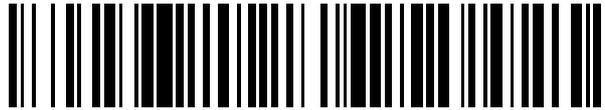


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 600 744**

51 Int. Cl.:

F03D 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.08.2013 PCT/EP2013/066828**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.02.2014 WO14023850**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.08.2013 E 13759144 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.10.2016 EP 2882962**

54 Título: **Árbol de rotor para una turbina eólica**

30 Prioridad:

10.08.2012 DE 102012214339

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

10.02.2017

73 Titular/es:

**AE ROTOR HOLDING B.V. (100.0%)
Jan Tinbergenstraat 290
7559 ST Hengelo, NL**

72 Inventor/es:

BEHRENDT, UTE

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 600 744 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

Árbol de rotor para una turbina eólica.

5 La invención se refiere a un árbol de rotor para una turbina eólica. En este caso, el árbol de rotor incluye una brida para la recepción de un movimiento de rotación de un núcleo de un rotor de la turbina eólica, un árbol impelido para derivar un movimiento de rotación, por ejemplo, a un engranaje, un vástago y a una sección intermedia. En este caso, por medio de la sección intermedia la brida está conectada con el vástago, y el vástago a su vez conectado con el árbol impelido. Tal árbol de rotor es, en lo esencial, hueco. En la superficie exterior del vástago se encuentra una superficie de apoyo para soportar el vástago en un cojinete principal de la turbina eólica. En una dirección axial, la superficie de apoyo está separada con un espaciado de apoyo efectivo de una superficie de la brida y dispuesta en un sector del vástago adyacente a la sección intermedia.

15 Tal árbol de rotor de una turbina eólica es conocido a partir de la Patente Europea EP 2 202 013 B1, siendo un árbol de rotor que se fabrica por extrusión. En este procedimiento de producción se utilizan matrices de alta resistencia y costosas, y también la materia prima tiene que cumplir requisitos de calidad muy exigentes. Esto hace que el árbol de rotor sea muy caro y es posible que se forme una estructura de material no uniforme, que a su vez puede conducir bajo carga a concentraciones de tensiones no deseadas.

20 Además, del estado actual de la técnica se conocen árboles de rotores de turbinas eólicas que son fabricados por forjado. También este proceso de fabricación es extremadamente complejo y costoso. Además, por el documento WO2012/095140 se conoce otro árbol de rotor según el estado actual de la técnica.

25 Es un objetivo de la invención proporcionar un árbol de rotor para una turbina eólica que eluda las desventajas del estado actual de la técnica. En particular, el árbol de rotor debe poder ser producido a bajo costo y aun así satisfacer los requisitos exigentes de la energía eólica en términos de calidad y homogeneidad del material.

30 Según la invención, el objetivo se consigue mediante las características de la reivindicación 1, siendo el árbol de rotor fabricado esencialmente de un material metálico de fundición y presentando en un sentido radial una superficie interior interna y frontal y una superficie exterior externa. La superficie interior tubular real del árbol de rotor se compenetra de manera continua en la cara frontal de la sección intermedia y en adelante se hablará solamente de la "superficie interior", que incluye un componente interno y también un componente frontal. Por un lado, la superficie exterior de la sección intermedia se encuentra en un plano de sección desplegado por la dirección radial y la dirección axial, en particular con al menos un radio externo curvado cóncavo y, por otro lado, la superficie interior de la sección intermedia en el plano de sección, en particular configurado con al menos un radio interior curvado convexo. De tal manera, la superficie exterior y la superficie interior de la sección intermedia se extienden sustancialmente de forma continua. También es concebible que la geometría de la superficie interior y de la superficie exterior no esté configurada como radio, sino también como una función optimizadora arbitraria de flujo de fuerza (por ejemplo, una función hiperbólica). Además, la sección intermedia o los radios de la sección intermedia se forman geoméricamente de tal manera que una tensión máxima en cada punto del árbol de rotor siempre esté por debajo del límite de alargamiento ($R_p, 0,2$) definido para el material de fundición o, en términos constructivos, por debajo de los límites admisibles de tensión. El límite de alargamiento se denomina también límite elástico de 0,2%, o sea la tensión hasta la cual el material bajo carga de tracción uniaxial y libre de par muestra una deformación plástica permanente de 0,2%. La tensión máxima en el componente se calcula usando un perfil de carga especificado para la aprobación del árbol de rotor. En este caso, dicho perfil de carga es la magnitud técnica crucial, porque el mismo se utiliza como base en un procedimiento de aprobación, también llamado certificación, de cada componente de la turbina eólica. Dicho perfil de carga incluye, por ejemplo, la carga continua en el margen de las cargas de trabajo, las cargas extremas con vientos fuertes o las así denominadas ráfagas de cada los 50 años que, estadísticamente, sólo se producen cada 50 años. Por lo tanto, existe para cada turbina eólica o para cada componente de una turbina eólica, un perfil de carga establecido como base para la certificación. Un componente sólo recibirá la aprobación si una tensión máxima bajo carga con el mismo perfil de carga se mantiene por debajo de un cierto valor, en particular del límite de alargamiento. Esta prueba para la aprobación de un componente se produce en el ordenador, es decir que, teniendo en cuenta el mencionado perfil de carga, se calcula un modelo del componente a aprobar. Por supuesto, es concebible que en este cálculo también se tengan en cuenta seguridades, en particular es sensato un factor de seguridad de 1,1. Por lo tanto, a 1,1 veces la tensión máxima calculada en el árbol del rotor debe estar por debajo del límite de alargamiento del material de fundición seleccionado. Por supuesto, también son concebibles otros valores para el factor de seguridad, en particular 1,2 o algún otro valor que se utiliza para la certificación.

