

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 605 943**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.04.2007 PCT/EP2007/003481**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.11.2007 WO07131589**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.04.2007 E 07724417 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.08.2016 EP 2016283**

54 Título: **Pala de rotor que comprende una conexión de pala de rotor de una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

**11.05.2006 DE 102006022272**

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

**17.03.2017**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**QUELL, PETER;  
BENDEL, URS;  
SCHUBERT, MATTHIAS y  
EUSTERBARKEY, CARSTEN**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 605 943 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 rotor que comprende una conexión de pala de rotor de una instalación de energía eólica

5 La invención concierne a una pala de rotor con una conexión de pala de rotor, especialmente de una instalación de energía eólica, para unir la pala de rotor con un dispositivo de conexión, que comprende un pasador transversal y un dispositivo de unión que pueden ponerse en unión operativa uno con otro.

La invención concierne también a un rotor de una instalación de energía eólica y una utilización.

10 Se conocen, por ejemplo por el documento WO 01/42647 A2, conexiones de pala de rotor para unir una pala de rotor a un dispositivo de conexión. En este caso, se emplean especialmente tornillos que pasan por agujeros de un cubo de rotor y que se atornillan en pernos transversales y se pretensan por medio de una tuerca. Esta conexión de pala de rotor se puede realizar de manera sencilla y fiable. No obstante, tales conexiones de pala de rotor tienen sustancialmente tres condiciones marginales que compiten una con otra, a saber, la resistencia del pasador transversal o del perno transversal, el intradós del agujero, es decir, especialmente la compresión superficial del perno transversal en la pala del rotor, y la resistencia o la resistencia residual de la coquilla de la pala del rotor, la cual, debido a la perforación producida por la previsión de agujeros para recibir los pasadores transversales, se reduce en comparación con una coquilla de rotor no agujereada. Debido a estas condiciones marginales, los pasadores transversales en esta clase de conexión de pala de rotor sólo muy condicionalmente pueden empaquetarse de una manera densa, por lo que, en comparación con otras conexiones de pala de rotor, por ejemplo bridas pegadas o insertos pegados, tal como éstos se han revelado en los documentos EP 1 486 415 A1 y DE 296 18 525 U1, es necesario un diámetro total mayor de la conexión de pala de rotor para alojar un número prefijado de pernos de pala o bien se necesita un espesor de pared netamente mayor.

Por el documento FR 565 621 A se conoce una conexión para palas de rotor de madera. En cada pala de rotor se inserta en la madera, en la zona de la raíz de la pala, un elemento de anclaje con rosca interior, que se enrosca en un vástago roscado. Una parte del vástago roscado, provista de otra rosca, sobresale de la pala de rotor y se fija por medio de una tuerca con rosca interior en un manguito de la conexión.

25 El problema de la presente invención consiste en indicar una pala de rotor con una conexión de pala de rotor alternativa que hace posible una conexión de pala de rotor segura para la unión de una pala de rotor con un dispositivo de conexión, haciéndose posible con un consumo de material lo más pequeño posible y un espesor lo más pequeño posible de la coquilla de la pala una unión suficientemente firme incluso en palas de rotor grandes.

30 Esta tarea se resuelve por medio de una pala de rotor con una conexión de pala de rotor, especialmente de una instalación de energía eólica, para la conexión de la pala de rotor a un dispositivo de conexión que comprende un pasador transversal y un dispositivo de unión, que se pueden unir operativamente uno con otro, perfeccionándose el pasador transversal por el hecho de que la pala de rotor lo encapsula por completo, produciéndose el encapsulado de los lados orientados hacia la superficie exterior y hacia la superficie interior de la pala de rotor del pasador transversal mediante al menos una capa de laminado de un material empleado en la pala de rotor.

35 Con esta medida según la invención el material que encapsula o envuelve completamente al pasador transversal sirve también para aumentar la estabilidad de la pala de rotor en la zona de los pasadores transversales, con lo que es posible una densidad incrementada de pasadores transversales en la zona de disposición de pasadores transversales. Dado que el encapsulamiento de la superficie exterior y de los lados del pasador transversal vueltos hacia la superficie interior de la pala de rotor se efectúa por medio de un material empleado en la pala de rotor, a saber por medio de al menos una capa de laminado, es posible una encapsulación especialmente sencilla y eficiente del pasador transversal.

La capa de laminado está constituida por, o comprende, preferiblemente plástico reforzado con fibra. Pueden estar previstas también varias capas de laminado. Preferiblemente, se refuerza la al menos una capa de laminado por una o varias capas de material de refuerzo, especialmente capas metálicas.

45 Preferiblemente, los lados del pasador transversal vueltos hacia la superficie exterior y los lados de dicho pasador vueltos hacia la superficie interior de la pala de rotor están encapsulados con un espesor de material de 5 mm a 20 mm, especialmente 10 mm a 15 mm, con una pala de rotor de 35 m a 55 m de larga.

50 Preferiblemente, el material que sirve para la encapsulación se extiende bastante más allá de la zona del pasador transversal introducido en la pala de rotor. El material que sirve para la encapsulación está configurado aquí del modo más coherente que sea posible, por ejemplo por medio de una o varias capas continuas de plástico reforzado con fibra y/o una o varias capas continuas de material de refuerzo.

Cuando el pasador transversal presenta en al menos un lado que está vuelto hacia la superficie interior y/o la superficie exterior de la pala de rotor una abertura en la que puede introducirse al menos indirectamente una herramienta por ajuste de forma y/o ajuste de rozamiento, el pasador transversal, en caso de deterioro del mismo,

puede ser cambiado de una manera relativamente poco problemática. Preferiblemente, la abertura es para ello un agujero ciego en el que está prevista una rosca.

5 El dispositivo de unión define un eje longitudinal, en el cual el pasador transversal puede presentar en la dirección del eje longitudinal del dispositivo de unión una resistencia a la flexión más alta que en dirección transversal al eje longitudinal.

Gracias a esta medida es posible reducir la anchura del pasador transversal en comparación con un pasador transversal redondo, de modo que los agujeros previstos en la coquilla de la pala de rotor para recibir el pasador transversal pueden hacerse más pequeños, con lo se reduce el problema de la perforación o de la perforación demasiado fuerte y con lo que se puede prever una mayor densidad de pasadores transversales.

10 En el marco de la invención, el término dispositivo de conexión comprende especialmente un soporte anticabeceo, un cubo de rotor o en general un componente de conexión. El pasador transversal puede tener en la dirección del eje longitudinal del dispositivo de unión una extensión mayor que en sentido transversal a la dirección del eje longitudinal del dispositivo de unión. Gracias a esta configuración de la conexión de pala de rotor es posible una realización especialmente sencilla. En el marco de la invención se denomina también altura la extensión en la  
15 dirección del eje longitudinal del dispositivo de unión.

El pasador transversal puede ser configurado en sección transversal en forma de un rectángulo con aristas redondeadas. Gracias a esta medida se puede materializar un pasador transversal especialmente estable. Cuando el pasador transversal está configurado en sección transversal en forma elíptica, ovalada, parcialmente elíptica o  
20 parcialmente ovalada, se tiene en cuenta el problema de que el material que rodea al pasador transversal, especialmente plástico reforzado con fibra de vidrio, es netamente más blando en comparación con un material del cual están fabricados los pasadores transversales, tal como, por ejemplo, metal. En el caso de una forma especialmente en parte ovalada o preferiblemente elíptica del pasador transversal en sección transversal, la fuerza que presiona sobre el material circundante en una conexión de pala de rotor en funcionamiento o en una unión pretensada se distribuye muy uniformemente en el material que rodea al pasador transversal.

25 Cuando el pasador transversal tiene forma de doble T en sección transversal con aristas redondeadas o está configurado en forma de hueso, resulta una configuración economizadora de material del pasador transversal, el cual, a pesar de ello, sigue siendo de fabricación suficientemente estable.

Los pasadores transversales pueden ser dispuestos en al menos dos filas, estando dispuesta al menos una primera fila más cerca del extremo de la pala de rotor correspondiente a la raíz de la pala que al menos una segunda fila.  
30 Gracias a esta medida es posible también aumentar la densidad de los pasadores transversales y dispositivos de unión que se deben emplear para la conexión de la pala de rotor, de modo que quede garantizada una conexión de pala de rotor segura.

