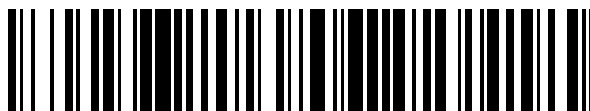


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 673 855**

51 Int. Cl.:

**F16C 33/58** (2006.01)

**F16C 33/62** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.05.2015** E 15168489 (1)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.03.2018** EP 2947339

54 Título: **Rodamiento de gran tamaño, especialmente un rodamiento principal para una turbina eólica, así como una turbina eólica con un rodamiento de gran tamaño de este tipo**

30 Prioridad:

**20.05.2014 DE 202014102358 U**

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

**26.06.2018**

73 Titular/es:

**EOLOTEC GMBH (100.0%)  
Fürther Strasse 176  
90429 Nürnberg, DE**

72 Inventor/es:

**PICK, MATHIAS y  
LOSERT, WOLFGANG**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 673 855 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**

Rodamiento de gran tamaño, especialmente un rodamiento principal para una turbina eólica, así como una turbina eólica con un rodamiento de gran tamaño de este tipo

5 El invento trata de un rodamiento principal para una turbina eólica con dos componentes, a saber, un rotor y un estator, montados uno al lado del otro a través de al menos un rodamiento de rodadura, presentando el rodamiento de rodadura una pluralidad de cuerpos rodantes. El invento trata además a una turbina eólica con dicho rodamiento principal.

10 Un rodamiento de gran tamaño conformado como una unidad de rodamiento principal para una turbina eólica se puede encontrar, por ejemplo, en el documento WO 2013/113487 A1 o en el documento WO 2013/152850 A1.

15 Las turbinas eólicas horizontales presentan generalmente una torre en cuyo extremo de la cabeza se encuentra una góndola giratoria, que conforma un elemento porta-máquina. En la góndola está montado giratoriamente en torno a un eje de rotación que se extiende horizontalmente, un buje de rotor que está unido a las palas del rotor. Por ejemplo, el documento EP 2 562 081 A describe una disposición de rodamiento especial para montar las palas del rotor en el buje del rotor.

20 Para el montaje del buje del rotor en el elemento porta-máquina está prevista la unidad de rodamiento principal. La unidad de rodamiento principal generalmente tiene un rotor y un estator. Con frecuencia, el rotor también se conoce como un eje y el estator como una carcasa. Las unidades de rodamiento principales descritas en los documentos de la técnica anterior citadas tienen cada una dos rodamientos de rodadura separados entre sí en la dirección del eje de rotación, a través de los cuales el rotor está montado en el estator. Sobre los dos rodamientos de rodadura, el rotor y el estator en este caso, se forma un circuito de precarga. Uno de los anillos de rodamiento de los rodamientos de rodadura en este caso se puede sujetar por medio de un anillo de precarga para generar la precarga y para la formación del circuito de precarga contra los otros componentes.

30 Aparte de las turbinas eólicas horizontales se conocen también las turbinas eólicas verticales, en las que el eje de rotación se extiende en la dirección vertical. Para tales turbinas eólicas verticales también se pueden utilizar unidades de rodamiento principal que están conformadas según los mismos principios conocidos por los documentos WO 2013/113487 A1 ó WO 2013/152850 A1, solo que con una orientación vertical.

35 Tales unidades de rodamiento principal tienen generalmente un diámetro de varios metros, por ejemplo, en el rango de 1 a 3.5 m en clases de potencia de 1 a 5 MW a una longitud también de varios metros. Dependiendo de la configuración, el estator o el rotor pueden formar el componente interno orientado al eje de rotación. Este está generalmente diseñado como un componente hueco y accesible.

40 Bajo un rodamiento de gran tamaño se entiende generalmente los rodamientos que están diseñados para altas cargas, por ejemplo, de varias toneladas y generalmente tienen un diámetro > 1 m y, en particular, > 2 m.

45 La unidad de rodamiento principal descrita en el estado de la técnica mencionado está diseñada como una unidad prefabricada, que puede suministrarse como tal in situ en la obra como un rodamiento principal precargado y luego solo tiene que conectarse al buje del rotor o al elemento porta-máquina.

50 El rápido desarrollo del rendimiento de las turbinas eólicas modernas ha dado lugar a numerosos avances tecnológicos en los últimos años. Esto afecta, en particular, al rodamiento principal de las turbinas eólicas. Los rodamientos convencionales de la clase de 1,5 MW todavía tenían un peso de 0,5 t y un diámetro exterior de <1 m. En el rango de potencia de 5MW se conocen ya conceptos de rodamientos con 7 a 13t y un diámetro exterior de hasta 3,2 m. Este salto tecnológico extremo conduce a numerosos desafíos tecnológicos y económicos.

55 En particular, con rodamientos de rodadura cada vez más grandes ha resultado ser problemático un ajuste seguro del rodamiento. Los rodamientos de rodadura usualmente se colocan o aseguran por medio de los llamados ajustes a presión, es decir, un respectivo anillo de un rodamiento del rodamiento de rodadura, de modo que un anillo interior y un anillo exterior se presionan en un receptáculo anular correspondiente en el rotor o en el estator.

60 Este es un emparejamiento de ajuste con sobredimensionado con lo que se produce una unión en arrastre de forma y fuerza. Ya que en el caso de grandes diámetros de rodamiento se reduce progresivamente la sección transversal del anillo del rodamiento se produce una relación muy desfavorable de diámetro / sección transversal del anillo, de modo que ya no se puede garantizar una fuerza suficiente (presión de junta) para un ajuste de rodamiento fijo. Un aumento adicional en el exceso de ajuste solo conduce a un ligero aumento en la presión de la junta, ya que el anillo de un rodamiento de paredes delgadas se expande más fácilmente, mientras que el rotor o estator más macizo se contrae solo levemente. Demasiada expansión del anillo de un rodamiento a su vez conduce a tensiones de tracción

elevadas o tensiones de compresión en el anillo de un rodamiento, lo que puede conducir a una influencia negativa en la geometría de la pista de rodadura por medio de una desviación de forma de anillo de un rodamiento. Además, de este modo también en el caso de muchos diseños de rodamientos se modifica la holgura del rodamiento, es decir, una holgura de rodamiento positiva que puede tener un efecto negativo directamente sobre la vida útil y la suavidad de marcha del rodamiento.