60 La siguiente tabla muestra con un factor de seguridad de 1,1 los posibles materiales cuya resistencia a la tracción, límite de alargamiento ($R_p, 0,2$), límite elástico con espesor de producción y sus valores. Otros más se pueden encontrar en la norma DIN EN 1563:

ES 2 600 744 T3

Material	Resistencia a la tracción [N/mm ²]	Límite de alargamiento máx. [N/mm ²]	Límite de alargamiento mín. [N/mm ²]
EN-GJS-350-xxx	350 . 320	220	220
Incl. Seguridad: 1,1		200	200
EN-GJS-400-xxx	400 ... 370	240	230
Incl. Seguridad: 1,1		218	209
EN-GJS-600-xxx	600 . 550	370	360
Incl. Seguridad: 1,1		336	327

Por precisamente esta configuración de las superficies interior y exterior del árbol de rotor es posible, por primera vez, que las fuerzas se pueden derivar de una manera ordenada y homogénea desde la brida hacia el cojinete y hacia el árbol impelido y al mismo tiempo se pueda usar un material de fundición.

5 Debido a la potencial falta de homogeneidad, por ejemplo rechupes o poros, de un material de fundición en un componente y/o por la geometría del componente en sí, en componentes fundidos altamente estresados se producen en diferentes posiciones unas concentraciones de tensiones impredecibles. Por lo tanto, para poder producir mediante fundición un componente mecánico forjado muy estresado, el mismo tiene que ser construido de tal manera que el debilitamiento debido a la falta de homogeneidad del material fundido y/o debido a la geometría en sí sea compensado mediante una geometría adaptada.

10 De forma sorprendente, se ha encontrado que los principios de diseño conocidos a partir del estado actual de la técnica para material de fundición y, especialmente, para árboles de rotor no son aplicables a un árbol de rotor de fundición de una turbina eólica. En ensayos arduos resultó ser que un árbol de rotor para una turbina eólica de acuerdo con los principios de diseño estándar no soportaría las particularmente elevadas cargas operativas de una turbina eólica.

15 En un ejemplo de realización de la invención se indica que la sección intermedia del árbol de rotor tiene para soportar la brida una proyección configurada en sentido axial como anillo simétrico. Esta proyección está dispuesta en la sección intermedia en una cara frontal del árbol de rotor apartada del árbol impelido y forma, al mismo tiempo, una parte de la superficie interior. Esta proyección tiene la función importante de soportar y rigidizar la parte superior de la sección intermedia, de modo que pueda resultar una distribución uniforme de la tensión en el sector de la incorporación de fuerza o bien las tensiones puedan concentrarse, de manera no deseada, por ejemplo en la superficie exterior de la sección intermedia.

20 De manera sorprendente, se ha encontrado que a través de este relleno – o sea el aumento del espesor de pared en la cara opuesta al de la carga o cara interior – se reduce en la cara exterior efectivamente un aumento de tensión debido al efecto de entalladura. Debe observarse que este ejemplo de realización también puede considerarse como una invención independiente en conexión con un árbol de rotor del estado actual de la técnica. Preferentemente, el árbol de rotor, según el estado actual de la técnica es combinado con el radio externo cóncavo y el radio interno convexo como se ha descrito anteriormente y con la proyección.

25 Según una forma de realización adicional de la invención, la proyección presenta en dirección axial una profundidad respecto de la superficie de brida, siendo la relación del espaciado del cojinete respecto de la profundidad de la proyección de entre 12 y 4, preferentemente entre 8 y 4, más optimizado entre 6 y 4,5, y particularmente preferente entre 5,5 a 4,6. En una manifestación de la proyección de este tipo, las ventajas de la misma son particularmente evidentes en términos de flujo de fuerza, acción de palanca, refuerzo y soporte de la sección intermedia y brida.

30 De manera ventajosa, la proyección puede compenetrarse de manera sustancialmente continua en la superficie de brida a través de por lo menos un radio. De esta manera se consigue que la incorporación de fuerzas de la brida a la proyección de la sección intermedia se produzca de manera particularmente uniforme.

35 Por otra parte, la proyección también puede compenetrarse a través de una superficie anular cónica en la superficie de la brida, pudiendo eventualmente utilizar adicionalmente también un radio, como se ha descrito precedentemente. A través de esta superficie anular se asegura que el saliente esté formado sin acumulación de materia que promueva la rigidez y los concentradores de tensiones.

40 De acuerdo con una forma de realización adicional, la superficie anular incluye en el plano de sección un ángulo con un eje del árbol del rotor de entre 50° grados y 20° grados, preferentemente entre 45° grados y 25° grados, y de forma especialmente preferente entre 40° grados y 35° grados. De esta manera se consigue que la proyección esté conformada no demasiado grande, provocando nuevos concentradores de tensiones, y a su vez no demasiado pequeña, pasando el efecto de soporte a ser insuficiente.

En una forma de realización adicional de la invención, la curvatura de la superficie exterior presenta dos o más radios exteriores, que están diseñados preferentemente diferentes y se compenetran.

5 De tal manera, es concebible que un primer radio esté dispuesto en la superficie exterior en proximidad de la superficie de apoyo y un segundo radio situado en proximidad inmediata de la brida, siendo el primer radio mayor que el segundo radio. Esto hace que el flujo de fuerza entre la brida y el vástago del árbol de rotor se manifieste de manera relativamente constante, y se eviten o reduzcan los concentradores de tensiones, en particular en la superficie.

10 El flujo de fuerza en la sección intermedia también se mejora cuando la curvatura convexa de la superficie interior incluye al menos dos o más radios internos.

Además, un primer radio interno, dispuesto sustancialmente en la superficie interior en un sector que se corresponde con un sector de la superficie de apoyo exterior en sentido radial, puede ser mayor que un segundo radio interno
15 dispuesto en una cara frontal de la superficie interior.

Una forma de realización independiente de la invención da a conocer que un espesor de pared de la sección intermedia, partiendo de un espesor de pared máximo hasta un espesor de pared en la transición de la sección intermedia a la brida, disminuye de manera esencialmente continua. Esto se consigue al configurar apropiadamente el radio interno o bien los radios internos de la superficie interior y el radio externo o bien los radios externos de la superficie exterior. El espesor máximo de pared puede estar dispuesto ya sea en proximidad inmediata al vástago o también, en lo esencial, en una sección central de la sección intermedia.

20 La característica anterior produce un resultado particularmente bueno en términos de una línea de flujo de fuerza óptima, al aumentar esencialmente de manera continua, primero hasta el espesor de pared máximo, el espesor de pared de la sección intermedia partiendo de un espesor de pared en la transición del vástago a la sección intermedia, y después disminuir esencialmente de manera continua hasta un determinado espesor de pared menor en la transición de la sección intermedia a la brida. Al reducir el espesor de pared en sentido al cojinete y/o en sentido a la brida, se consigue un comportamiento de conformación uniforme de la sección intermedia.