Cuando las filas están dispuestas alrededor del perímetro de la raíz de la pala de rotor, se proporciona una conexión de pala de rotor especialmente fiable.

35 Cuando la unión operativa de los dispositivos de unión con los pasadores transversales que están dispuestos en la segunda fila es más blanda en comparación con la unión operativa de los dispositivos de unión con los pasadores transversales que están dispuestos en la primera fila, es posible una distribución de fuerza más uniforme en la conexión de pala de rotor sobre el material circundante de los pasadores transversales y sobre los propios pasadores transversales.

40 Esto puede materializarse haciendo que los dispositivos de unión sean al menos parcialmente de longitudes diferentes. Los dispositivos de unión que están asociados a la primera fila pueden ser más cortos que los dispositivos de unión que están asociados a la segunda fila. Los dispositivos de unión pueden ser al menos parcialmente de espesores diferentes. Esto puede ocurrir haciendo que los dispositivos de unión sean en sí  
45 parcialmente de espesores diferentes en zonas distribuidas por toda la longitud o bien que los dispositivos de unión tengan espesores diferentes uno de otro, o bien una combinación de las dos variantes antes citadas. Los dispositivos de unión que están asociados a la primera fila de pasadores transversales pueden ser más gruesos que los dispositivos de unión que están asociados a la segunda fila de pasadores transversales. De este modo, se materializa una unión más blanda del dispositivo de unión con los pasadores transversales que están dispuestos en la segunda fila, en comparación con la unión operativa de los dispositivos de unión con los pasadores transversales  
50 que están dispuestos en la primera fila.

Al menos el dispositivo de unión puede ser pretensado, comprendiendo el material de la pala de rotor al menos en la zona del pasador transversal una estructura de capas de plástico reforzadas con fibra y capas de un material de refuerzo que comprende metal.

55 Gracias al empleo de un material de refuerzo que comprende metal y que puede ser en particular exclusivamente de metal, se aumenta la resistencia a la compresión de la estructura completa utilizando un espesor comparable con

- relación a las capas de plástico exclusivamente reforzadas con fibra. Este aumento asciende, por ejemplo, a al menos un 30%. En particular, la resistencia del intradós de los agujeros de esta estructura empleada a base de capas de plástico reforzadas con fibra y capas de un material de refuerzo que comprende metal se ha incrementado netamente en comparación con la resistencia del intradós de los agujeros de una estructura hecha exclusivamente de capas de plástico reforzadas con fibra, con lo que se puede reducir el diámetro de los pasadores transversales de unión o bien el espesor de pared de toda la conexión de pala y con lo cual se hace posible nuevamente una densidad incrementada de pasadores transversales o dispositivos de unión en la conexión de pala de rotor.
- La zona en la que el material de la pala de rotor comprende una estructura de capas de plástico reforzadas con fibra y capas de un material de refuerzo que comprende metal puede extenderse sobre la zona en la que actúa una fuerza sobre el material de la pala de rotor debido al pretensado. Esta zona puede extenderse sobre la zona de la raíz de la pala de rotor.
- La conexión de pala de rotor puede proveer en una zona de transición, para la adaptación de la estructura de la raíz de la pala de rotor a la estructura de la pala de rotor, una prolongación al menos parcial de capa en capa, especialmente continua, de las capas del material de refuerzo hasta la punta de la pala de rotor. Esto puede incluir también parcialmente una prolongación de capa en capa de las capas de modo que dos capas consecutivas puedan ser también igual de largas o bien varias capas consecutivas puedan ser igual de largas. No obstante, deberá quedar ampliamente garantizado que no tenga lugar parcialmente una reducción de la longitud de capa en capa y después nuevamente una prolongación de las capas.
- El material de refuerzo puede ser metal o consiste exclusivamente en metal. El metal puede presentarse como una lámina o una rejilla, entendiéndose por lámina especialmente un material plano y entendiéndose por rejilla varillas unidas o fibras unidas de metal o una chapa que presenta agujeros.
- El espesor de la lámina puede ser comprendido entre 0,1 mm y 0,8 mm, especialmente entre 0,15 mm y 0,5 mm, particularmente entre 0,2 mm y 0,3 mm.
- El espesor de las capas de plástico reforzadas con fibra puede ser comprendido entre 0,2 mm y 1 mm, especialmente entre 0,4 mm y 0,9 mm, particularmente entre 0,6 mm y 0,7 mm.
- Para hacer posible una distribución de las fibras ajustada a la carga en las capas de plástico reforzadas con fibra se ha previsto que al menos una parte de las capas de plástico reforzadas con fibra presente fibras unidireccionalmente orientadas que estén orientadas en la dirección axial longitudinal de la pala de rotor.
- Cuando el eje longitudinal del dispositivo de unión está sustancialmente alineado con el eje central de la pared de la pala de rotor, y especialmente está situado en un plano con ésta, es posible una conexión de pala de rotor muy estable.
- El dispositivo de unión puede comprender un tornillo, especialmente un tornillo de vástago expandible. Por tornillo se entiende también en el ámbito de la invención un perno combinado con una tuerca, estando el perno provisto al menos parcialmente de una rosca o varias roscas. El dispositivo de unión puede comprender también una unión remachada u otra clase de unión, por ejemplo, una unión de ajuste de forma y/o de ajuste de rozamiento. Pueden ser previstos varios dispositivos de unión que están en unión operativa con al menos un respectivo pasador transversal. La unión operativa puede generar un pretensado.
- Gracias a las conexiones de pala de rotor es posible garantizar una conexión de pala de rotor segura con pasadores transversales que presente un diámetro comparable o más pequeño que el de las conexiones de pala de rotor conocidas.
- Preferiblemente, un rotor de una instalación de energía eólica comprende al menos una pala de rotor, un cubo de rotor y al menos una conexión de pala de rotor que se ha descrito anteriormente.
- Preferiblemente, se emplea una instalación de energía eólica con una pala de rotor que se ha descrito anteriormente.
- Se describe seguidamente la invención sin limitación de la idea inventiva general con ayuda de ejemplos de realización y con referencia a los dibujos, remitiéndose expresamente a los dibujos respecto de todos los detalles según la invención que no se han explicado pormenorizadamente en el texto. Muestran:
- La figura 1, una instalación de energía eólica en representación tridimensional esquemática según el estado de la técnica,
- La figura 2, un fragmento de la instalación de energía eólica de la figura 1 en representación tridimensional esquemática,

La figura 3, un fragmento de la figura 2 en representación esquemática según el estado de la técnica,

La figura 4, una representación en sección parcial esquemática de una conexión de pala de rotor,

La figura 5, una representación en sección esquemática de un pasador transversal,

La figura 6, una representación en sección esquemática de otro pasador transversal,

5 La figura 7, una representación en sección esquemática de todavía otro pasador transversal,

La figura 8, una vista en planta esquemática de una parte de una raíz de pala,

La figura 9, una representación en sección esquemática de una conexión de pala de rotor de una pala de rotor según la invención,

La figura 10, una representación en sección esquemática de una conexión de pala de rotor, y

10 La figura 11, otra representación en sección esquemática de una conexión de pala de rotor.

En las figuras siguientes los elementos iguales o equivalentes o las partes correspondientes están provistos siempre de los mismos números de referencia, de modo que se prescinde de una nueva presentación correspondiente.

15 La figura 1 muestra una representación tridimensional esquemática de una instalación de energía eólica 1 según el estado de la técnica. La instalación de energía eólica 1 comprende una torre 2 sobre la cual está aplicada una cabeza de torre 3 que presenta usualmente un generador no representado. Asimismo, se representa un cubo de rotor 4 en el que unas palas de rotor 5 están unidas en la raíz de pala 6 con el cubo de rotor 4. Asimismo, están insinuadas también esquemáticamente una conexión 17 de pala de rotor y una punta 41 de pala de rotor que deben emplearse para explicar los dibujos siguientes.

