una disposición 39 de sujeción de varilla de soporte según una primera realización de la invención.

5 En la figura 8 la disposición 39 de sujeción de varilla de soporte de la figura 7 puede verse colocada dentro de la forma de una primera herramienta 35 de moldeo. En la mayoría de los huecos 33 se insertan ahora las mechas 31 de fibra dirigidas; antes de comenzar con el procedimiento de moldeo, el resto de huecos 33 también se rellenarán con las mechas 31 de fibra dirigidas. Si ahora se coloca una segunda herramienta de moldeo en el interior de la disposición 39 de sujeción de varilla de soporte, por ejemplo una bolsa de plástico que se expande hacia la superficie interna de la forma circular de las varillas 1 de soporte, puede inyectarse un material de inyección o activarse de otro modo entre las dos herramientas de moldeo. Para ese fin, en este caso es necesario colocar una tercera herramienta de moldeo de la forma de la primera herramienta 35 de moldeo por encima de la primera herramienta 35 de moldeo en la orientación opuesta.

15 La figura 9 muestra una segunda realización de una disposición 39 de sujeción de varilla de soporte con la diferencia con la mostrada en la figura 8 de que sólo tiene una forma semicircular. Además, en esta figura también puede verse que se ha colocado una segunda fibra 37 sobre la superficie interna de la disposición 39 de sujeción de varilla de soporte en la región de las varillas 1 de soporte de modo que las fibras cubren las varillas de soporte en el interior que es visible en este caso. Esto proporciona un aumento de resistencia del extremo de raíz que va a producirse. Lo mismo puede realizarse en el otro lado, es decir el lado de las varillas 1 de soporte orientado hacia la primera herramienta 35 de moldeo.

La figura 10 ilustra una pala 41 de rotor de una turbina eólica según una realización de la invención. Por motivos de claridad, la expresión "extremo de raíz" de la pala 41 de rotor se aplica en este caso para toda la pala 41 de rotor, puesto que la pala 41 de rotor se produce en este caso de una sola pieza. La pala 41 de rotor comprende un cuerpo 43 principal hecho de material compuesto que comprende fibras así como un material de inyección que está conectado firmemente, es decir, unido a las fibras. En el extremo izquierdo de la pala 41 de rotor pueden verse dos varillas 1 de soporte que se han moldeado dentro del cuerpo 43 principal y que se unen firmemente al cuerpo 43 principal. Sólo las secciones 3 de extremo de raíz sobresalen del cuerpo 43 principal de modo que pueden conectarse a un buje de turbina eólica.

La figura 11 muestra en un diagrama de bloques las etapas principales de una realización del método según la invención: en una primera etapa A se ensamblan varias varillas 1 de soporte del tipo mostrado en las figuras 4 a 6 a lo largo de una forma esencialmente circular de modo que haya huecos 33 entre las varillas 1 de soporte. A continuación, en una segunda etapa B, se introducen fibras 31 en los huecos. Estas fibras 31 son compatibles física y/o químicamente con un material de inyección, por ejemplo una resina, de modo que se unen entre sí firmemente. En una tercera etapa C se coloca una primera herramienta 35 de moldeo a lo largo de una superficie externa de la forma circular y una segunda herramienta de moldeo a lo largo de una superficie interna de la forma circular. En una cuarta etapa D se trata tal material de inyección de modo que se une firmemente con las fibras 31. Tal tratamiento puede comprender calentamiento, en particular fusión y/o inyección del material de inyección y/o succión del material de inyección al hueco entre las dos herramientas de moldeo.

Aunque la presente invención se ha dado a conocer en forma de realizaciones preferidas y variaciones de las mismas, se entenderá que pueden realizarse numerosas modificaciones y variaciones adicionales a las mismas sin apartarse del alcance de la invención. Tal como se mencionó anteriormente, el extremo de raíz puede producirse de una sola pieza o de varias piezas, y la realización de la varilla de soporte es un ejemplo ventajoso que, sin embargo, puede alterarse de muchas maneras.

Por motivos de claridad, se entenderá que el uso de "un" o "una" a lo largo de toda esta solicitud no excluye una pluralidad, y que "comprender" no excluye otras etapas o elementos.