El ajuste a presión entre el anillo de un rodamiento y el rotor / estator es en consecuencia insuficiente, por lo tanto conlleva el riesgo de corrosión por fricción y el movimiento relativo del anillo, que conduce al malfuncionamiento del rodamiento y / o del rotor (eje) o del estator (carcasa). El mecanismo de daños usualmente comienza con pequeños movimientos relativos en el ajuste del rodamiento entre éste y el anillo de un rodamiento debido a las bajas fuerzas (presión de la junta), lo que lo hace que se produce una torsión deslizante de las superficies de montaje entre sí. Como resultado, las partículas de la capa de borde generalmente se desprenden del componente más blando, lo que da como resultado orificios y partículas de material en forma de escamas. En este caso de mecanismo de desgaste se habla de desgaste adhesivo. Este proceso se solapa y acelera por medio de una oxidación en la junta de ajuste. Debido a los movimientos relativos puede llegar agua, oxígeno y otros medios al área de contacto, que a su vez conduce a una reacción química, que en combinación con el movimiento del componente se llama tribo-oxidación.

Usualmente durante este recorrido de fallos, la parte más suave se fatiga en la cadena de desgaste, que por lo general es el eje o la carcasa. A menudo se produce la eliminación de material a gran escala primeramente debajo del rodamiento y, en última instancia, produciendo la rotura del eje directamente en el ajuste del rodamiento debido al efecto de muesca y a las altas fuerzas. Este problema se ve reforzado por la construcción liviana requerida en energía eólica. Debido a las masas limitadas de la cabeza de la torre, el transporte exigente y las costosas capacidades de la grúa, se intenta hacer que las estructuras mecánicas sean más livianas. Por lo tanto, el elemento porta-máquina, el eje y la carcasa ya no se consideran componentes estructurales altamente rígidos. Pero precisamente se requiere por parte de los fabricantes de rodamientos un entorno muy rígido en el diseño básico de cada rodamiento. Los componentes estructurales de las turbinas eólicas modernas se deforman bajo las altas cargas de viento de forma tan intensa que el ajuste del rodamiento está sujeto a deformaciones a gran escala. Estas deformaciones globales contribuyen adicionalmente a agravar el problema de la corrosión por fricción y al desgaste adhesivo.

También continúa siendo problemático en el creciente tamaño del rodamiento, las mayores tolerancias para las superficies de ajuste del rodamiento. Un ajuste para un anillo de un rodamiento de 2,5 m de diámetro tiene un campo de tolerancia muy alto. Combinado con el campo de tolerancia igualmente alto para el ajuste del rodamiento en el eje o en la carcasa, existe una gran fluctuación en el ajuste a presión. Si estas altas tolerancias coinciden desfavorablemente, solo una proporción muy pequeña de la presión de la junta permanece en el ajuste a presión. Por lo tanto, este ajuste a presión es particularmente susceptible al movimiento relativo, la corrosión por fricción y los desencadenantes de desgaste adhesivo. Esto también explica las diferentes tasas de falla por daños causados por la corrosión por desgaste y el desgaste en el ajuste a presión.

Especialmente para rodamientos principales, actualmente aún no existen soluciones técnicas adecuadas para este problema. Los recubrimientos plásticos especiales como el PTFE en el anillo de un rodamiento y / o en el ajuste del rodamiento en el eje o en la carcasa pueden reducir el problema de la reacción química entre los dos soportes metálicos. Sin embargo, el problema de la baja presión de la junta no se soluciona con tales recubrimientos. Recubrimientos duros como DLC (Diamond Like Carbon) o revestimiento de cromo duro para anillo de un rodamiento y / o eje o carcasa puede reducir el desgaste adhesivo, pero el problema de la reacción química permanece y por lo tanto de la corrosión del ajuste. Puesto que ambas alternativas reducen solo uno de los dos mecanismos de desgaste y además se asocian con costes muy altos, no se utilizan en los rodamientos principales.

Alternativamente, en los últimos años ya han sido utilizadas soluciones de inserción con anillos exteriores atornillados y más tarde también del anillo interior del rodamiento principal. El foco aquí no fue la asociación de ajuste sino la creación de un conjunto de rodamientos preestablecido. El atornillamiento de los anillos del rodamiento, sin embargo, como se sabe está asociado con numerosas desventajas. Entre ellas se encuentran las altas secciones transversales del anillo (peso y costes), una rigidez limitada del atornillamiento, así como el difícil ensamblaje de tales sistemas de rodamientos de rodadura.

Partiendo de esta premisa, el objeto del invento se basa en un rodamiento de gran tamaño, en particular de un rodamiento principal para una turbina eólica, en el que los problemas descritos en términos de corrosión por desgaste, desgaste adhesivo, movimiento relativo del anillo, al menos se reducen y preferentemente se impiden.

El objeto se logra de acuerdo con el invento por medio de un rodamiento principal para una turbina eólica con dos componentes montados entre sí, a saber un rotor (eje) y un estator (carcasa), a través de al menos un rodamiento de rodadura. El rodamiento de rodadura tiene, como es habitual, una pluralidad de cuerpos rodantes. Estos están

dispuestos circunferencialmente alrededor de un eje de rotación y cada uno forma un conjunto de cuerpos rodantes. Los cuerpos rodantes de al menos un rodamiento de rodadura se soportan ahora directamente y sin anillo de un rodamiento adicional en ambos componentes, concretamente en el rotor o en el estator, y ruedan durante el funcionamiento en la pista de rodadura integrada directamente en el rotor o estator. La pista de rodadura es, por lo tanto, una parte integral del rotor o estator. Por lo tanto, los anillos de un rodamiento requeridos previamente ahora están completamente integrados en los componentes estructurales del eje (rotor) o bien de la carcasa (estator). A este respecto, los anillos del rodamiento y la carcasa o el eje forman una unidad integral. La formación de un ajuste a presión ya no se requiere ni se proporciona. Por esta medida especial, por lo tanto, la causa de los problemas, tales como el movimiento relativo del anillo, la corrosión por fricción, se evita de manera efectiva.