20 La figura 2 muestra una representación tridimensional esquemática de una parte de la instalación de energía eólica 1 de la figura 1 del estado de la técnica. El cubo de rotor 4 puede unirse con un generador a través de una brida 11 y un árbol de generador 10 por medio de unas uniones de atornillamiento no representadas que pueden ser proporcionadas por agujeros de brida 9 y agujeros 12. Para poder realizar las uniones correspondientes se han previsto unas aberturas 7 y 8 en el cubo de rotor 4. Las palas de rotor 5 están unidas con el cubo de rotor 4 en las raíces de pala 6. Para realizar la unión están previstos unos tornillos 13 según la figura 3, unos pasadores transversales 14 y unas tuercas 15, estando previstos unos agujeros 16 o taladros correspondientes en el respectivo material para hacer posible una unión. Para apretar firmemente las tuercas 15 están previstas unas aberturas correspondientes 7 y 8 en el cubo de rotor 4. Mediante el firme apriete de las tuercas 15 se genera un pretensado.

30 La figura 4 muestra una representación en sección esquemática de una conexión 17 de pala de rotor. En una pared 22 de la raíz de pala está introducido un pasador transversal 20 que tiene una altura  $h$  mayor que la anchura  $B$ . La profundidad representada  $t/2$  corresponde a la mitad de la profundidad real  $t$  del pasador transversal 20, ya que, en la figura 4, se trata de una representación en sección a lo largo de aproximadamente la mitad a través del material de la pared 22. El pasador transversal 20 tiene una sección transversal que en este ejemplo de realización es elíptica. Para el laminado que está contenido en el material de la pared 22, una elipse es la forma óptima para absorber las fuerzas correspondientes bajo el pretensado que se establece debido al atornillamiento del tornillo 21 o del perno de pala 21 en la rosca 24 que está prevista en el pasador transversal 20. Pueden estar previstas tanto una variante con un pasador o perno provisto de rosca en dos extremos como una variante con un tornillo 21. No obstante, en la figura 4 está prevista la variante de perno. Para la estabilidad del pasador transversal 20 o del perno transversal, un rectángulo, preferiblemente con aristas redondeadas en sección transversal, o un ocho o una doble T blanda es una forma preferida. Para la fabricación es más sencilla o preferida una especie de agujero alargado en la pared 22 para introducir un pasador transversal 20 que está representado esquemáticamente en sección transversal en la figura 5. Los pasadores transversales 20 de las figuras 4 y 5 presentan un agujero ciego 25 con rosca.

45 En una pala de rotor de 45 m de larga la longitud total  $L_{tot}$  o la altura  $h$  del pasador transversal 20 es preferiblemente de alrededor de  $2,5 \times$  la anchura  $B$ . La anchura  $B$  está preferiblemente en el intervalo de  $1,5$  a  $1,7 \times$  el tamaño de la rosca de tornillo, es decir, de 45 mm a 50 mm en tornillos M30. La posición de la rosca está aproximadamente centrada en el pasador transversal 20 o el perno. Es ventajoso un taladro libre relativamente grande a pesar de una pérdida de sección transversal correspondiente, ya que disminuyen así los esfuerzos locales en el borde del taladro solicitado a tracción, lo que repercute positivamente sobre la vida útil. Se deberá elegir una alta calidad del material para tener suficiente con una pequeña profundidad de atornillamiento. Puede ser ventajoso también que el borde del taladro solicitado a tracción sea provisto de tensiones propias de compresión permanentes. Esto puede efectuarse, por ejemplo, por chorreado con bolas o por preestiramiento o similares. Se incrementa así también la vida útil del pasador transversal 20. Puede estar previsto igualmente que, mediante formas de rosca especiales, como, por ejemplo, una rosca en dientes de sierra, se reduzcan las fuerzas radiales que tratan de ensanchar la rosca. Además, puede estar previsto que los tornillos o pernos o los pasadores roscados sean provistos de un vástago expandible

y/o eventualmente de una rosca fina en el perno transversal o en la zona del pasador transversal.

Pueden ser previstas roscas de regulación en la zona del atornillamiento de montaje con la tuerca 42, es decir, en una unión de atornillamiento realizada en el campo en condiciones dificultadas. La sección transversal puede realizarse en una forma elíptica como en la figura 4, lo que puede contribuir a un esfuerzo óptimo en la sección transversal del laminado. La posición del pasador transversal 20 debe estar prevista preferiblemente tan próxima como sea posible a la raíz de pala. El espesor de pared del laminado en la pared 22 deberá estar en el intervalo de  $2x$  la anchura B a  $3x$  la anchura B.  $x$  es el operador de la multiplicación. Para una mejor ilustración se representan también el extremo 19 de la raíz de pala correspondiente al lado de dicha raíz de pala y el eje longitudinal 18 del perno 21 de vástago expandible.

La forma de realización del pasador transversal 20 de la figura 5 es tal que B está en el rango de 45 mm y la altura total  $L_{tot}$  está en el rango de aproximadamente 110 mm, empleándose una rosca M27 y estando el diámetro D del agujero ciego en el rango inferior de aproximadamente 32 mm, siendo  $h_1$  de aproximadamente 30 mm y  $h_2$  de aproximadamente 30 mm. En la zona de  $h_2$  está prevista también la rosca 24 y  $h_3$  es de aproximadamente 15 mm. Resulta entonces un espesor del laminado de, por ejemplo, 100 mm. Por tanto, la profundidad total  $t$  es de aproximadamente 100 mm.

En la figura 6 se representa un pasador transversal alternativo 20. Se trata de una sección transversal parcialmente ovalada que presenta un taladro de paso 26 o un agujero de paso 26. Se contempla en este caso prever el diámetro D del taladro lo más pequeño posible para conseguir una superficie de sección transversal máxima de  $B \times t - \pi/4 \times D^2$ . La anchura B puede estar en el rango del ejemplo de realización según la figura 5. La altura total  $L_{tot}$  es preferiblemente superior a  $2,5x$  la anchura B. Está prevista entonces también una tuerca 15 con una rosca 24 por encima del agujero de paso 26. La tuerca 24 puede estar unida con el pasador transversal 20. Pueden estar previstos también unos elementos de ajuste de forma para simplificar el atornillamiento de un tornillo en la rosca 24 de la tuerca 15 durante el montaje.

En la figura 7 se muestra también otro pasador transversal 20 en una representación en sección esquemática. En este ejemplo de realización el agujero de paso 26 está provisto de una rosca 24 en la zona superior. Debido a la forma alargada del pasador transversal 20 se proporciona un par resistente más alto en la conexión de pala de rotor, con lo que la sección transversal puede hacerse más estrecha que en el estado de la técnica.

En la figura 8 se representa una vista en planta esquemática de una parte de una raíz de pala 6. El curvado o redondeamiento previsto en la raíz de pala ha sido despreciado aquí en la representación. Están previstas dos filas 33 y 34 de pasadores transversales 20, 20' que pueden unirse con tornillos de unión a través de agujeros correspondientes 12, 12', con lo que se hace posible un pretensado correspondiente de la raíz de pala 6 con, por ejemplo, un cubo de rotor o una brida de conexión. El cubo de rotor o la brida de conexión no están representados en la figura 8. En el estado de la técnica ocurre que la pluralidad de pares de unión de pasadores transversales y tornillos, que están dispuestos todos ellos en una sola fila, están situados a la misma distancia de la brida de pala o del extremo 10 del lado de la raíz de pala. El número de estos pares de unión viene determinado por el diámetro de la rosca del perno axial o del pasador transversal 20, 20' y la carga atacante. Al aumentar la longitud de la pala se incrementan las cargas, con lo que se eleva el momento flector en el perno transversal y por ello el perno transversal tiene que hacerse más grueso. Por este motivo, solamente pueden disponerse unos pocos pernos transversales sobre el perímetro de la raíz de pala 6, con lo que aumenta la carga que actúa sobre los distintos pernos transversales. Puede ser contemplado ahora prever al menos dos planos de pernos transversales o al menos dos filas 33, 34 de pernos transversales con distancias diferentes a la raíz de pala en el extremo 19 del lado de dicha raíz de pala. Se pueden repartir así correspondientemente las fuerzas y se pueden reducir las distancias de los respectivos pasadores transversales 20 o 20', con lo que puede emplearse un número elevado de pasadores transversales 20, 20'. Se pueden disponer así más pares de pernos en un mismo perímetro de la raíz de pala. Además, el diámetro de la raíz de pala puede hacerse más pequeño en proporción a la longitud de la pala. Por otra parte, en un rango mayor del diámetro del rotor puede imponerse una estrategia de plataforma.