**REIVINDICACIONES**

1. Método de fabricación de una sección de raíz de una pala (41) de rotor de una turbina eólica, método que comprende las etapas de
  - a) ensamblar (A) una pluralidad de varillas (1) de soporte con una sección (17) de interfaz a una interfaz de buje de la turbina eólica de una forma esencialmente circular de modo que haya huecos (33) entre las varillas (1) de soporte,
  - b) disponer (B) primeras fibras (31) en los huecos (33), primeras fibras (31) que son física y/o químicamente compatibles con un material de inyección,
  - c) colocar (C) una primera herramienta (35) de moldeo a lo largo de una superficie externa de la forma circular y una segunda herramienta de moldeo a lo largo de una superficie interna de la forma circular, con lo que un espacio entre la superficie externa de la forma circular y la primera herramienta (35) de moldeo y/o entre la superficie interna de la forma circular y la segunda herramienta de moldeo se rellena con segundas fibras (37) que son física y/o químicamente compatibles con el material de inyección,
  - d) tratar (D) el material de inyección de modo que se una con las primeras fibras (31).
2. Método según la reivindicación 1, en el que las primeras fibras (31) y las segundas fibras (37) comprenden el mismo material.
3. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las primeras fibras (31) comprenden un material de fibra de vidrio.
4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las fibras comprenden una mecha de fibra con fibras orientadas esencialmente en una dirección principal ( $d_1$ ).
5. Método según la reivindicación 3 ó 4, en el que las fibras se orientan esencialmente en una dirección principal ( $d_1$ ) esencialmente en paralelo a los ejes longitudinales ( $d_2$ ) de las varillas (1) de soporte.
6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las varillas (1) de soporte se envuelven con un elemento (29) de relleno, comprendiendo el elemento de relleno preferiblemente fibras y/o un tubo (29) de plástico.
7. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende las etapas de fijar temporalmente la sección (17) de interfaz de una varilla (1) de soporte a una herramienta (9) de soporte, herramienta (9) de soporte que comprende una brida (5) de raíz, con lo que la varilla (1) de soporte se fija a la brida (5) de raíz.
8. Disposición (39) de sujeción de varilla de soporte para fabricar una sección de raíz de una pala (41) de rotor de una turbina eólica, que comprende
  - a) un conjunto de una pluralidad de varillas (1) de soporte con una sección (17) de interfaz a una interfaz de buje de la turbina eólica de una forma esencialmente circular de modo que haya huecos (33) entre las varillas (1) de soporte,
  - b) primeras fibras (31) en los huecos (33), primeras fibras (31) que son física y/o químicamente compatibles con un material de inyección,
  - c) un dispositivo (5, 35) de sujeción que sujeta las varillas (1) de soporte en la forma esencialmente circular.
9. Disposición de sujeción de varilla de soporte según la reivindicación 8, en la que una varilla (1) de soporte comprende una forma hueca y está abierta en un extremo longitudinal externo ( $E_2$ ) opuesto a la sección (17) de interfaz.
10. Disposición de sujeción de varilla de soporte según la reivindicación 8 ó 9, en la que una varilla (1) de soporte comprende una sección (3) de extremo de raíz y una sección (19) principal conectadas entre sí a través de una zona (15) de transición.
11. Disposición de sujeción de varilla de soporte según la reivindicación 10, en la que la sección (3) de extremo de raíz se inserta al menos parcialmente en material (21) de fibra.
12. Disposición de sujeción de varilla de soporte según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 11, en la que la sección (3) de extremo de raíz comprende acero, preferiblemente acero inoxidable, y/o en la que la

sección (19) principal comprende aluminio.