25 Ventajasamente, la superficie interior y la superficie exterior de la sección intermedia pueden estar configuradas, en lo esencial, extendidas en paralelo. De este modo se consigue que la sección intermedia pueda ser examinada en busca de defectos de material por medio de métodos adecuados de ensayo de materiales, por ejemplo mediante examen por ultrasonido.

30 En contraste con las instrucciones de construcción según estado actual de la técnica, en particular según la teoría de diseño, se ha encontrado que para el flujo de fuerza es ventajoso que el diámetro exterior eficaz de la superficie exterior de la sección intermedia se corresponda en una sector adyacente al vástago, en lo esencial, con el diámetro de apoyo o sólo lo supere ligeramente.

35 Una forma de realización ventajosa en este contexto da a conocer que en la superficie exterior de la sección intermedia, directamente en la superficie de apoyo, está dispuesto un tope anular simétrico axialmente eficaz para un cojinete. Este tope está formado de tal manera que se proyecta en sentido radial más allá del diámetro exterior eficaz de la superficie exterior de la sección intermedia. Por lo tanto es posible que se proporcione un tope para el cojinete, pero que al mismo tiempo dicho tope no afecte negativamente el flujo de fuerza de la sección intermedia al vástago del árbol de rotor, en particular no permita la formación de concentradores de tensiones.

40 Otra forma de realización da a conocer que el tope está diseñado tan delgado como sea posible. Esto tiene el efecto beneficioso de que el tope no afecta el flujo de fuerza entre la sección intermedia y el vástago.

45 El árbol de rotor está preferentemente formado de tal manera que una relación del diámetro de brida respecto del espaciado de apoyo se encuentra entre 4,5 y 2,5, preferentemente entre 4 y 3, y particularmente preferente entre 3,3 y aproximadamente 3,1.

50 La invención también incluye una turbina eólica, estando una góndola montada de forma giratoria en una torre, y en la góndola está montado de forma giratoria un árbol de rotor de acuerdo con uno o más de los ejemplos de realización precedentes.

55 En este punto cabe destacar que los ejemplos de realización individuales y las características de los ejemplos de realización individuales también se pueden combinar entre sí, y no es obligatoriamente necesario combinar las características individuales entre sí en el orden descrito. Mediante la descripción resultarán evidentes otros detalles de la invención a partir de los dibujos.

60
65

Los dibujos muestran en:

la figura 1, una turbina eólica;

5 la figura 2, una sección longitudinal de un árbol de rotor de un material de fundición según una primera forma de realización;

la figura 3, una vista en detalle del árbol de rotor según la figura 2;

10 la figura 4, una vista en perspectiva del árbol de rotor según la figura 2;

la figura 5, una vista en perspectiva de un árbol de rotor en una segunda forma de realización;

15 la figura 6, una sección longitudinal del árbol del rotor según la figura 5, y

la figura 7, una vista en detalle del árbol de rotor según la figura 5.

20 En la figura 1 se muestra una turbina eólica 6 que incluye una torre 7, una góndola 8 montada sobre ésta y un rotor 9 montado giratorio dentro de esta última. Con el fin de poder operar la turbina eólica 6 con vientos de diferentes direcciones, la góndola 9 está provista de un sistema de seguimiento de la dirección del viento. La góndola 9 presenta un bastidor de máquina en el que está montado de forma giratoria un árbol de rotor por medio de un cojinete de rotor. En una brida del árbol de rotor está atornillado un núcleo 29 que a su vez soporta las aspas de rotor 30.

25 Una primera forma de realización de un árbol de rotor 1 según la invención se muestra en las figuras 2, 3 y 4 y una segunda forma de realización de un árbol de rotor 10 según la invención se muestra en las figuras 5, 6 y 7. En las figuras se muestra en una vista en perspectiva el árbol de rotor 1 y/o 10 con un eje 2, estando ilustrados mediante las flechas una dirección axial 3, una dirección radial 4 y un plano de corte 5 desplegado por la dirección radial 4 y la dirección axial 3. Seguidamente se dan informaciones respecto de la dirección radial 4, la dirección axial 3 referidas a un eje 2 de los árboles de rotor 1 y 10. Las características coincidentes de las dos formas de realización se designan con las mismas referencias, y de manera similar también se aplica la siguiente descripción de la primera forma de realización del árbol de rotor 1 a la segunda forma de realización del árbol de rotor 10.

35 Mediante la figura 2 y la figura 4 y/o la figura 5 y figura 6 se ilustra la estructura aproximada de los árboles de rotor 1 y 10: Los árboles de rotor 1 y 10 se componen, en lo esencial, de un vástago 13 que tiene en un lado una brida 11 y en el lado opuesto un árbol impelido 14. La brida 11 se compenetra en el vástago 13 por medio de una sección intermedia 12. Además, el vástago 13 desemboca en el árbol impelido 14 o bien el extremo del vástago 13 opuesto a la brida 11 está configurado como árbol impelido 14. Dicho vástago 13 puede, por ejemplo, estar conectado a un engranaje por medio de un acoplamiento.

40 Mediante la figura 3 y la figura 7 se da una imagen detallada de la geometría de los árboles de rotor 1 y 10 en el sector de la brida 11 y la sección intermedia 12. La brida 11 está provista de un círculo de agujeros 19 al que se puede atornillar un núcleo 29 de la turbina eólica 6. El diámetro del círculo de agujeros 19 se designará en adelante como el diámetro de brida D_F .

45 Directamente a la brida 11 linda la sección intermedia 12 que tiene un espesor incrementado de pared, y por lo tanto forma la proyección 20. La proyección 20 de la figura 3 y la proyección 40 de la figura 7 se indican con una línea de trazos 21 y presenta respecto de la superficie 15 de la brida 11 una profundidad T en sentido axial 3.