En una pala de rotor de 45 m el pasador transversal 20 tiene preferiblemente un diámetro de 60 mm. Como perno axial o unión de atornillamiento está previsto un tornillo M30 o un perno M30 con un vástago de 24 mm para la primera fila 33 de pasadores transversales 20 que se extienden a través del agujero 12, y están previstos pernos o uniones de atornillamiento más largos con un vástago de 20 mm para la segunda fila 34 de pasadores transversales 20' que se extienden a través de los agujeros más largos 12'. El diámetro de la raíz de pala o del círculo que está definido por los pasadores transversales es de aproximadamente 2,11 m. La distancia preferida de la primera fila de pasadores transversales desde el extremo 19 del lado de la raíz de pala es preferiblemente de alrededor de 150 mm y la distancia de la segunda fila de pasadores transversales 34 desde el extremo 19 del lado de la raíz de pala es preferiblemente de alrededor de 215 mm. El espesor del laminado es preferiblemente de alrededor de 100 mm. Para el laminado total están previstos valores del material que hacen posible una rigidez del laminado en la dirección longitudinal de la pala de aproximadamente  $30.000 \text{ N/mm}^2$  y una rigidez a la cizalladura del laminado de aproximadamente  $5.000 \text{ N/mm}^2$ .  $h_1$ , como se acaba de indicar, es de aproximadamente 150 mm y  $h_2$  es de 65 mm. A1 es de aproximadamente 332 mm y A2 es de 166 mm. A3 es de aproximadamente 83 mm. Para la estabilidad de

los pasadores transversales es pertinente que la rigidez del laminado en el eje longitudinal de la pala sea lo más alta posible, es decir que estén previstos el mayor número posible de capas unidireccionales en la dirección longitudinal de la pala, es decir, con 0° con respecto a la dirección longitudinal de la pala. No obstante, la carga se distribuye de forma óptima entre las dos filas 33 y 34 cuando el módulo de cizalladura del laminado es lo más alto posible, es decir cuando está previsto el mayor número posible de capas del laminado dispuestas a +/- 45°. Una relación posible de las orientaciones de fase en la raíz de pala 6 es de aproximadamente 55% de capas unidireccionales a 0°, 14% de capas unidireccionales a 90° y 31% de capas a +/- 45°.

Dado que la segunda fila de pernos transversales 34 está situada delante desde el punto de vista de la carga de la pala, dicha segunda fila recibe una carga incrementada en comparación con la primera fila 33. Para hacer posible una homogeneización de la distribución de fuerza entre las dos filas, los pernos de atornillamiento de la segunda fila se configuran deliberadamente como más blandos que los de la primera fila. Esto se realiza, por ejemplo, previendo vástagos de diferente delgadez de los pernos o tornillos que se ponen en unión operativa con los pasadores transversales 20'. En lugar de los pasadores transversales circulares en sección transversal, pueden estar previstos también, como ya se ha indicado anteriormente, pasadores transversales de otras formas que presenten especialmente una altura mayor que la anchura.

También se puede configurar así la segunda fila 34 como más blanda que la primera fila 33 de pasadores transversales 20, 20'. Un aumento excesivo de tensión aparece sustancialmente en el borde de los agujeros de los pasadores transversales 20, 20'. Por este motivo, las filas de agujeros pueden también aproximarse más una a otra de lo que se representa actualmente en este ejemplo. Están previstos, por ejemplo, un paso de división de 166 mm y una distancia de las filas de agujeros de 65 mm. La distancia de las filas de agujeros al extremo 19 del lado de la raíz puede ser aún un poco más pequeña de lo que se ha representado, con lo que se reduce la diferencia en la longitud de los pernos o la longitud de los tornillos.

La Fig. 9 muestra una representación en sección esquemática de una conexión 17 de pala de rotor en la que se basa la invención.

Según la invención se emplea un pasador transversal 20 algo más corto desde el punto de vista de la profundidad t, el cual está provisto de un laminado de cubierta 27, 27' en los lados 37, 37' de los pasadores orientados hacia la superficie interior 35 o hacia la superficie exterior 36 de la pala de rotor o de la raíz de pala 6. De este modo, se obtiene una encapsulación completa del pasador transversal 20. Se incrementa así la resistencia de la combinación del pasador transversal 20 con la raíz de pala 6. Esto se realiza de modo que primero se fabrica el laminado de la raíz con el espesor que es necesario para soportar el pasador transversal 20. Seguidamente, este laminado es provisto de los taladros para los pasadores transversales 20 y, además, de los taladros para los tornillos 13. Se montan luego los pasadores transversales 20. Se inserta después desde dentro y desde fuera, alrededor del laminado central, una cantidad de laminado adicional tan grande como sea necesaria para transmitir con seguridad las cargas de la pala de rotor al anillo de laminado central. Una realización especialmente ventajosa de este principio de conexión o de esta conexión de pala de rotor consiste en fabricar la parte de laminado central como un laminado híbrido de fibra de vidrio-metal.

Gracias a la forma de realización de la conexión de pala de rotor de la invención según la figura 9 se pueden emplear más pares de pernos o más pares de pasadores/tornillos que en la disposición de pernos convencional.

En la fabricación de la pala de rotor se pueden presentar primeramente las semicoquillas de pala en forma seca y aún no sometida a una operación RIM (RIM se deriva de Resin Infusion Moulding, o sea, moldeo por infusión de resina). Se coloca luego el cinturón en forma de fibras de vidrio o fibras de carbón unidireccionales. Se fabrica y se ensambla un semianillo con uniones de pasador transversal prefabricadas o preuniones de pasador transversal. Sigue un RIM en vacío y un pegado subsiguiente de las semicoquillas de pala. En este procedimiento de fabricación es necesaria una precisión de ensamble relativamente buena. Como remate del extremo 19 del lado de la raíz de pala podría estar prevista también una placa de acero que se aplique o se pegue con un espesor de adhesivo adaptado sobre el extremo 19 de la raíz de pala o de la pala de rotor situado por el lado de dicha pala de rotor.

Un modo de actuación alternativo o un procedimiento alternativo parece ser tal que, después de la previsión de las semicoquillas de pala, se inserta el cinturón y tienen lugar la operación RIM, especialmente una operación RIM en vacío, a continuación un pegado de la semicoquillas de pala, seguidamente la previsión de los agujeros correspondientes para los pasadores transversales y la unión de atornillamiento y luego un pegado de un anillo interior y un anillo exterior que están constituidos en conjunto por tres o cuatro partes. Cuando la conexión es cónica, están previstas tres partes, y cuando la conexión es cilíndrica, están previstas cuatro partes. La figura 9 muestra también un agujero ciego roscado 28 que está provisto de una rosca 24' para poder cambiar de manera sencilla el pasador transversal 20 al presentarse un defecto en éste. A este fin, se retira del lado interior 35 el laminado en la zona del pasador transversal 20, se atornilla un tornillo en el agujero ciego 28, se extrae el pasador transversal 20, se inserta un nuevo pasador transversal 20 y se aplica nuevamente el laminado 27'. Este ejemplo de realización puede combinarse también con los ejemplos de realización anteriormente citados.

La figura 10 muestra una representación en sección esquemática de una conexión de pala de rotor 17. Se representa sustancialmente una raíz de pala 6 en la transición al laminado de coquilla de pala normal de la pala de rotor 5. En este ejemplo se materializa la idea de aumentar la compresión superficial admisible o la resistencia admisible del intradós de los agujeros mediante la previsión de capas metálicas 32. Hay que tener en cuenta que los pasadores transversales previstos 20 están sometidos a un pretensado muy alto durante el montaje con un tornillo no representado en la figura 10. Las chapas metálicas o las láminas metálicas que se presentan en una capa metálica 32 son, por ejemplo, tan delgadas que pueden adaptarse de manera autónoma a la forma de, por ejemplo, un semicírculo. Preferiblemente, éstas tienen un espesor entre 0,2 mm y 0,4 mm. La estructura que resulta es una estructura híbrida a base de capas metálicas alternantes 32 y capas de plástico 31 reforzadas con fibra de vidrio también alternantes. El espesor de las capas de fibra de vidrio es de 1,2 mm en este ejemplo de realización. Con un espesor de 1,2 mm del plástico reforzado con fibra de vidrio y un espesor de 0,3 mm de, por ejemplo, el acero, la proporción de acero es de un 20%. La fuerza adicional de los tornillos disminuye especialmente bajo una sollicitación de tracción, ya que la relación de la rigidez de las partes afianzadas con respecto a la rigidez de la parte sollicitada a tracción resulta más favorable. Se obtiene así una influenciación más favorable de las condiciones de afianzamiento de la unión de atornillamiento, con lo que se reduce netamente también la carga adicional en el pasador transversal 20. Además, gracias a la alta resistencia a la compresión del metal se incrementa netamente la resistencia del intradós de los agujeros.