13. Extremo de raíz de una pala de rotor de una turbina eólica fabricado con un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

5

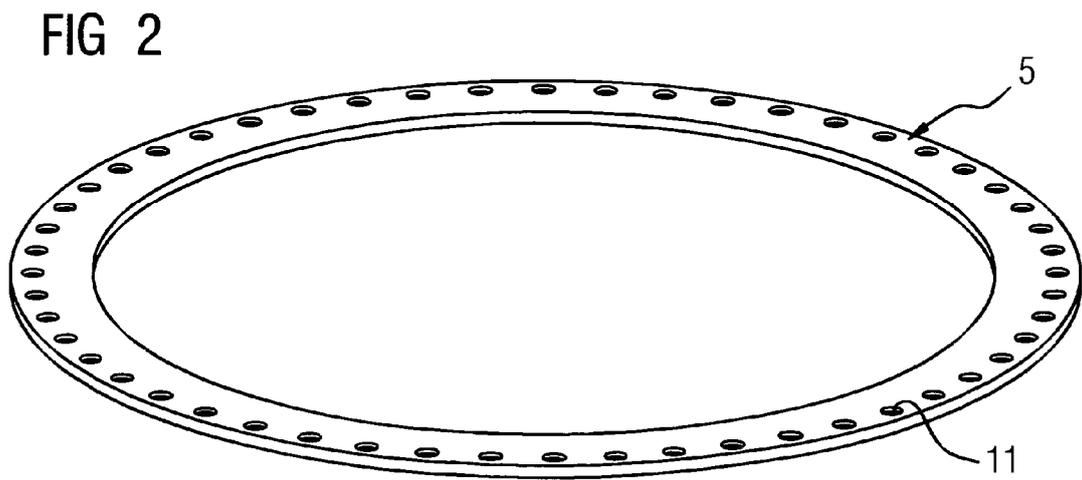
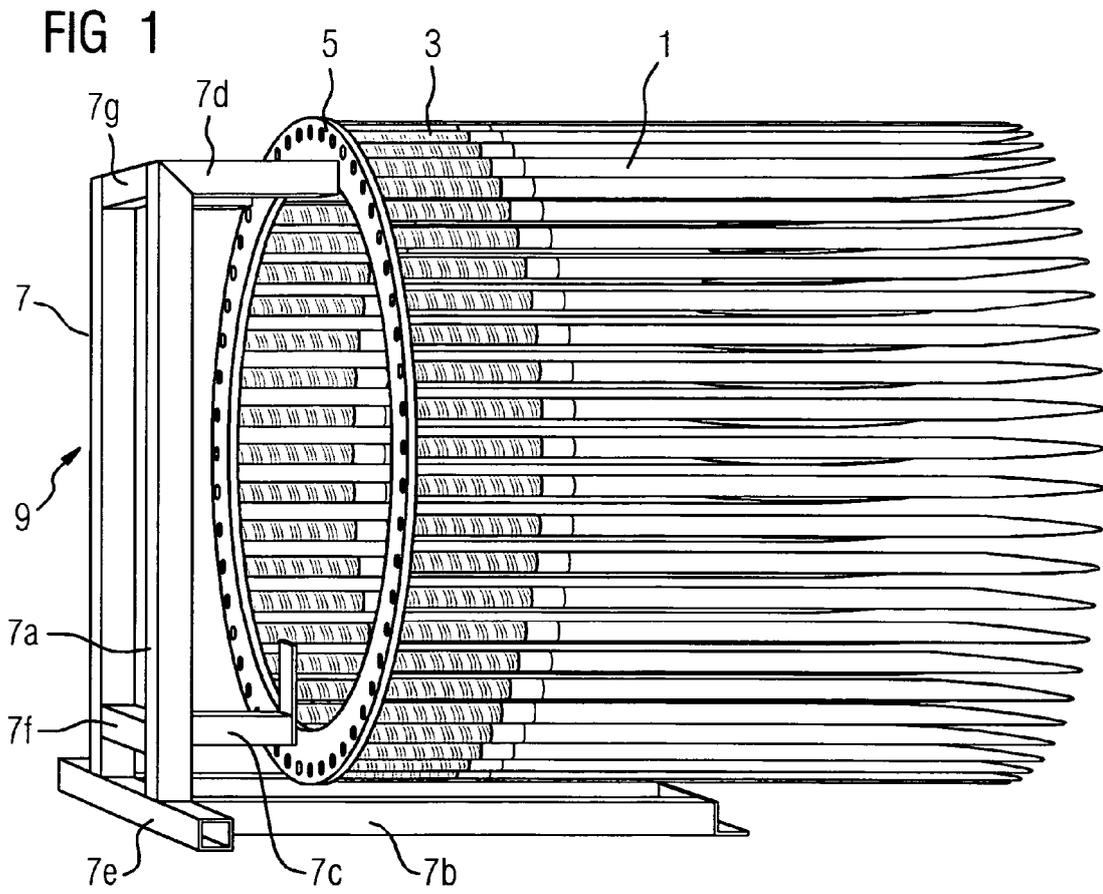