50 Entre la proyección 20 y/o 40 y la brida 11 se ha previsto una superficie anular cónica 22 o 42 que se compenetra en la superficie de brida 15 por medio de un radio R_{F0} . Esta superficie anular 22 o 42 hace que una esquina de otro modo sobresaliente podría provocar una rigidez, la cual a su vez daría lugar a una concentración de esfuerzos. El radio R_{F0} permite una incorporación de fuerza reducida en tensiones desde la brida 11 a la proyección 20 y/o 40. En la figura 3, la superficie anular cónica 22 o 42 encierra con el eje 2 del árbol de rotor 1 un ángulo α_1 de alrededor de 45° grados y/o un ángulo α_2 de alrededor de 20° grados.

55 Una realización alternativa de la transición de la proyección 20 y/o 40 a la superficie de la brida 15 está indicada mediante la línea de trazos 23. Dichas formas de realización incluyen que con la ayuda de dos radios opuestos R_{F1} , R_{F2} se posibilite una curva continua entre la superficie de brida 15 y la proyección 20 o 40, con lo cual se garantiza un flujo óptimo de fuerza. Preferentemente, la curva continua de los dos radios opuestos es seleccionada de tal manera que en un punto de inflexión o en una transición de ambos radios exista un ángulo de la superficie que tiene con el eje 2 un ángulo similar al descrito anteriormente, en particular un ángulo α_1 de alrededor de 45° grados y un ángulo α_2 de alrededor de 20° grados.

65

Como se muestra en la figura. 3, la proyección 20 forma una parte de la superficie interior 26 o bien de la superficie 26 interior o bien frontal que desemboca de forma continua en la superficie interior del vástago 13. De acuerdo con este ejemplo de realización del árbol de rotor 1, la superficie interior 26 y/o la proyección 20 presentan solamente un radio continuo R_{i0} . El radio describe la curva del contorno de la superficie interior 26 en el plano de sección 5.

5 En este ejemplo de realización, el espesor de pared - partiendo de un espesor de pared d_{zS} de la sección intermedia 12 en la proximidad del vástago 13 – disminuye de forma continua hasta un espesor de pared d_{zmin} mínimo, delante de la transición de la sección intermedia 12 a la brida 11.

10 De acuerdo con el primer ejemplo de realización (figura 3) y el segundo ejemplo de realización (figura 7), en el otro lado de la sección intermedia 12 la superficie exterior 25 limita con la brida 11, que de acuerdo con la línea de trazos 27 desemboca en la superficie de apoyo 28 del vástago 13. La superficie exterior 25 está provista de dos radios R_{a1} , R_{a2} , conectando un primer radio R_{a1} al vástago 13, y el primer radio R_{a1} se compenetra en el segundo radio R_{a2} que está dispuesto en el sector de brida 11. Ventajosamente, el primer radio R_{a1} en la superficie exterior 25 es mayor que el segundo radio R_{a2} . La superficie exterior 25 se compenetra en la brida 11 por medio de un destalonamiento 16.

20 En ambos ejemplos de realización se ha previsto un tope 17 en la transición entre la superficie de apoyo 28 del vástago 13 y la superficie exterior 25 de la sección intermedia 12. Dicho tope 17 se usa para permitir la determinación de la posición de los árboles de rotor 1 y 10 en la dirección axial 2 mediante un cojinete (no mostrado). En el sector de la transición de la sección intermedia 12 al vástago 13, dicho tope 17 se extiende en sentido radial 3 más allá de la superficie exterior 25 y también de la superficie de apoyo 28. Esto tiene por resultado que el tope 17 no está, en lo esencial, cargado por el flujo de fuerza de la brida 11, y que la geometría efectiva de la transición de la sección intermedia 12 al vástago 13 es representada por la línea de trazos 27. O sea, el diámetro D_{zS} de la sección intermedia 12 en el sector de la superficie de apoyo 28 se corresponde de este modo, en lo esencial, con el diámetro D_L de la superficie de apoyo 28. El tope 17 está conectado a través de un radio 18 con la superficie exterior 25.

30 El ejemplo de realización de un árbol de eje 10 según la figura 7 difiere del primer ejemplo de realización, principalmente debido a la manifestación de la proyección 40 y la configuración de la superficie anular cónica 42. De acuerdo con este ejemplo de realización del árbol del rotor 10, la superficie interior 26 y la proyección 40 presentan dos radios R_{i1} , R_{i2} compenetrados entre sí, estando el primer radio R_{i1} dispuesto en el sector del vástago 13 y un segundo radio R_{i2} dispuesto en el sector de la brida 11. En este caso, el primer radio R_{i1} es mayor que el segundo radio R_{i2} . Los dos radios R_{i1} , R_{i2} describen el desarrollo del contorno de la superficie interior 26 en el plano de sección 5. Como puede verse en la figura 7, la proyección 40 del árbol de rotor 10 es más pronunciada que la proyección 20 del árbol de rotor 1. Esto es debido al hecho de que el árbol de rotor 40 está concebido para una turbina eólica más grande que la del árbol de rotor 1. Por esta causa, las cargas mayores deben ser soportadas por el árbol del rotor 40 y, por lo tanto, se requiere un mayor efecto de soporte de la proyección 40 ampliada.

40 Además, la proyección 40 incluye una sección 41 relativamente recta de la parte frontal, con lo cual se consigue una reducción continua particularmente ventajosa del espesor de pared de la sección intermedia 12.

45 En este ejemplo de realización, a partir de un espesor de pared d_{zS} de la sección intermedia 12, el espesor de pared aumenta en la proximidad del vástago 13 a un máximo espesor de pared d_{zmax} en dirección a la proyección 40 de la sección intermedia 12. Después, el espesor de pared disminuye continuamente hasta un espesor de pared mínimo d_{zmin} delante de la transición de la sección intermedia 12 a la brida 11. Se consigue de esta manera que las fuerzas transversales y momentos de flexión elevados, que son introducidas en la brida 11, se puedan transferir al vástago 13 con una tensión particularmente moderada, y allí están degradadas, esencialmente, las tensiones en la superficie del vástago.

50 Las combinaciones de características dadas a conocer en los ejemplos de realización descritos no han de actuar de manera limitante sobre la invención; más bien las características de los diferentes realizaciones son combinables entre sí.