Debido a la estratificación asimétrica de las capas es decir que en este ejemplo de realización la reducción de capa en capa de la longitud de las capas en la dirección axial del eje longitudinal de la pala de rotor o del eje longitudinal 18 del tornillo no representado o del eje longitudinal 18 del taladro de paso 26, se hacen posibles una fabricación rápida y sencilla y un control también rápido y sencillo de la fabricación. En la fabricación se emplean preferiblemente también esterillas de fibra de vidrio unidireccionales en la dirección longitudinal axial de la pala del rotor para poder distribuir correspondientemente de manera uniforme el plástico en el procedimiento RIM. No obstante, para reducir la tensión inducida por la temperatura entre el plástico reforzado con fibra de vidrio y el acero es pertinente introducir también unidireccionalmente una cantidad suficiente de fibras en la dirección periférica.

La transición entre capas con capas cada vez más cortas a base de plástico reforzado con fibra de vidrio y metal puede apreciarse especialmente bien en la zona de transición 40.

Las capas inferiores 31 representadas en la figura 10 están realizadas preferiblemente como continuas hasta la zona exterior de la pala.

Para evitar la corrosión se ha previsto una capa de cubierta 30 o 30'.

La figura 11 muestra otra conexión 17 de pala de rotor en una representación en sección esquemática, en la que también está prevista una especie de capa híbrida a base de capas metálicas y capas de plástico reforzadas con fibra de vidrio. A diferencia del ejemplo de realización según la figura 10, la zona inferior representada en la figura 11 está representada también en forma acodada en sección transversal, lo que puede apreciarse especialmente bien en la capa de cubierta 30'. El eje central de la pared de la pala está superpuesto aquí sustancialmente con respecto al eje longitudinal 18 del tornillo.

En lugar de acero, se puede emplear también aluminio o titanio u otro metal. En lugar de una chapa continua o una lámina continua de metal, se puede emplear también una capa metálica perforada 32 o varias capas metálicas perforadas 32. Esto conduce a una mejor distribución del plástico en la raíz de pala 6 y en la zona de transición 40.

La profundidad  $t$  puede ser de 50 mm a 100 mm en los ejemplos de realización según la figura 10 y la figura 11 en el extremo de la pala de rotor correspondiente al lado de la raíz de dicha pala. El diámetro del pasador transversal 20 puede ser de 45 mm. La distancia del extremo del lado de la raíz de pala hasta el centro del pasador transversal 20 es de aproximadamente  $2,5 \times$  el diámetro del pasador transversal 20, es decir, aproximadamente 112 mm. La zona de transición 40 comienza en sí a estrecharse también aproximadamente a 112 mm del centro del pasador transversal 20. Estas medidas se aplican preferiblemente para una pala de rotor de 40 m a 45 m. El estrechamiento de la pala de rotor en la zona de transición 40 puede extenderse sobre un trayecto de 300 mm a aproximadamente 1.400 mm. El espesor del laminado portante de la coquilla de pala en 29 es entonces de aproximadamente 15 mm a 20 mm. Los ejemplos de realización según las figuras 10 y 11 pueden combinarse también con las formas de realización anteriormente citadas según la invención.

#### Lista de símbolos de referencia

- 1 Instalación de energía eólica
- 2 Torre
- 3 Cabeza de torre

	4	Cubo de rotor
	5	Pala de rotor
	6	Raíz de pala
	7	Abertura
5	8	Abertura
	9	Agujero de brida
	10	Árbol de generador
	11	Brida
	12, 12'	Agujero
10	13	Tornillo
	14	Pasador transversal
	15	Tuerca
	16	Agujero
	17	Conexión de pala de rotor
15	18	Eje longitudinal
	19	Extremo del lado de la raíz de pala
	20, 20'	Pasador transversal
	21	Perno expandible
	22	Pared
20	23	Brida
	24, 24'	Rosca
	25	Agujero ciego
	26	Agujero de paso
	27, 27'	Laminado de cubierta
25	28	Agujero ciego roscado
	29	Laminado de coquilla de pala
	30, 30'	Capa de cubierta
	31	Capa de laminado
	32	Capa metálica
30	33	Primera fila
	34	Segunda fila
	35	Superficie interior
	36	Superficie exterior
	37, 37'	Lado de pasador
35	40	Zona de transición

	41	Punta de pala de rotor
	42	Tuerca
	$L_{tot}$	Altura total
	t	Profundidad
5	h	Altura
	B	Anchura
	D	Diámetro
	R	Radio
	A	Distancia

10

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Pala de rotor (5) con una conexión (17) de pala de rotor, especialmente de una instalación de energía eólica (1) para unir la pala de rotor (5) con un dispositivo de conexión (4), que comprende un pasador transversal (20, 20') y un dispositivo de unión (13, 21) que pueden ponerse en unión operativa uno con otro, caracterizada por que el pasador transversal (20, 20') se encuentra completamente encapsulado por la pala de rotor (5), produciéndose el encapsulado de los lados (37, 37') orientados hacia la superficie exterior (36) y hacia la superficie interior (35) de la pala de rotor (5) del pasador transversal (20, 20') mediante al menos una capa de laminado (27, 27') de un material (27, 27') empleado en la pala de rotor (5).
- 10 2. Pala de rotor (5) según la reivindicación 1, **caracterizada** por que la al menos una capa de laminado (27, 27') está reforzada por una o varias capas de material de refuerzo (32), especialmente capas metálicas (32), y cumpliéndose que, en el caso de una pala de rotor (5) de 35 m a 55 m de longitud, especialmente los lados (37, 37') del pasador transversal (20, 20') vueltos hacia la superficie exterior (36) y hacia la superficie interior (35) de la pala de rotor (5) están encapsulados con un espesor de material de 5 mm a 20 mm, especialmente 10 mm a 15 mm.
- 15 3. Pala de rotor (5) según la reivindicación 1 u 2, **caracterizada** por que el material (27, 27') que sirve para la encapsulación se extiende bastante más allá de la zona del pasador transversal (20, 20') introducido en la pala de rotor (5).
- 20 4. Pala de rotor (5) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada** por que el pasador transversal (20, 20') presenta una abertura (28) en al menos un lado (37, 37') que está vuelto hacia la superficie interior (35) y/o hacia la superficie exterior (36) de la pala de rotor (5), en cuya abertura se puede introducir al menos indirectamente una herramienta con ajuste de forma y/o ajuste de rozamiento, siendo especialmente la abertura (28) un agujero ciego en el que está prevista una rosca (24').
- 25 5. Rotor (4, 5) de una instalación de energía eólica (1) con un cubo de rotor (4) y al menos una pala de rotor (5) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.
6. Uso de una instalación de energía eólica (1) con una pala de rotor (5) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4.