Bajo un elemento integral del respectivo componente se entiende en este caso que las pistas de rodadura no son parte de un componente separado por ejemplo conectado únicamente a un ajuste a presión. Por el contrario, las pistas de rodadura junto con el rotor o el estator forman un componente común de una sola pieza. En particular, tampoco está conformada ninguna otra conexión material, como una unión por soldadura entre un cuerpo principal del rotor o bien del estator y otro componente principal anular y una pista de rodadura. La pista de rodadura es una parte de la superficie del respectivo componente estructural fundido o forjado (estator / rotor).

Además, el rotor y el estator están soportados por dos rodamientos de rodadura distanciados entre sí. En el caso de estos se trata preferentemente de rodamientos de rodillos cónicos en disposición en O. Con este diseño especial del rodamiento, como ya se ha descrito partiendo de su concepto básico en el documento WO 2013/113487 A1 o WO 2013/152850 A1, se contrarrestan constructivamente los factores negativos básicos, como el amplio diámetro del rodamiento y el ajuste del rodamiento desfavorable. Con tal diseño de rodamientos, de hecho, se pueden usar rodamientos relativamente pequeños y a pesar de ello fabricar un soporte muy rígido del rotor. De este modo, se pueden reducir ligeramente las generalmente desfavorables proporciones de sección transversal en el caso de rodamientos de gran tamaño. A través de la disposición específica y, en particular, de los diferentes modelos de fabricación de los juegos de cuerpos rodantes individuales, también se puede garantizar una distribución de carga óptima en el rodamiento principal, lo que a su vez mejora la cinemática del rodamiento y aumenta la vida útil.

Además, está conformado únicamente un anillo de un rodamiento separado en uno de los dos rodamientos, que es ajustable para producir una precarga del rodamiento. La precarga se aplica preferentemente por medio de un anillo de sujeción, que se sujeta, por ejemplo, por medio de tornillos contra el anillo de un rodamiento separado y, desplaza éste particularmente en la dirección axial.

En particular, la combinación descrita en este caso, a saber, la disposición de dos rodamientos separados de rodadura, que están diseñados especialmente como rodamientos de rodillos cónicos y preferentemente colocados en disposición en O en combinación con el único anillo de un rodamiento separado para la generación de la precarga, permite de una manera particularmente eficaz la integración de las pistas de rodadura adicionales necesarias junto al anillo de un rodamiento separado en el rotor o en el estator. Por lo tanto, en comparación con los rodamientos conocidos en el estado de la técnica, tres de los hasta ahora cuatro anillos de un rodamiento separados se prescinden por completo. El problema del ajuste a presión se elimina por completo.

De acuerdo con otra conformación, el anillo de sujeción y el anillo de un rodamiento están unidos entre sí, conformando una unidad constructiva común y conforman un anillo de precarga con una pista de rodadura integrada. Por lo tanto, ya no es necesario un anillo de sujeción independiente o un anillo de un rodamiento independiente. Convenientemente, el anillo de precarga se atornilla a uno de los dos componentes, rotor o estator, por medio de un atornillamiento que tiene una pluralidad de tornillos dispuestos alrededor del perímetro del anillo de precarga. A través de un par de apriete de estos tornillos se puede ajustar la precarga del rodamiento.

En una conformación preferente, al menos una pista de rodadura está conformada a través de un componente, a saber el rotor o el estator, procesado mecánicamente, en particular mediante (post-) procesado por arranque de virutas. La pista de rodadura se integra, por lo tanto, directamente en el material del estator/rotor.

Puesto que en el área de superficies de contacto entre los cuerpos rodantes y la pista de rodadura se producen fuerzas de gran magnitud, es ventajoso en consecuencia, si la pista de rodadura está diseñada para este tipo de fuerzas. Convenientemente, en una primera aproximación, el componente respectivo está diseñado como una pieza forjada. Por lo tanto, no es un componente de fundición, como era común en el caso de los componentes rotor y eje para el rodamiento principal de una turbina eólica.

De acuerdo con un segundo enfoque preferente que se persigue alternativamente o adicionalmente, el componente respectivo se endurece adicionalmente en la zona de la pista de rodadura, de modo que se forma una mayor dureza superficial que en áreas separadas de la pista de rodadura. Como resultado, la dureza de la superficie aumenta así mediante un tratamiento térmico específico en las pistas de rodadura. Tal endurecimiento selectivo en uno de dichos

componentes de grandes dimensiones es posible fácilmente por medio del endurecimiento selectivo tramo a tramo mediante un tratamiento de temperatura correspondiente.

5 Además, al menos un componente con la pista de rodadura integrada, preferentemente ambos componentes, están hechos de acero templado de alta resistencia o acero endurecido. Por lo general, los aceros templados se entienden como aquellos aceros que tienen una gran resistencia a la tracción y a la fatiga mediante templado, es decir, endurecimiento y revenido.

[0028]

10 Convenientemente, el componente respectivo presenta una resistencia a la tracción  $> 900 \text{ N / mm}^2$ .

Preferentemente se usa como acero templado un acero tipo 42CrMo4 ó 18CrNiNo7-6 como acero de aplicación. Dichos aceros templados son particularmente adecuados para un rodamiento de gran tamaño con respecto a las exigencias.