55 Lista de referencias

- 1 árbol de rotor
- 2 eje
- 3 sentido axial
- 60 4 sentido radial
- 5 plano de sección
- 6 turbina eólica
- 7 torre
- 8 góndola
- 65 9 rotor

	10	árbol de rotor
	11	brida
	12	sección intermedia
	13	vástago
5	14	árbol impelido
	15	superficie de brida
	16	destalonamiento
	17	tope
	18	radio
10	19	círculo de agujeros
	20	proyección
	21	línea
	22	superficie anular
	23	línea
15	24	
	25	superficie exterior
	26	superficie interior
	27	línea
	28	superficie de apoyo
20	29	núcleo
	30	aspa
	40	proyección
	41	sección
	42	superficie anular
25	α_1	ángulo
	α_2	ángulo
	D_F	diámetro de brida
	D_L	diámetro de apoyo
30	D_{ZS}	diámetro exterior
	d_{zs}	espesor de pared
	d_{Zmax}	espesor de pared
	d_{Zmin}	espesor de pared
	d_{zs}	espesor de pared
35	T	profundidad
	A	espaciado
	V_{AT}	relación
	V_{AT}	relación
	R_{F0}	radio
40	R_{F1}	radio
	R_{F2}	radio
	R_{i0}	radio
	R_{i1}	radio
	R_{i2}	radio
45	R_{a1}	radio
	R_{a1}	radio

REIVINDICACIONES

1. Árbol de rotor (1; 10) para una turbina eólica (6), incluyendo

- 5 - una brida (11) para la recepción de un núcleo (29) de un rotor (9) de la turbina eólica (6),
 - un árbol impelido (14) para la derivación de un movimiento rotativo, en particular a un engranaje,
 - un vástago (13) y una sección intermedia (12),
 - en la cual la brida (11) se compenetra en el vástago (13) por medio de la sección intermedia (12),
 - y el vástago (13) está conectado con el árbol impelido (14),
 10 - siendo el árbol de rotor (1; 10) esencialmente hueco,
 - y presentando el vástago (13) sobre la superficie exterior una superficie de apoyo (28) para el apoyo sobre un cojinete principal de la turbina eólica (6),
 - estando la superficie de apoyo (28) en una dirección axial (3) separada con un espaciado de apoyo (A) efectivo de una superficie de la brida (15) y dispuesta en un sector del vástago (13) adyacente a la sección intermedia (12),
 15 - el árbol de rotor (1; 10) fabricado, esencialmente, de un material metálico de fundición y
 - presentando en un sentido radial (4) una superficie interior (26) interna y frontal y una superficie exterior (25) externa,
 - estando la superficie interior (26) de la sección intermedia (12) configurada con al menos un radio interno (R_{i0} ; R_{i1} , R_{i2}) curvado convexo en un plano de sección (6) desplegado a través del sentido radial (4) y del sentido axial (3),
 20 - la superficie exterior (25) de la sección intermedia (12) configurada doblada cóncava en el plano de sección (6) con al menos un radio externo (R_{a1} , R_{a2}),
 - la superficie exterior (25) y la superficie interior (26) de la sección intermedia (12) extendida pronunciada, en lo esencial, de manera continua, y
 25 - la sección intermedia (12) formada geoméricamente de tal manera que una tensión máxima en cada punto del árbol de rotor (1; 10) siempre está por debajo del límite de alargamiento ($R_{p, 0,2}$) definido para el material de fundición,
 - estando la tensión máxima calculada con ayuda del perfil de carga indicado para la aprobación del árbol de rotor (1; 10) y
 30 - además, incluyendo el árbol de rotor una proyección (20; 40) configurada en sentido axial (3) como anillo simétrico para el apoyo de la brida (11), estando la proyección (20; 40) dispuesta en la sección intermedia (12) en un lado frontal del árbol de rotor (1; 10) apartado del árbol impelido (14) y formando una parte de la superficie interior (26) extendida de manera continua.

35 2. Árbol de rotor (1; 10) según la reivindicación 1, en el cual una relación (V_{AT}) del espaciado de apoyo (A) respecto de una profundidad (T) de la proyección (20; 40) se encuentra entre 12 y 4, preferentemente entre 8 y 4, más optimizado entre 6 y 4,5, y particularmente preferente entre 5,5 a 4,6.

40 3. Árbol de rotor (1; 10) según las reivindicaciones 1 o 2, compenetrándose la proyección (20; 40) de manera continua en una superficie de brida (15) de la brida (11) mediante al menos un radio (R_{F0} ; R_{F1} , R_{F2}).

45 4. Árbol de rotor (1; 10) según las reivindicaciones 1, 2 o 3, compenetrándose la proyección (20; 40) en una superficie de brida (15) de la brida (11) mediante una superficie anular cónica (22; 42)

50 5. Árbol de rotor (1; 10) según la reivindicación 4, en el cual la superficie anular (22; 42) incluye en el plano de sección (6) un ángulo (α_1 ; α_2) con un eje (2) del árbol del rotor (1; 10) de entre 50° grados y 20° grados, preferentemente entre 45° grados y 25° grados, y de forma especialmente preferente entre 40° grados y 35° grados.

55 6. Árbol de rotor (1; 10) según una de las reivindicaciones precedentes, presentando la curvatura cóncava de la superficie exterior (25) dos o más radios exteriores (R_{a1} , R_{a2}), estando un primer radio (R_{a1}) dispuesto sobre la superficie exterior (25) en proximidad de la superficie de apoyo (28) y un segundo radio (R_{a2}) dispuesto en la superficie exterior (25) en proximidad mediata de la brida (11), siendo el primer radio (R_{a1}) mayor que el segundo radio (R_{a2}).

60 7. Árbol de rotor (10) según una de las reivindicaciones precedentes, incluyendo la curvatura convexa de la superficie interior (26) dos o más radios internos (R_{i1} , R_{i2}), estando un primer radio interno (R_{i1}) dispuesto esencialmente en la superficie interior (26) en un sector que se corresponde con un sector de la superficie de apoyo (28) exterior en sentido radial (4), y un segundo radio interno (R_{i2}) dispuesto en una cara frontal de la superficie interior (26), siendo el primer radio interno (R_{i1}) mayor que el segundo radio interno (R_{i2}).