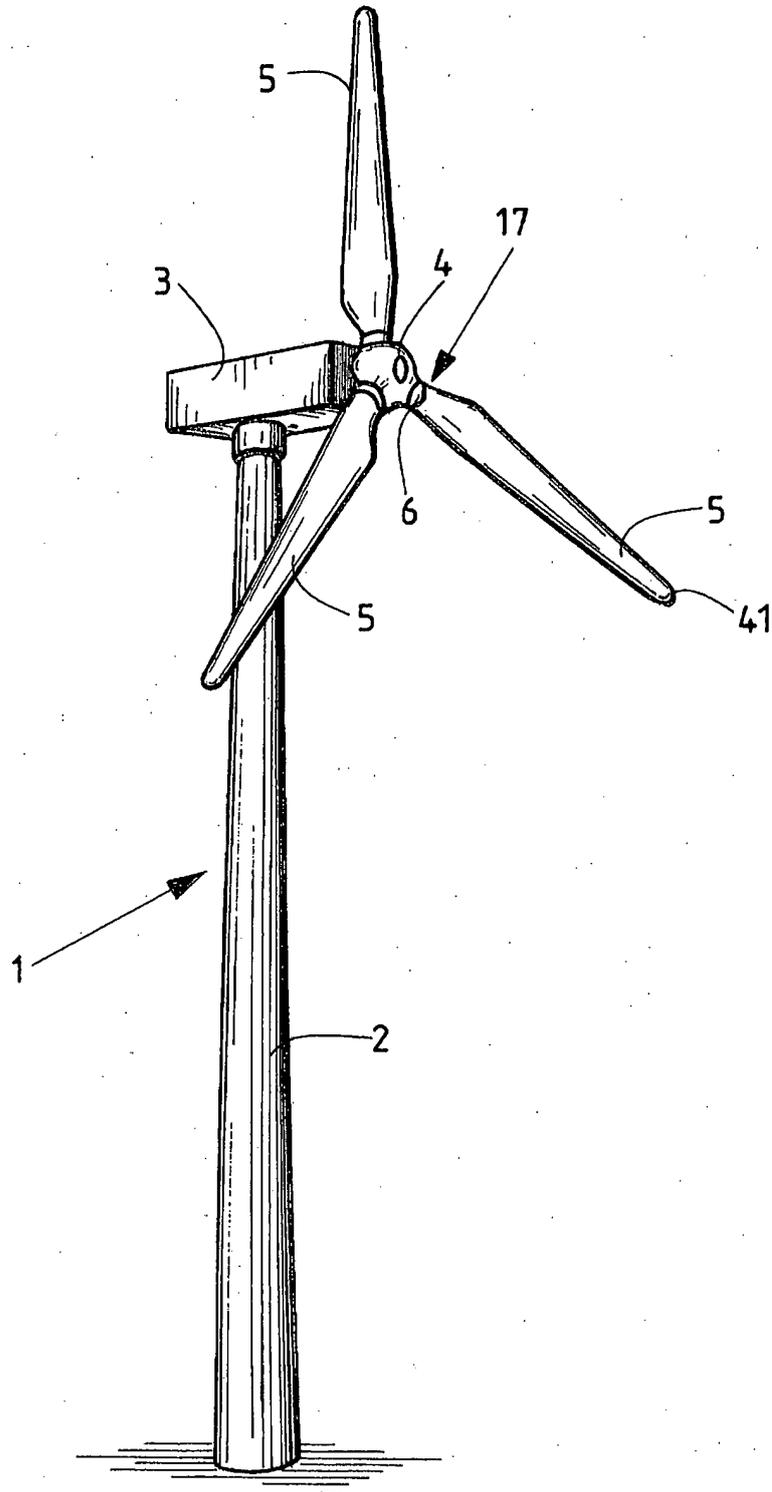


FIG. 1

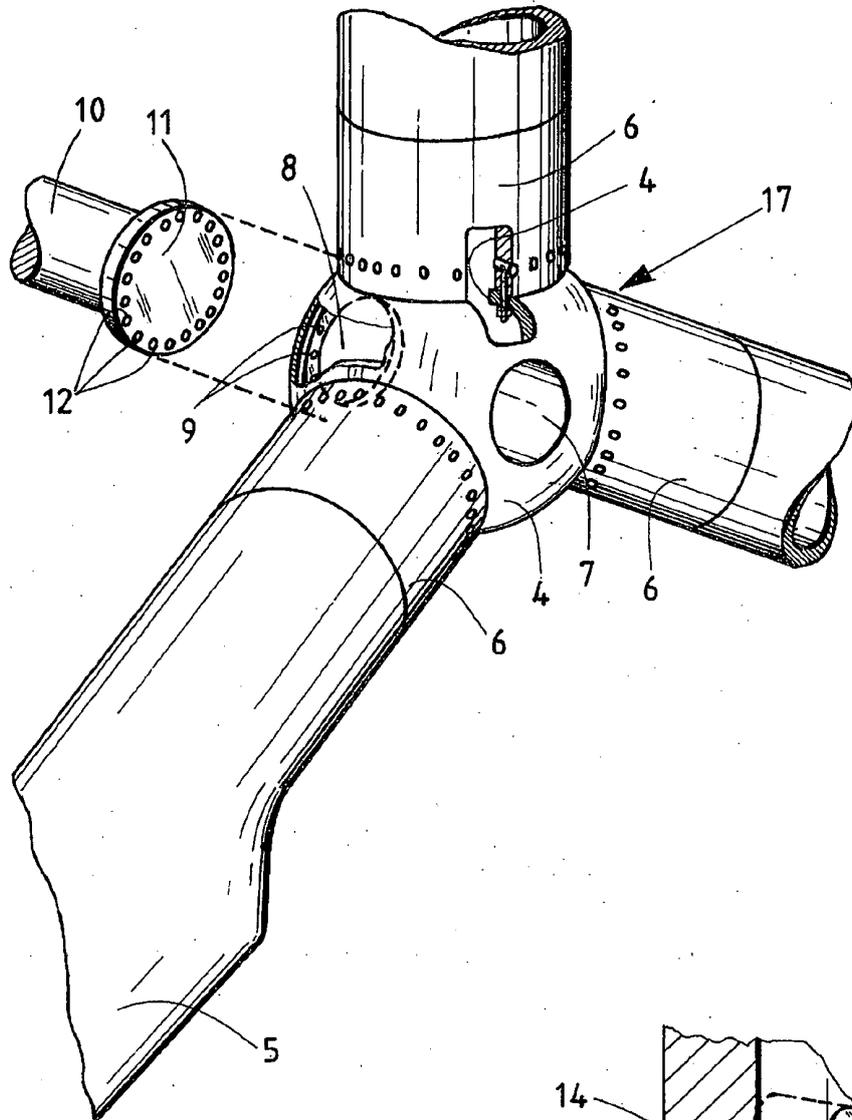


FIG. 2

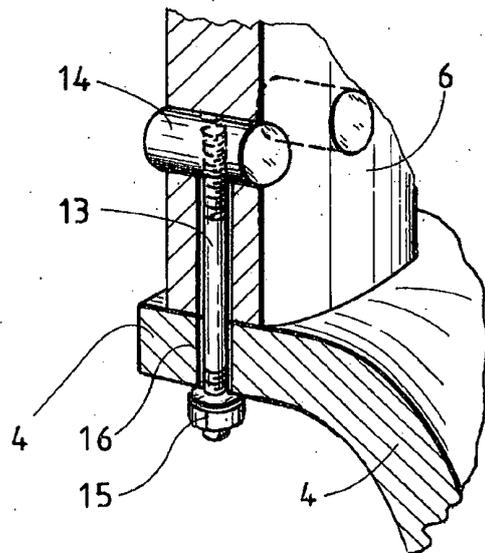


FIG. 3