15 Los dos rodamientos de rodadura están distanciados axialmente entre sí lo más lejos posible. En particular, tienen un espaciado entre rodamientos que está en el rango de 0.3 a 4.5 veces el diámetro del rodamiento más grande. En una turbina eólica horizontal, en la cual el eje de rotación es horizontal, la distancia del rodamiento está en el rango aproximadamente entre 0.3 y 3.5 veces y en una disposición vertical en el rango entre 0.5 a 4.5 veces el diámetro del rodamiento más grande.

20 En una conformación conveniente, los dos rodamientos axialmente espaciados difieren en su diámetro. En principio, los dos rodamientos están diseñados en una conformación preferente para diferentes cargas y dimensionados de manera diferente. Esto se refleja además de en el diferente diámetro de los rodamientos, en particular también en el número de cuerpos rodantes y en su tamaño. En este caso, se entiende que un diámetro del rodamiento de rodadura respectivo significa un diámetro del círculo primitivo que está definido por el diámetro medio del respectivo conjunto de rodamientos rodantes.

25 Debido a este diseño diferente los dos conjuntos de rodamientos rodantes, los dos rodamientos de rodadura se optimizan con respecto a la carga que deben absorber éstos. Al mismo tiempo, esto conduce a una utilización óptima del material, ya que el rodamiento más pequeño no está sobredimensionado. Esto también tiene un efecto particularmente positivo con respecto a las medidas descritas aquí con la integración de las pistas de rodadura directamente en el componente.

30 En una conformación preferente, los cuerpos rodantes están orientados adicionalmente hacia un ángulo de presión con respecto al eje de rotación. Este está en una orientación horizontal del rodamiento de gran tamaño, por lo que en turbinas eólicas horizontales está en el rango de  $10^\circ$  a  $45^\circ$  y en turbinas eólicas verticales en el rango de  $30^\circ$  a  $90^\circ$ . A través de este ángulo de presión o de ataque se logra una fuerza adecuada.

35 El objeto según el invento se logra además, por medio de una turbina eólica con un rodamiento principal de este tipo. Las ventajas y las conformaciones preferentes citadas con respecto al rodamiento principal se deben transferir análogamente a la turbina eólica.

40 La solución descrita en este caso tiene un total de varias ventajas sobre la técnica anterior. Se elimina un montaje complejo de los anillos de un rodamiento con calentamiento de los anillos de un rodamiento, de la carcasa / del eje para conformar el ajuste a presión. Se eliminan por completo los esfuerzos de tracción o compresión o la desviación de la forma de la pista de rodadura debido al ensamblaje del anillo. El procesamiento, medición, transporte y almacenamiento de los anillos individuales también se elimina. La integración de los anillos de un rodamiento en una carcasa permite la mayor precisión de funcionamiento de las pistas de rodadura mutuamente. Durante el procesamiento mecánico para formar los anillos de un rodamiento, la carcasa más rígida o el eje permite una mayor eliminación de virutas, así como tolerancias de redondez y ondulación.

45 Los ejemplos de fabricación del invento se explicarán con mayor detalle a continuación con referencia a las figuras 1 a 5. En cada caso, las representaciones en forma de vistas seccionales muestran en la:

50 figura 1, una vista fragmentada de una unidad de rodamiento principal con rotor interior y estator fijo exterior, particularmente diseñada para turbinas eólicas de accionamiento indirecto,

55 figura 2, una vista fragmentada de una unidad de rodamiento principal con rotor interior y estator fijo exterior, particularmente diseñada para turbinas eólicas de accionamiento directo,

60 figura 3, una vista fragmentada de una unidad de rodamiento principal con estator interior (espiga) y un rotor exterior,

figura 4, una vista de una unidad de rodamiento principal para una turbina eólica de eje vertical con estator interior fijo (espiga) y un rotor exterior,

figura 5, una vista de una unidad de rodamiento principal para una turbina eólica de eje vertical con rotor interior y estator fijo exterior, así como  
 figura 6, una vista fragmentada de una unidad de rodamiento principal, en la que una pista de rodadura está integrada en un anillo de precarga.

5 En las figuras, los componentes que tienen la misma función están identificados con los mismos números de referencia. Los diferentes ejemplos de fabricación representados en las figuras también pueden combinarse entre sí en cualquier forma.

10 Las figuras 1 a 3 muestran vistas parciales en sección de un rodamiento de gran tamaño de una turbina eólica conformado como rodamiento principal. Las figuras muestran solo una mitad (superior) de la unidad de rodamiento principal. La unidad de rodamiento principal sirve para soportar un buje de rotor y está dispuesta en una torre de la turbina eólica, también denominada elemento porta-máquina. La estructura básica y la disposición de esta unidad de rodamiento principal representada por secciones con respecto al buje del rotor y al elemento porta-máquina  
 15 se desprende del documento WO 2013/113487 A1, allí por ejemplo a partir de las figuras 1 a 6 y del documento WO 2013/152850 A1, a partir de las figuras 1 y 2. A este respecto, su contenido se menciona en su totalidad y se incluye aquí en la presente descripción.

20 La figura 1 muestra como un primer ejemplo de fabricación una vista de un rodamiento principal de una turbina eólica, que se extiende a lo largo de un eje de rotación X. El rodamiento principal comprende un rotor giratorio 1 en funcionamiento (eje) y un estator fijo (carcasa) 2 que están montados de forma adyacente mediante dos rodamientos de rodadura 3. Cada uno de ellos incluye un conjunto de cuerpos rodantes 3a con una pluralidad de cuerpos rodantes anulares dispuestos circunferencialmente, que están conformados particularmente de forma troncocónica. Estos se emplean preferentemente en disposiciones en O.

25 Solo en uno de los dos rodamientos de rodadura 3 está dispuesto un anillo de un rodamiento separado conformado como anillo interior 6, que se puede sujetar mediante un anillo de sujeción 4 en la dirección axial. Como resultado, todo el rodamiento está precargado. En todos los demás puntos de contacto de los cuerpos rodantes, éstos se soportan directamente en el rotor 1 o en el estator 2 a través de una pista de rodadura interior 7 o una pista de rodadura exterior 5. Las dos pistas de rodadura 5, 7 están integradas directamente en la superficie del rotor 1 y del estator 2.