FIG 3

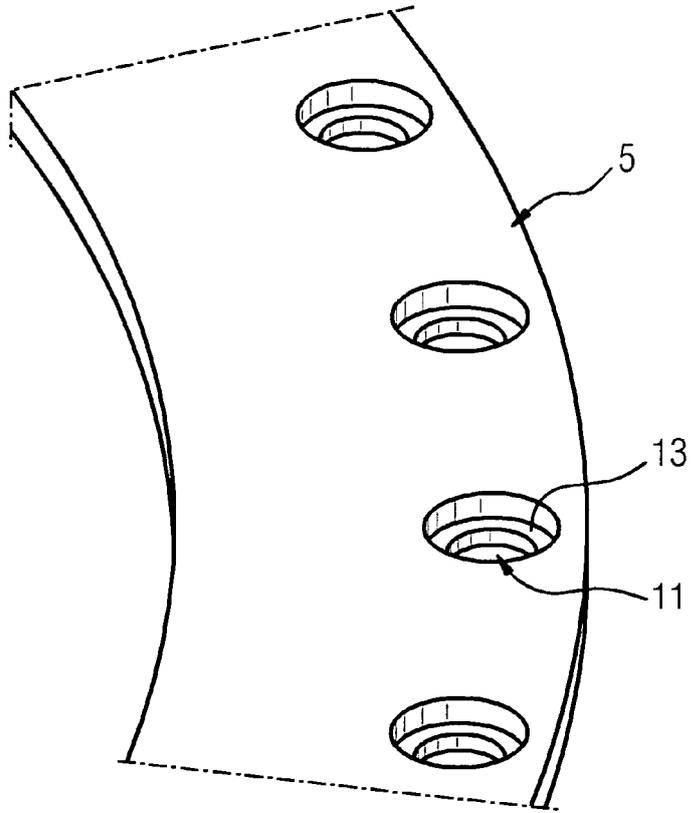


FIG 4

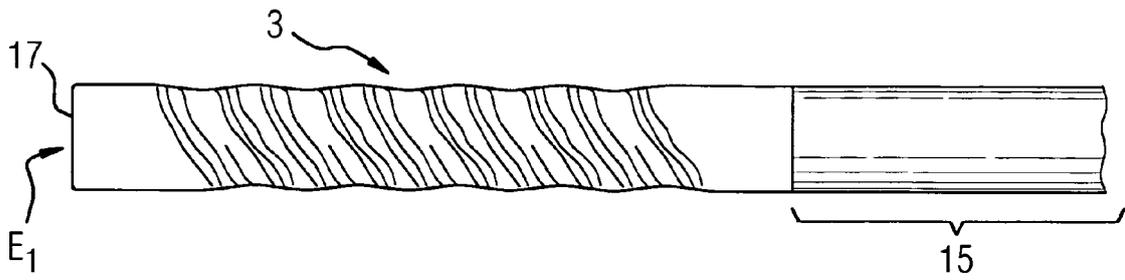