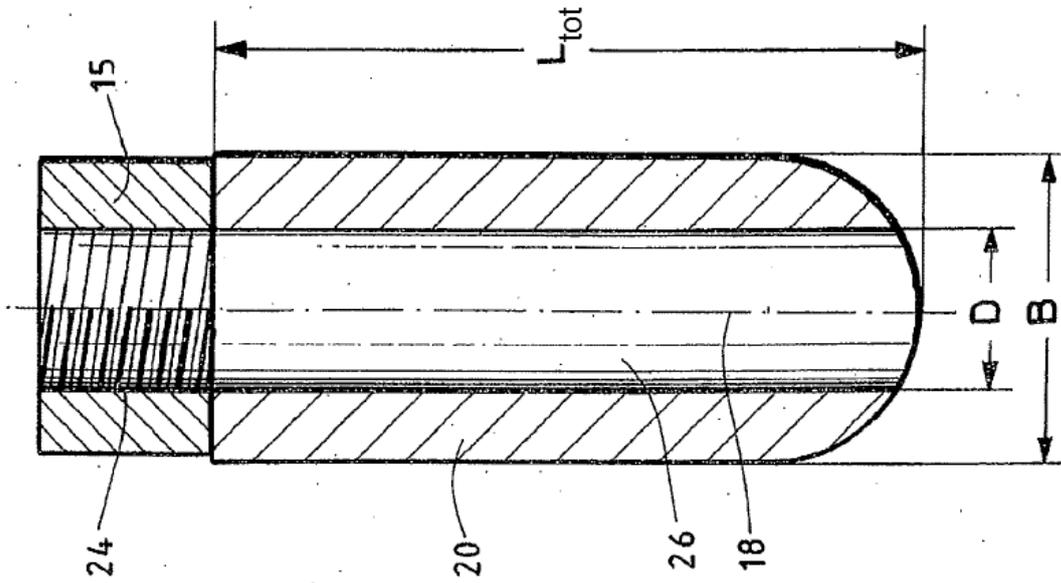


FIG. 6

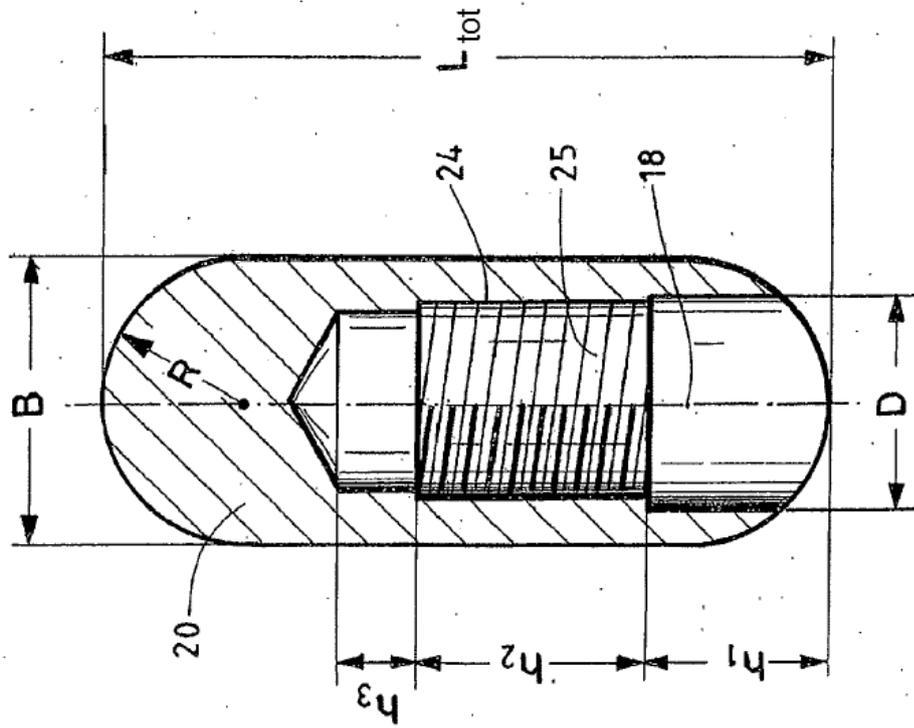


FIG. 5

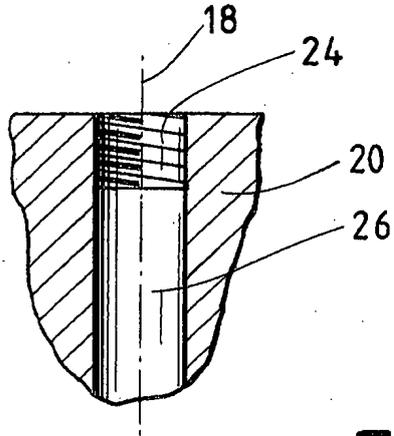


FIG. 7

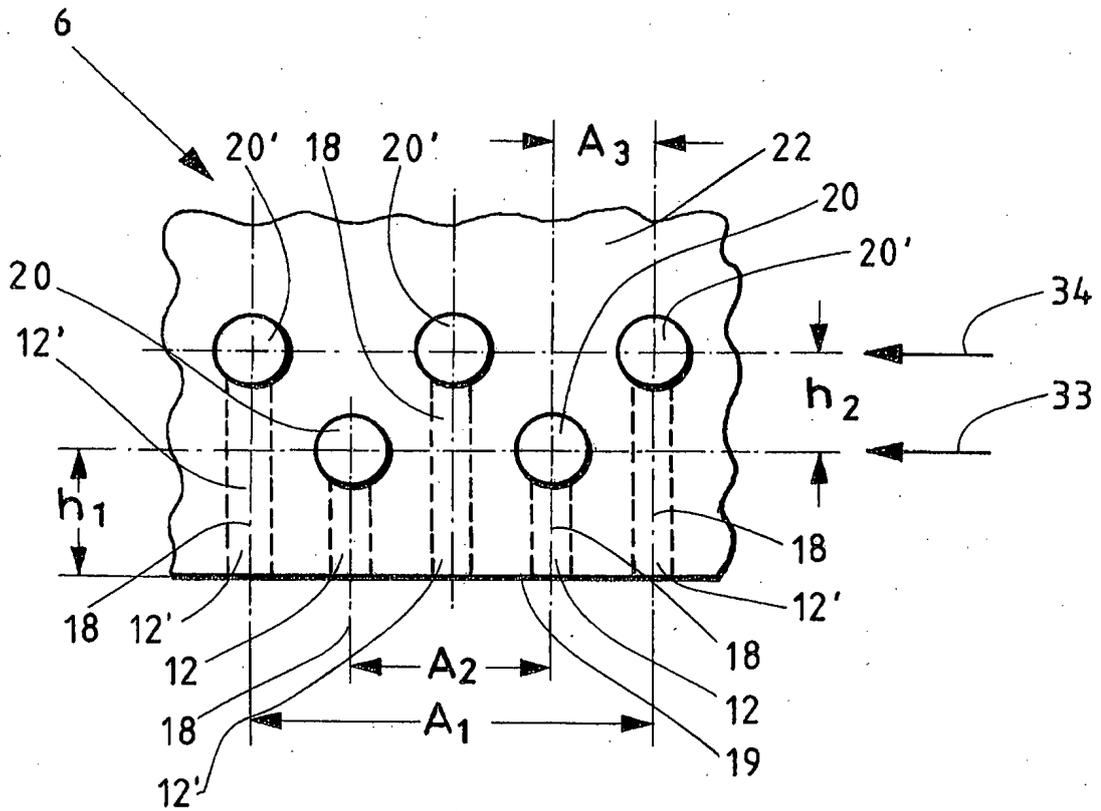