35 Los dos conjuntos de cuerpos rodantes 3a están fabricados preferentemente como un rodamiento de rodillos cónico con un ángulo de presión  $\alpha$  de 10-45°. Además, los conjuntos de cuerpos rodantes 3a son diferentes en tamaño, número y círculo primitivo para garantizar una capacidad óptima de recepción de carga, una utilización y una cinemática también óptimas. El conjunto de cuerpos rodantes 3a puede estar soportado adicionalmente por una jaula de una o múltiples partes. Esta jaula puede soportarse o (estar guiada) en el conjunto de cuerpos rodante 3a, el rotor 1, el estator 2 o el anillo del rodamiento 6. Ha resultado ser especialmente favorable disponer los conjuntos de cuerpos rodantes 3a (centro del cuerpo rodante) axialmente en una distancia de rodamiento D de al menos 0,3 a  
 40 3,5 de un círculo primitivo de un cuerpo rodante Tk (el mayor Tk de los dos conjuntos de cuerpos rodantes 3a). Por lo tanto, se garantiza una distribución de carga óptima de los dos conjuntos de cuerpos rodantes 3a. Los dos conjuntos de cuerpos rodantes 3a se emplean preferentemente sin juego uno contra el otro. Para este propósito, el anillo de sujeción 4 y el anillo interior 6 se colocan axialmente hasta que se establezca un juego de funcionamiento negativo (precarga) entre el respectivo conjunto de cuerpos rodantes 3a y las pistas de rodadura exteriores 5 integradas, las pistas de rodadura interiores integradas 7 y el anillo interior 6. A través de la precarga introducida de  
 45 este modo, los conjuntos de cuerpos rodantes 3a durante el funcionamiento están siempre bien guiados y por lo tanto son menos propensos a inclinarse, volcarse y deslizarse.

50 La formación de las pistas de rodadura exteriores 5 se lleva a cabo por integración completa en el estator 2. En este caso, el estator 2 está conformado de modo que los cuerpos rodantes pueden rodar controlados cinemáticamente. Lo mismo se aplica a la conformación de la pista de rodadura interior 7 respecto al eje del rotor 1. Esta está integrada en el eje según el invento. Por lo tanto, ambos componentes 1, 2 tienen áreas parciales en la parte de las pistas de rodadura 5, 7 que están orientadas bajo el ángulo de presión  $\alpha$ .

55 Por medio de este modelo de fabricación del invento se eliminan los anillos de rodamiento adicionales requeridos. Dado que el anillo interior 6 es axialmente desplazable, se elimina así cualquier unión a presión entre el rodamiento y el rotor 2. La eliminación del ajuste a presión tiene numerosas ventajas sobre la técnica anterior.

60 El rotor 1 y el estator 2 están diseñados particularmente como piezas forjadas. Las áreas de contacto de los cuerpos rodantes frente al rotor 1, al estator 2 y al anillo interior 6, es decir, particularmente las pistas de rodadura 5,7, están preferentemente templados por cementación o endurecidos en la superficie. Como material para el estator 2 y el rotor 1 se emplean aceros endurecidos, aceros de cementación, que se basan en el proceso de endurecimiento, en

particular aceros de alta resistencia, de alta pureza, resistentes al vuelco, en particular aceros del tipo 42CrMo4 o 18CrNiMo7-6.

5 En la conformación de la figura 1, el rotor 1 es fijado con un buje de rotor a una brida del buje 9. Una unidad de engranajes está unida al anillo de sujeción 4 o una brida de engranaje adicional en el rotor 1 (no se muestra aquí). La conexión a través del anillo de sujeción 4 o la brida del engranaje transmite esencialmente el par del rotor 1, que se utiliza para la producción de energía. La mayoría de los momentos y fuerzas de flexión pasan a través de los conjuntos de cuerpos rodantes 3a y de contactos de la pista de rodadura del rotor 1 al estator 2. El estator 2 está a su vez conectado al elemento-porta-máquina mediante una brida 8. Por lo tanto, los momentos y fuerzas de flexión  
10 pasan del estator 2 a la torre a través del elemento porta-máquina. Esta conformación es predominantemente utilizada en turbinas eólicas con unidad de engranajes.

15 La figura 2 muestra una conformación alternativa, utilizada predominantemente para turbinas eólicas de accionamiento directo. Esta conformación está formada por una brida adicional 10 en el rotor 1 y una brida 11 en el estator 2. Similar a la conformación anterior de la figura 1, el rotor 1 está conectado al buje a través de la brida 9 y el estator 2 a través de la brida 8, al elemento porta-máquina estacionario. La conexión a la unidad de engranajes a través del anillo de sujeción 4 se elimina por completo en este modelo de fabricación. El rotor del generador está conectado a la brida 10 del rotor 1 y un estator del generador está conectado a través de la brida 11 del estator 2 al elemento porta-máquina.