65 8. Árbol de rotor (1; 10) según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual un espesor de pared de la sección intermedia (12), partiendo de un espesor de pared máximo (d_{zmax}) hasta un espesor de pared mínimo (d_{zmin}) en la transición de la sección intermedia (12) a la brida (11), disminuye de manera esencialmente continua.

- 5 9. Árbol de rotor (10) según la reivindicación 8, en el cual un espesor de pared de la sección intermedia (12), partiendo de un espesor de pared (d_{zs}) en la transición del vástago (13) a la sección intermedia (12) primero aumenta de manera esencialmente continua hasta el espesor de pared máximo (d_{zmax}) y después disminuye esencialmente hasta un espesor de pared mínimo (d_{FZmin}) en la transición de la sección intermedia (12) a la brida (11).
- 10 10. Árbol de rotor (1; 10) según una de las reivindicaciones precedentes, en la cual la superficie interior (26) y la superficie exterior (25) están conformadas extendidas esencialmente paralelas, de manera que la sección intermedia (12) puede ser controlada respecto de defectos de material mediante procedimientos de ensayo por ultrasonido apropiados.
- 15 11. Árbol de rotor (1; 10) según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual un diámetro exterior (D_{zs}) efectivo de la superficie exterior (25) de la sección intermedia (12) se corresponde en un sector adyacente a la sección intermedia (12) del vástago (13) en lo esencial con el diámetro de apoyo (D_L) o sólo lo supera ligeramente.
- 20 12. Árbol de rotor (1; 10) según la reivindicación 11, en el cual sobre la superficie exterior (25) de la sección intermedia (12) y directamente en la superficie de apoyo (28) está dispuesto un tope (17) anular simétrico eficaz axialmente para un cojinete que en sentido radial (4) sobresale por encima del diámetro exterior (D_{zs}) eficaz de la superficie exterior (25).
- 25 13. Árbol de rotor (1; 10) según una de las reivindicaciones precedentes, en el cual una relación (V_{FA}) del diámetro de brida (D_F) se encuentra respecto del espaciado de apoyo (A) entre 4,5 y 2,5, preferentemente entre 4 y 3, y particularmente preferente entre 3,3 y aproximadamente 3,1.
14. Turbina eólica (6) con una torre (7), una góndola (8) montada giratoria sobre la misma y un rotor (9), estando previsto en la góndola (8) un generador accionable mediante el rotor (9), así como un árbol de rotor (1; 10) según una o más de las reivindicaciones precedentes, estando el rotor (9) conectado con el árbol de rotor (1; 10) y montado giratorio en la góndola (8).