FIG 5

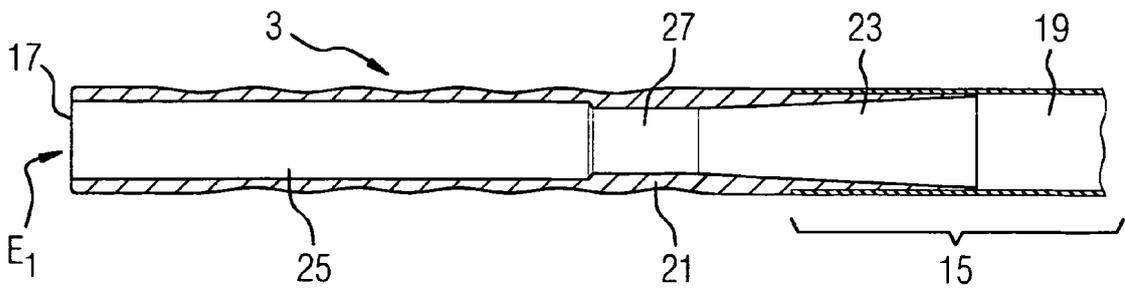


FIG 6

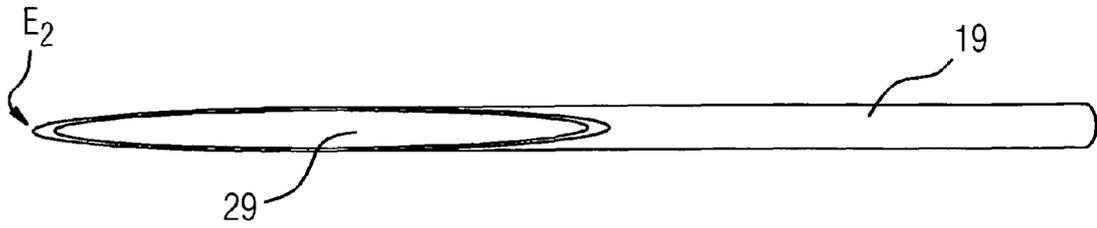


FIG 7