20 La figura 3 muestra un ejemplo de fabricación adicional. A diferencia de las figuras 1 y 2, las posiciones del rotor 1 y el estator 2 están invertidas, es decir, el rotor 1 está fuera de borda y el estator 2 está ubicado dentro. La estructura básica con los rodamientos de rodillos cónicos precargados en posición en O se conserva. El estator 2 está fijo aquí y, por lo tanto, se conecta a través de la brida de conexión 8 al elemento porta-máquina. Los conjuntos de cuerpos rodantes 3a a su vez conectan el estator fijo 2 con el rotor 1. El rotor 1 está conectado al buje del rotor a través de la brida de conexión 12. Los conjuntos de cuerpos rodantes 3a están ajustados nuevamente de manera preferente, libres de holgura y fijados entre sí a través del anillo de sujeción 4 y del anillo de rodamiento 6. Las dimensiones del conjunto de cuerpos rodantes a su vez varían de forma selectiva en tamaño, número y, círculo primitivo para garantizar la óptima utilización y distribución de la carga. A través de las pistas de rodadura exteriores 5 y las pistas de rodadura interiores 7 y el anillo de un rodamiento 6, tiene lugar la transmisión de fuerzas y momentos. En este caso, se transmiten las fuerzas y momentos del buje del rotor que está conectado a la brida 12 con el rotor 1, a través de los contactos 5, 6, 7 o bien de los conjuntos de cuerpos rodantes 3a, al estator estacionario 2. Desde el estator 2 se conducen estas fuerzas y momentos hacia el elemento porta-máquina a través de la brida de conexión 8. Cuando se usa un generador accionado directamente, el rotor del generador se conecta a la brida de conexión 13 y el estator del generador se conecta a la brida de conexión 14.

Las figuras 4 y 5 muestran como otros modelos de fabricación, un rodamiento principal para una turbina eólica de eje vertical. En comparación con las turbinas eólicas convencionales con un eje de rotación horizontal X, el eje de rotación X es perpendicular al suelo en ese caso. Las ventajas de tales turbinas eólicas son esencialmente las alturas de torre más bajas, el centro de gravedad bajo, el generador y la unidad de engranajes pueden colocarse en el suelo y no se requiere un sistema de acimut para el rastreo del viento. Estas ventajas ofrecen importantes utilidades, especialmente cuando se utilizan plataformas flotantes. Debido al bajo centro de gravedad y al ataque de las cargas de viento se aseguran una posición mucho más estable, que a su vez da la posibilidad de hacer que la plataforma flotante sea más pequeña. Se mantiene la estructura básica con los dos rodamientos de rodadura 3 dispuestos particularmente en disposición en O y conformados en particular como rodamientos de rodillos cónicos y que están distanciados en torno a la distancia de rodamiento D y precargados. La unidad de rodamiento principal se traduce a su vez preferentemente como una unidad de rodamiento prefabricada y precargada en la obra. La conformación de un rodamiento principal para este tipo de planta es el siguiente:

50 En el modelo de fabricación de la figura 4, el estator fijo 2 está dispuesto nuevamente en el interior y el rotor 1 está dispuesto en el exterior. El estator 2 está conectado directamente a la torre a través de la brida de conexión 8. Las fuerzas y los momentos se transmiten desde el rotor giratorio 1 al estator fijo 2 a través de los conjuntos de cuerpos rodantes 3a y de los contactos 5, 6, 7. Los conjuntos de cuerpos rodantes 3a se colocan preferentemente de nuevo sin holgura en disposición en O y se fijan axialmente mediante el anillo de sujeción 4 y el anillo interior 6. En el rotor 1 se conecta el rotor en al menos una brida de conexión 9. Una tapa de rotación 15 está conectada al rotor 1 y a su vez está conectada a otros elementos con unidad de engranajes o generador. La distancia de rodamiento D de los conjuntos de cuerpos rodantes debería ser en este caso preferentemente al menos 0.5 a 4.5 veces del círculo primitivo Tk del mayor de los dos conjuntos de cuerpos rodantes 3a.

60 La figura 5 muestra otro modelo de fabricación del rodamiento principal para una turbina eólica de eje vertical. En este caso, el rotor 1 está dispuesto en el interior. Este se soporta nuevamente en el estator fijo 2 a través de los conjuntos de cuerpos rodantes 3a y piezas de rodadura 5,7, así como a través del anillo interior 6. El estator 2 está conectado a la torre o a una construcción de cabeza de torre 16. Los conjuntos de cuerpos rodantes 3a están

5 dispuestos preferentemente de nuevo en una disposición en O precargada con la distancia D de  $0,5-4,5 \times T_k$  y se mantienen juntos axialmente mediante el anillo interior 6 y el anillo de sujeción 4. El rotor está fijado al anillo de sujeción 4 a través de una brida de conexión 17. Alternativamente, se puede proporcionar una brida de conexión 18 directamente sobre el rotor 1 para la fijación del rotor 1. La unidad de engranajes y / o el generador están conectados al rotor 1 a través de la brida 8.

10 Para el modelo de fabricación según las figuras 4 y 5 es válido que al más bajo de los dos conjuntos de cuerpos rodantes 3a se le aplique permanentemente las altas fuerzas axiales resultantes del peso del rotor. Por esta razón, un ángulo de presión  $\beta$  para este conjunto de cuerpos rodantes (inferior) 3a de  $30^\circ$  a  $90^\circ$  debe ser considerado en ese caso como particularmente ventajoso. Además, una conformación diferente de los conjuntos de cuerpos rodantes en cuanto a tamaño, número y círculo primitivo es también ventajosa en este modelo de fabricación.

15 Otro modelo de fabricación del invento se describe en la figura 6. En este caso, el anillo interior 6 previamente separado y el anillo de sujeción 4 separado, se unen de acuerdo con las figuras 1-5 conformando un anillo de precarga 20. Este anillo de precarga 20 está conectado de forma fija al rotor 1 a través de una brida de conexión 22 por medio de un atornillamiento 24. La precarga se introduce así a través del anillo de precarga 20 en el sistema. Con este diseño, también se puede evitar el último anillo de un rodamiento restante. En el anillo de precarga, por lo tanto, se integra una pista de rodadura 7 para el conjunto de rodamientos de rodadura 3a. Además, al eliminar el anillo de sujeción 4, se puede reducir la pluralidad de piezas. Por lo tanto, todo el rodamiento principal no requiere un anillo de rodamiento especial. Todas las pistas de rodadura 5.7 son componentes integrales de otros componentes. Los modelos de fabricación individuales ilustrados muestran la disposición del rodamiento para el conjunto del rodamiento, al menos las piezas necesarias para el rodamiento. Por lo tanto, preferentemente no se conforma ningún otro rodamiento junto a los dos rodamientos de rodadura 3. En todos los casos, el componente interior está conformado como un componente hueco (transitable), es decir, según el modelo de fabricación del rotor 1 o del estator 2.