Fig. 1

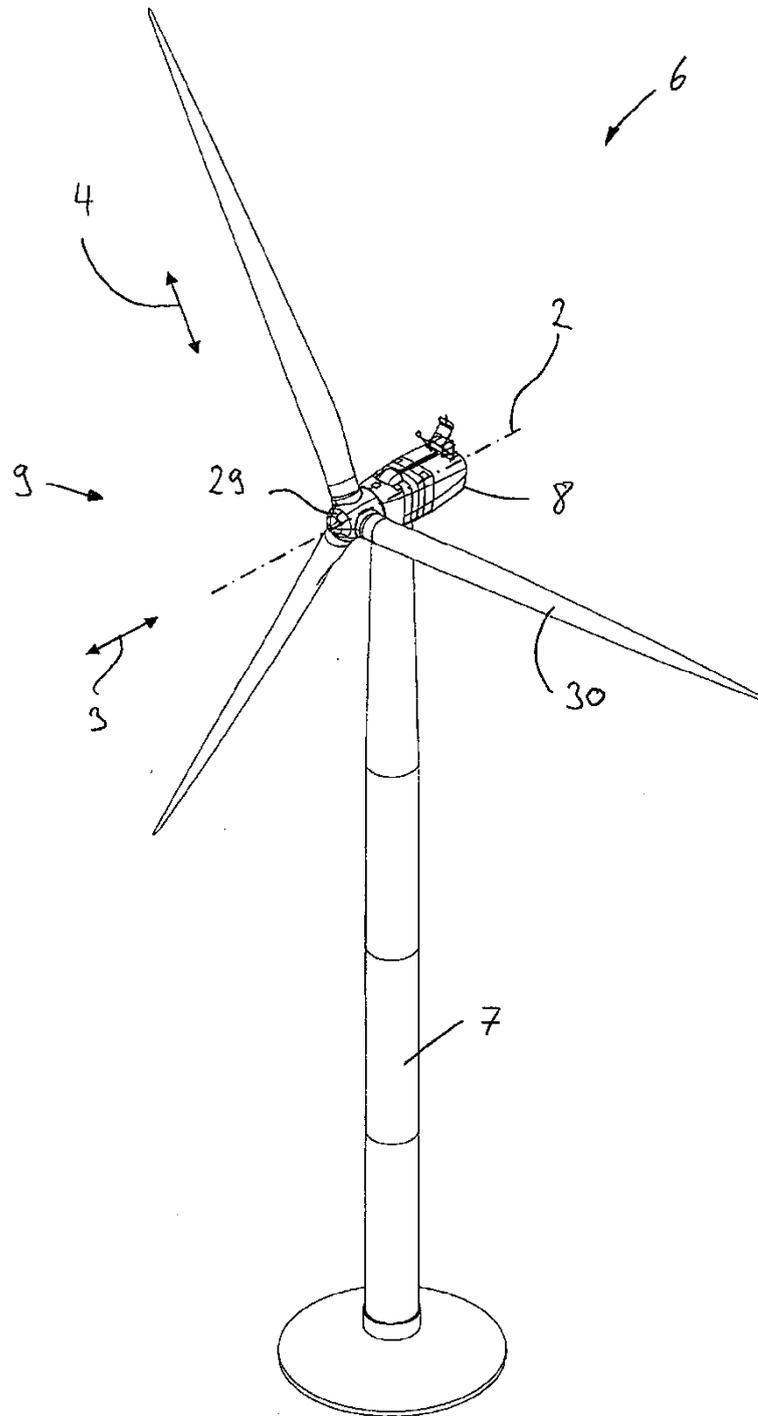


Fig. 3

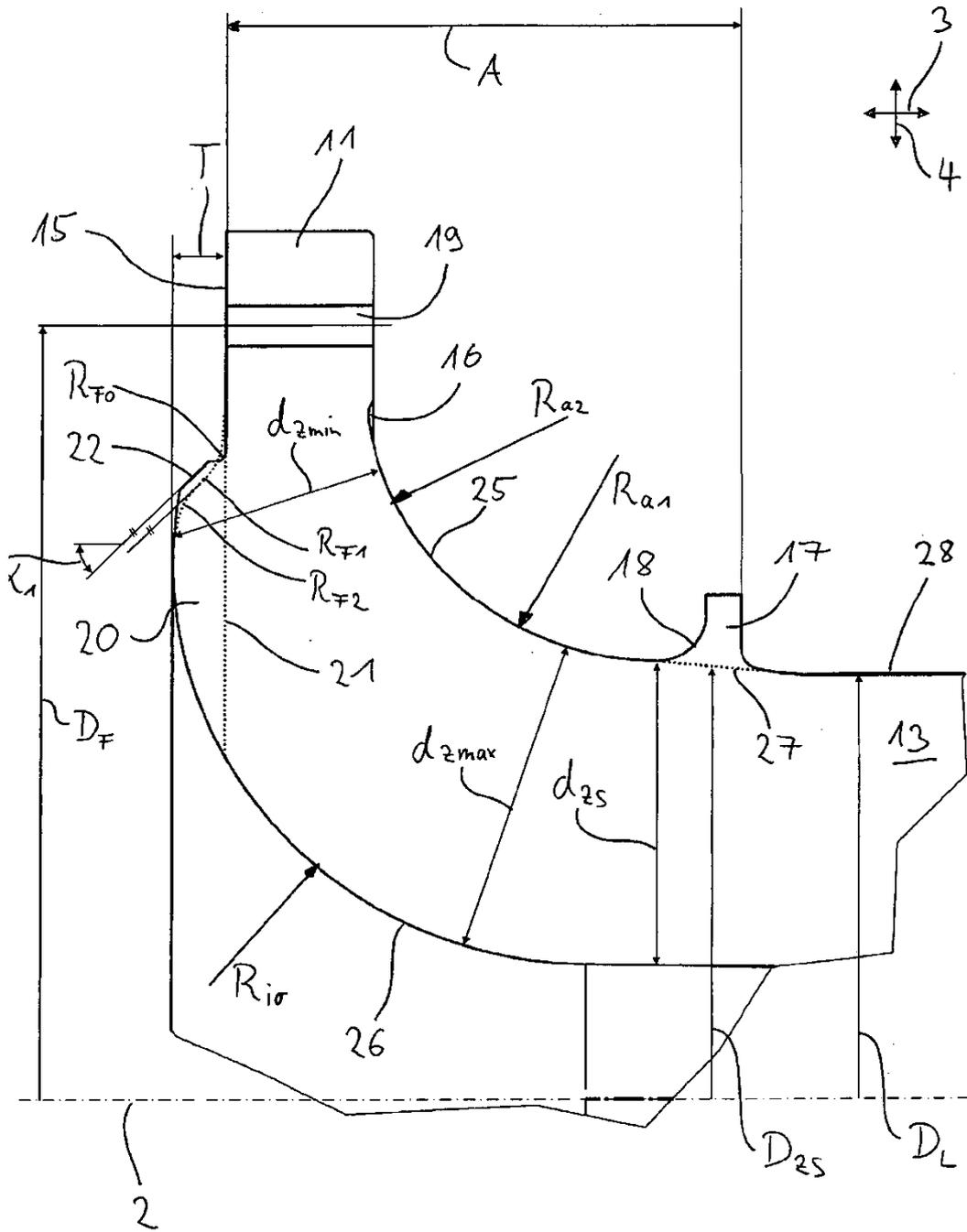


Fig. 4

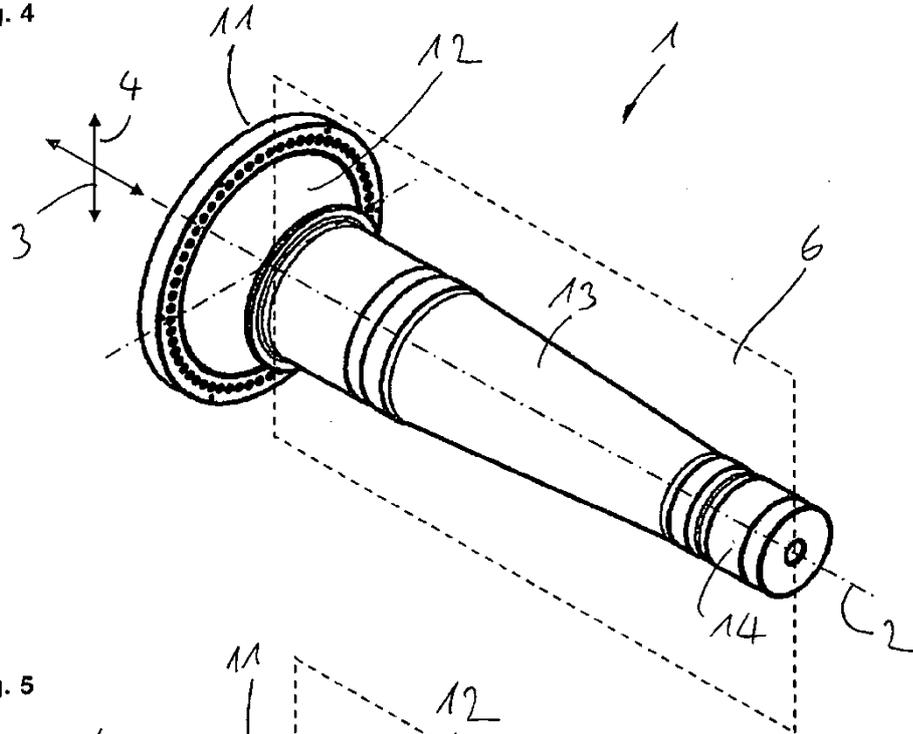