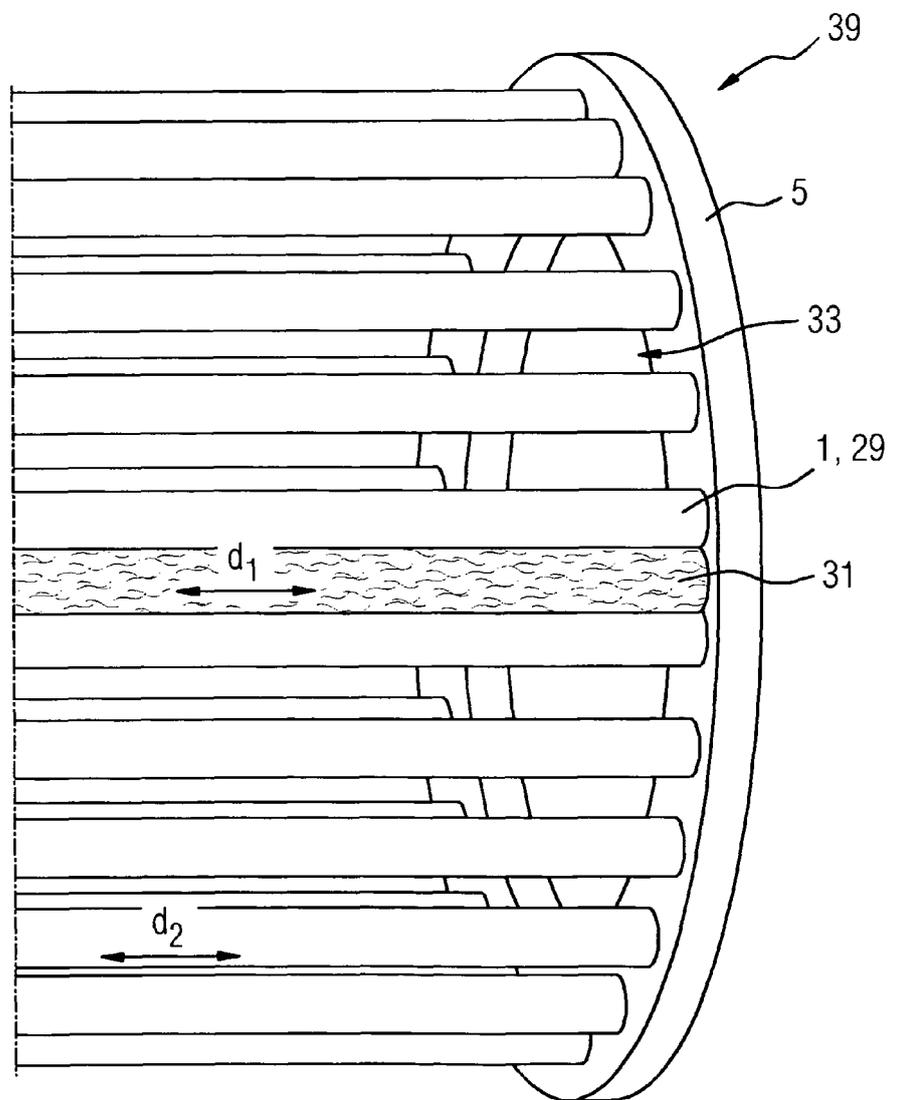


FIG 8

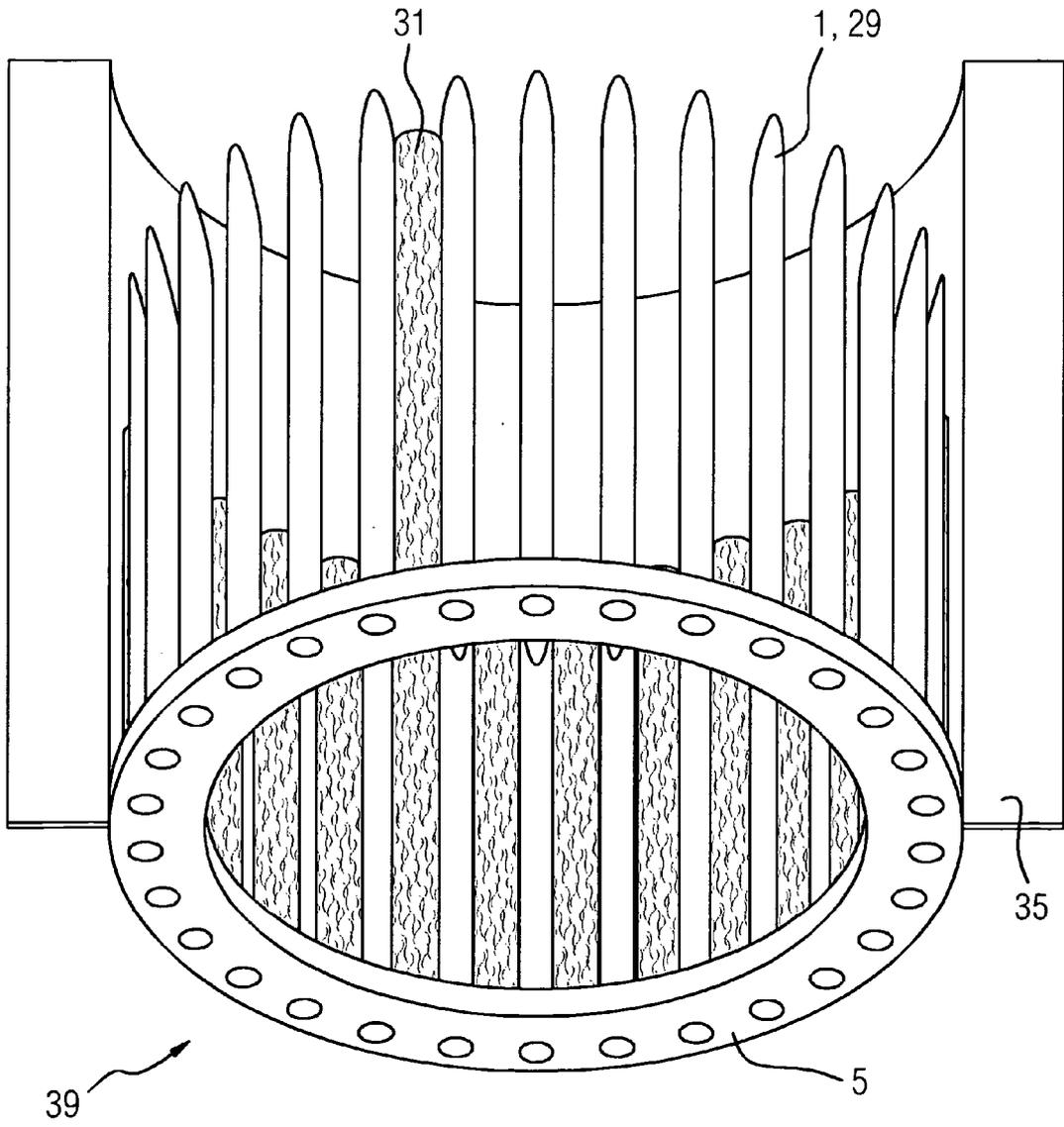


FIG 9