20 Alternativamente, está dispuesto un conjunto de cuerpos rodantes adicional en forma de rodillos cilíndricos (no mostrados). Para este propósito, los dos conjuntos de cuerpos rodantes 3a se disponen con los rodillos cónicos en una disposición en O con una distancia menor que un cuarto del diámetro del círculo primitivo TK de los conjuntos de cuerpos rodantes 3a, es decir, casi como un par adyacentes entre sí. El conjunto de cuerpos rodantes cilíndrico se dispone en paralelo al eje de rotación X con una distancia de rodamiento frente a los conjuntos de cuerpos rodantes 3a con relación al centro axial de los dos juegos de conjuntos de cuerpos rodantes 3. Esta separación de rodamiento corresponde al menos al círculo primitivo Tk de los conjuntos de cuerpos rodantes cónicos 3a. Esta conformación con los rodillos cilíndricos adicionales puede usarse en todas las variantes mostradas en las figuras 1 a 5.

Lista de referencias

- 40 1 rotor  
2 estator  
3 rodamiento de rodadura  
3a conjunto de cuerpos rodantes  
4 anillo de sujeción  
5 pista de rodadura  
45 6 anillo interior  
7 pista de rodadura  
8 brida de conexión del elemento porta-máquina  
9, 12 brida de conexión del buje  
10, 13 brida de conexión del rotor-generador  
50 11, 14 brida de conexión de estator-generador  
15 tapa giratoria  
16 torre  
17 brida de conexión del rotor  
18 brida de conexión adicional del rotor  
55 20 anillo de precarga  
22 brida de conexión  
24 atornillamiento  
Tk diámetro medio del círculo primitivo de un conjunto de cuerpos rodantes  
60 X eje de rotación  
 $\alpha$  ángulo de presión  
 $\beta$  ángulo de presión



## REIVINDICACIONES

- 5 1. Rodamiento principal para una turbina eólica, con dos componentes (1,2) montados el uno junto al otro al menos a través de un rodamiento de rodadura (3), a saber, un rotor (1) y un estator (2), presentando al menos un rodamiento de rodadura (3), un conjunto de cuerpos rodantes (3a) que tiene una pluralidad de cuerpos rodantes, **caracterizado** porque al menos un conjunto de cuerpos rodantes (3a) se apoya, en ambos componentes (1, 2), directamente y sin un anillo de rodamiento separado, contra una pista de rodadura (5, 6) que es una parte integral del componente respectivo (1, 2), y porque el rotor (1) y el estator (2) están soportados por dos rodamientos de rodadura mutuamente espaciados (3), conformándose solo un anillo de rodamiento separado (6) o un anillo precargado (20) con una pista de rodadura integrada en uno de los dos rodamientos de rodadura (3), que es ajustable para generar una precarga del rodamiento.
- 10
- 15 2. Rodamiento principal según la reivindicación 1, caracterizado porque en el caso de los dos conjuntos de cuerpos rodantes (3a) se trata en particular de conjuntos de rodamientos de rodillos cónicos con disposición en O.
3. Rodamiento principal según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque el anillo precargado (20) está conectado a través de un atornillamiento (22) con uno de los componentes (1, 2) y a través del atornillamiento se ajusta la precarga del rodamiento.
- 20 4. Rodamiento principal según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque al menos una pista de rodadura (5,7) está conformada mediante procesamiento mecánico del componente (1, 2), especialmente por mecanizado con arranque de viruta.
- 25 5. Rodamiento principal según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque al menos uno de los componentes (1, 2), preferentemente ambos componentes (1, 2) están formados como piezas forjadas.
- 30 6. Rodamiento principal según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el componente respectivo (1, 2) en la zona de la pista de rodadura (5,7) está endurecido, por lo que allí presenta una mayor dureza superficial que en las áreas distanciadas de la pista de rodadura (5,7).
7. Rodamiento principal según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque al menos un componente (1, 2) y preferentemente ambos componentes (1,2) están compuestos de un acero templado de alta resistencia, en particular de un acero templado del tipo 42CrMo4 ó 18CrNiMo7-6.
- 35 8. Rodamiento principal según la reivindicación 7, caracterizado porque al menos un componente (1, 2) presenta una resistencia a la tracción superior a 900 N / mm<sup>2</sup>.
9. Rodamiento principal según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los dos rodamientos de rodadura (3) están distanciados entre sí axialmente por medio de una distancia de apoyo (D), que se encuentra en el rango de 0,3 a 4,5 veces el diámetro (Tk) del rodamiento de rodadura más grande.
- 40 10. Rodamiento principal según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los dos rodamientos de rodadura (3) están diseñados para diferentes cargas y están dimensionados de forma diferente.
- 45 11. Rodamiento principal de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los dos rodamientos de rodadura (3) presentan opcionalmente o en combinación un diámetro diferente, un número diferente de cuerpos rodantes y/o diferentes tamaños de cuerpos rodantes.
- 50 12. Rodamiento principal según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los cuerpos de rodadura del conjunto de cuerpos rodantes (3a) están orientados bajo un ángulo de presión ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) con respecto al eje de rotación, estando dicho ángulo en el intervalo de 10° a 45° para la alineación horizontal del rodamiento de gran tamaño y en el intervalo de 30° a 90° para una alineación vertical del rodamiento de gran tamaño.
- 55 13. Turbina eólica con un rodamiento principal según una de las reivindicaciones precedentes.