Fig. 5

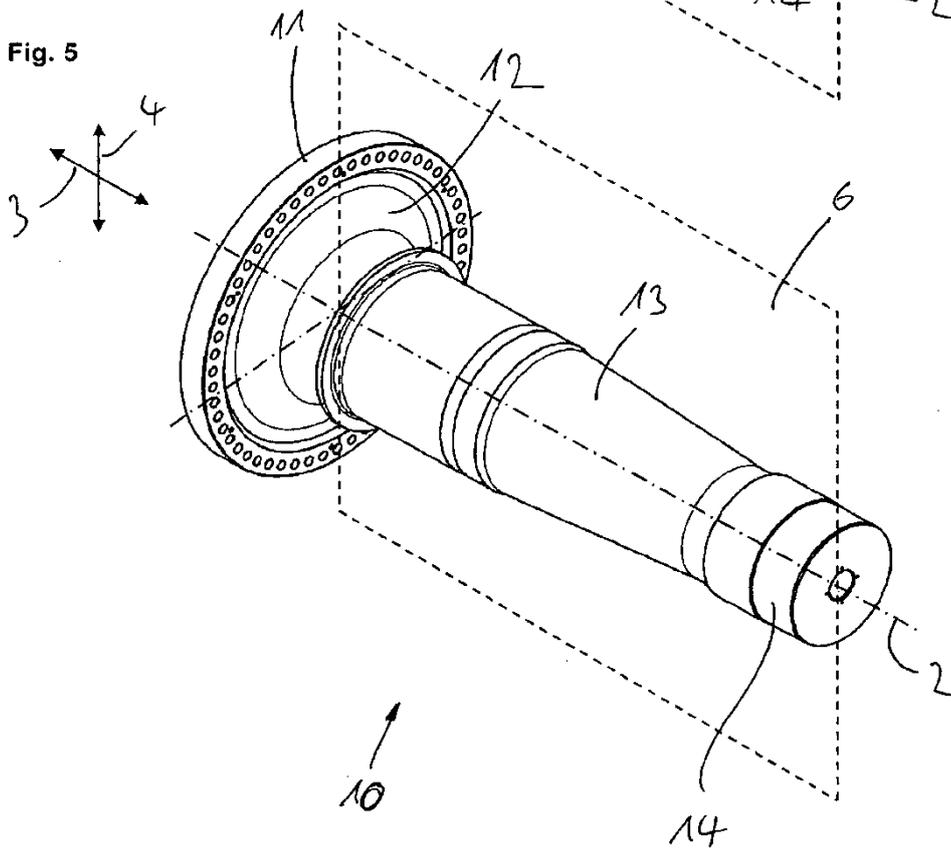


Fig. 6

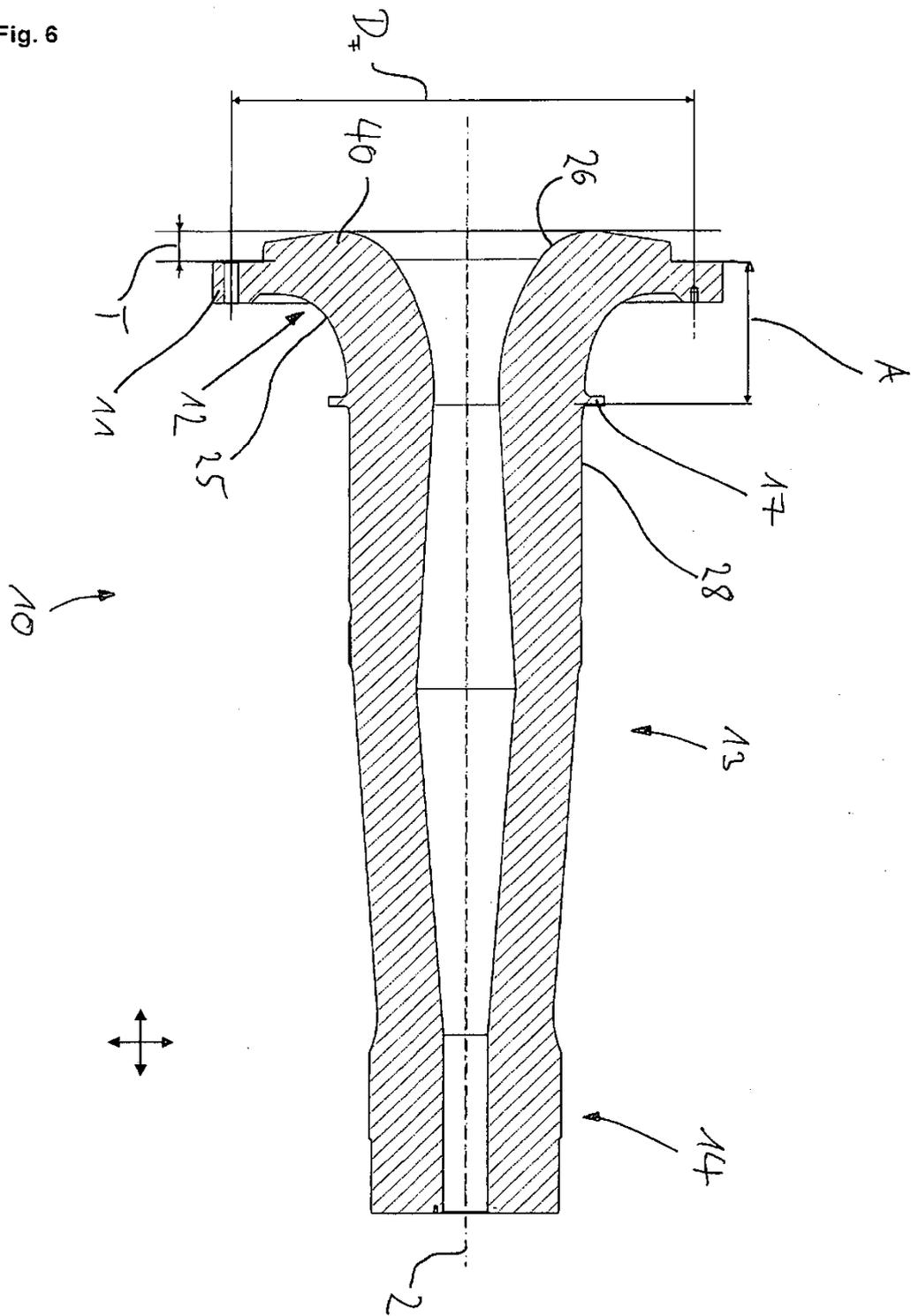


Fig. 7