FIG. 8

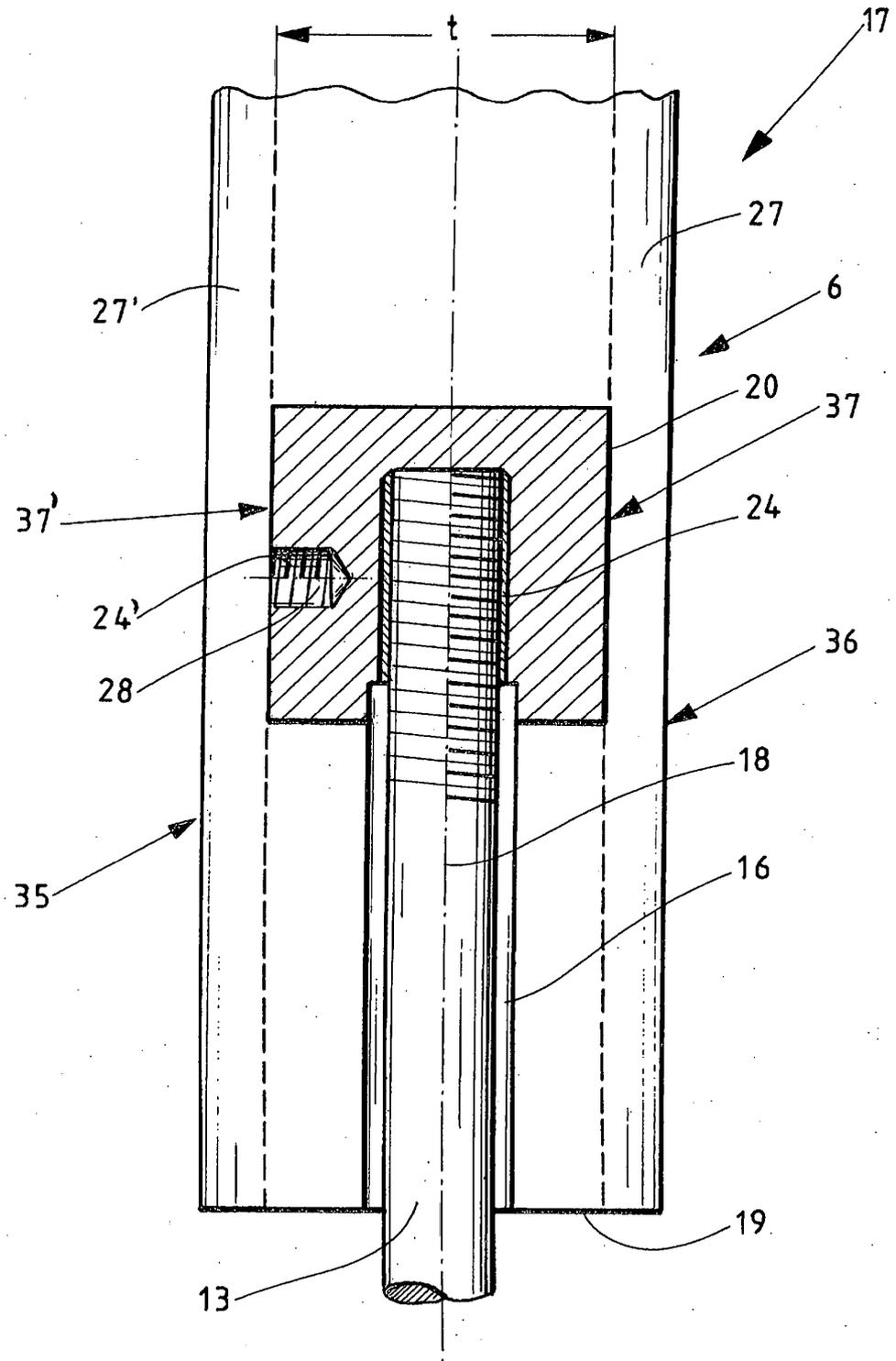


FIG. 9

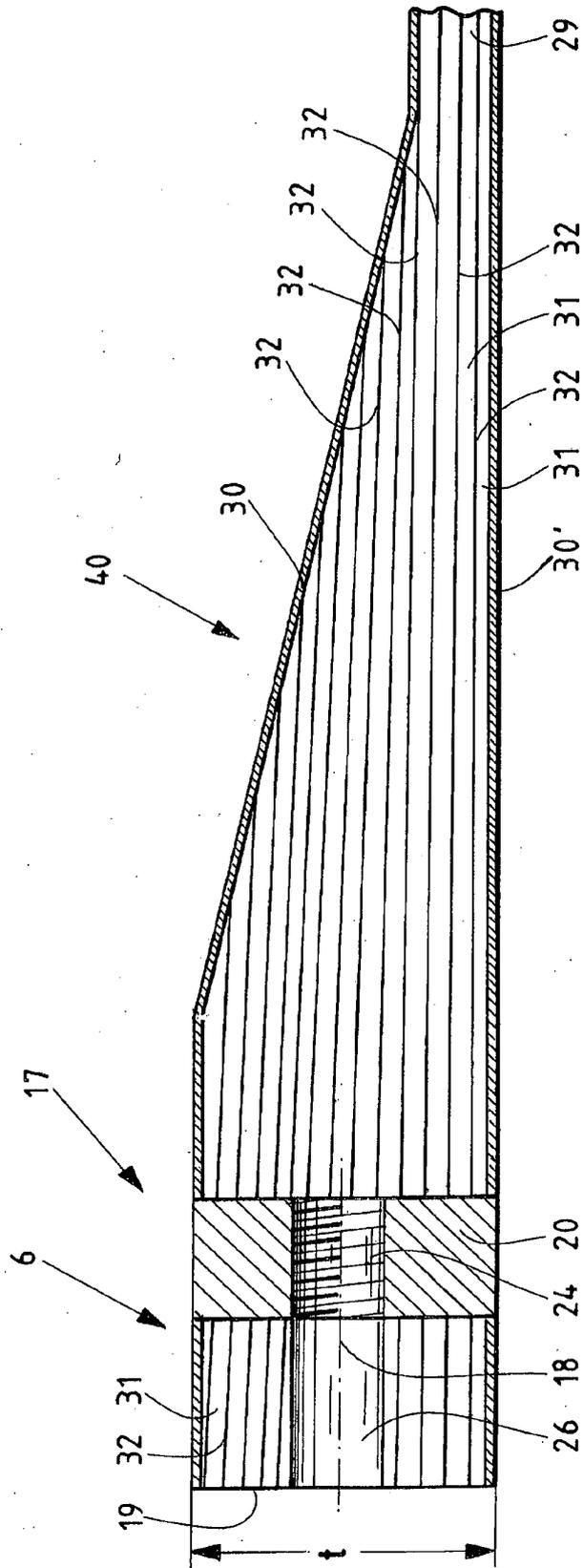


FIG. 10

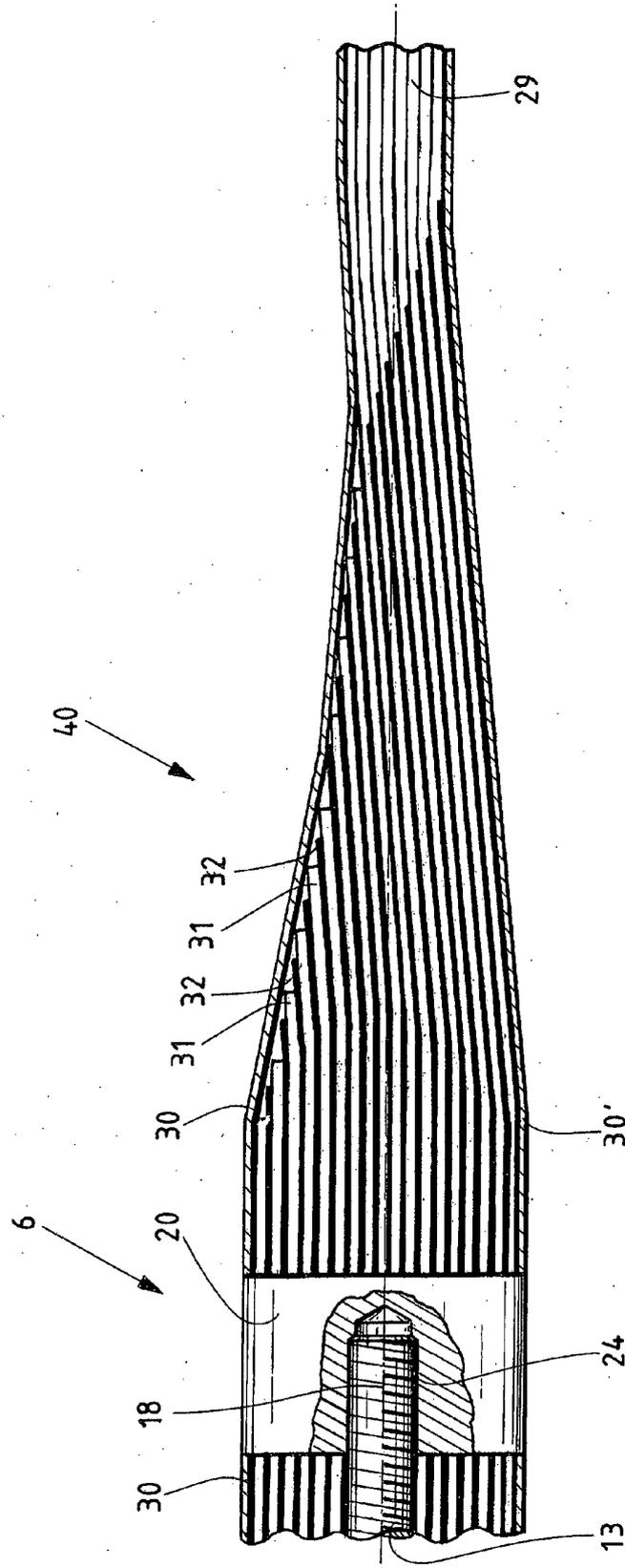


FIG. 11