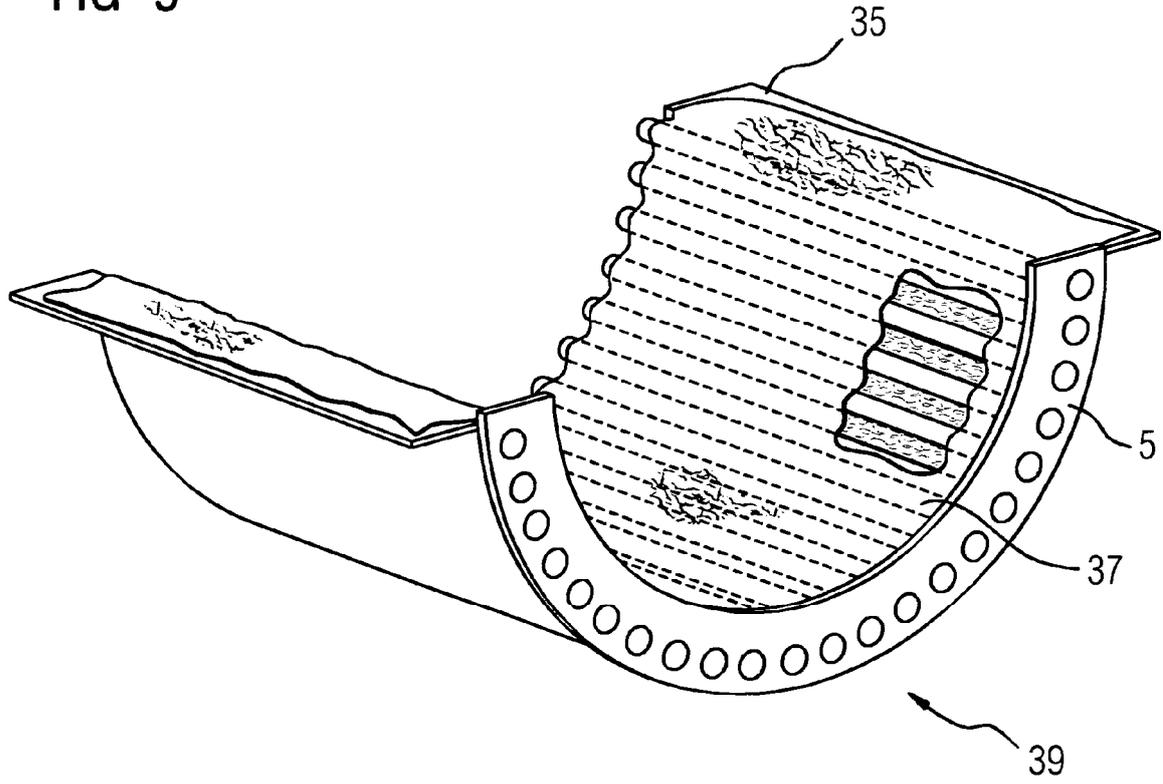


FIG 10

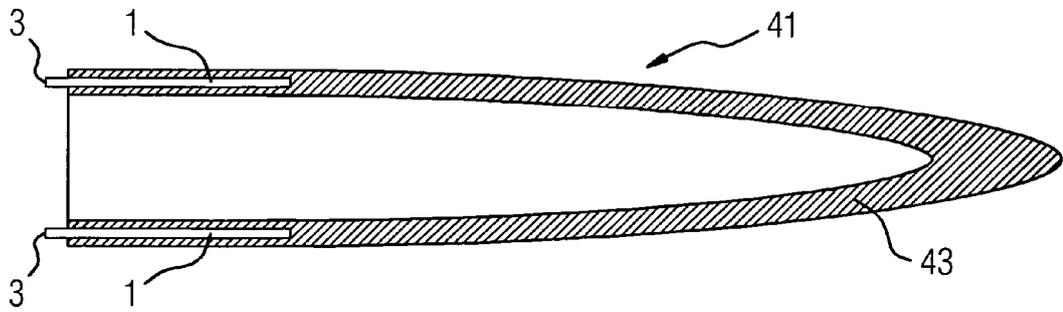


FIG 11