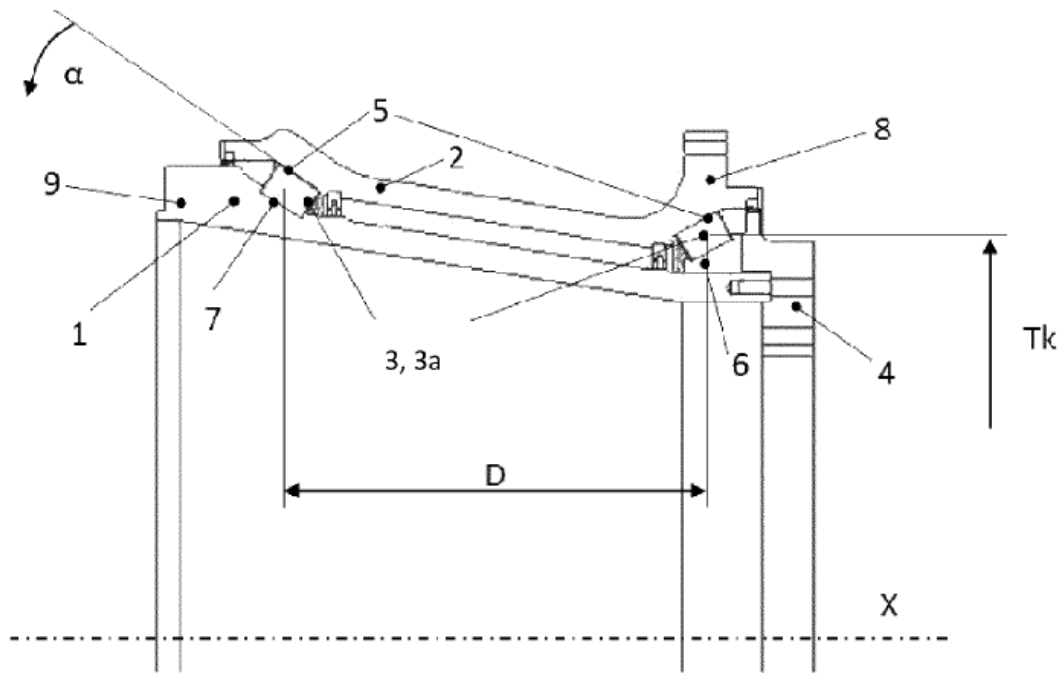


FIG 1

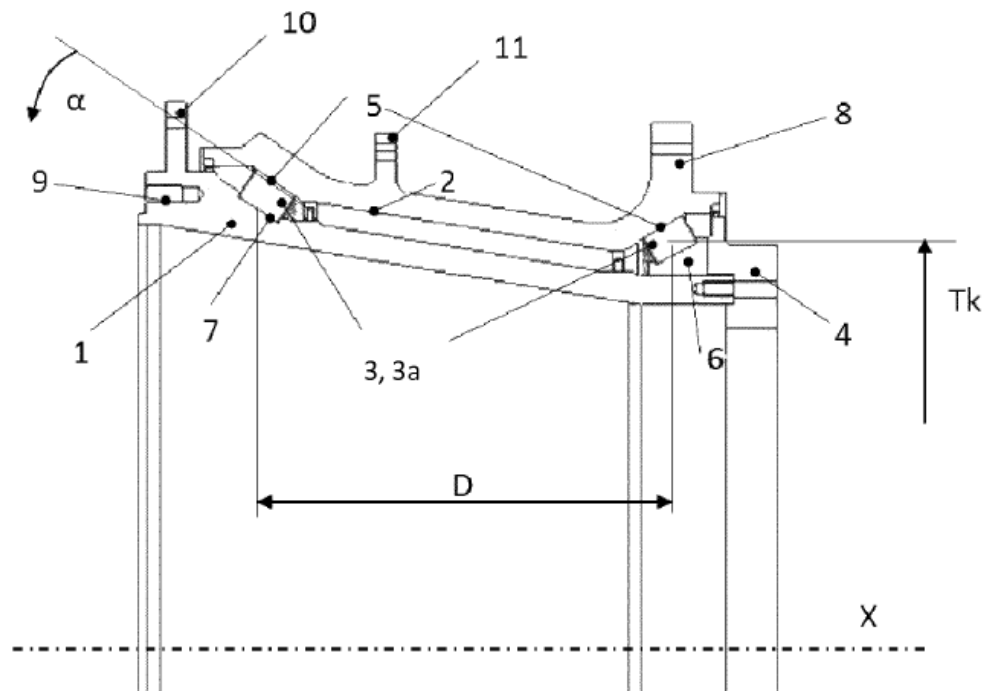


FIG 2

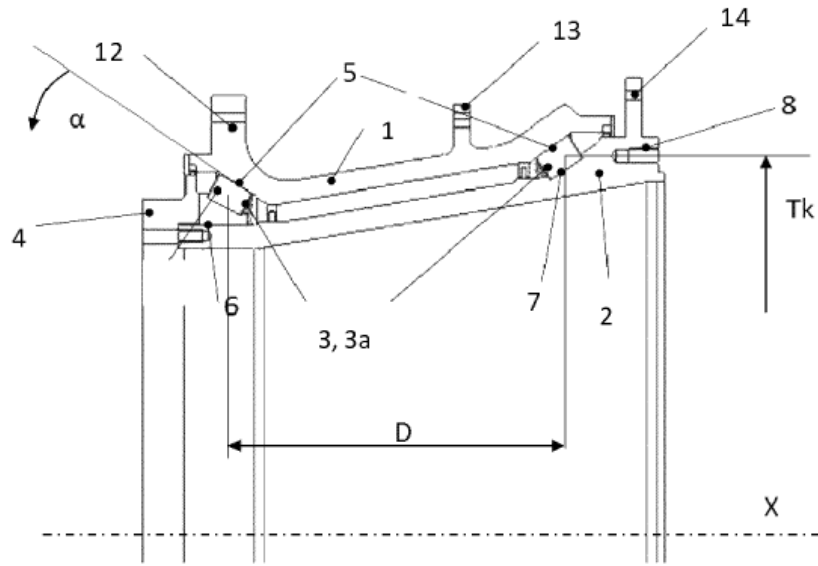


FIG 3

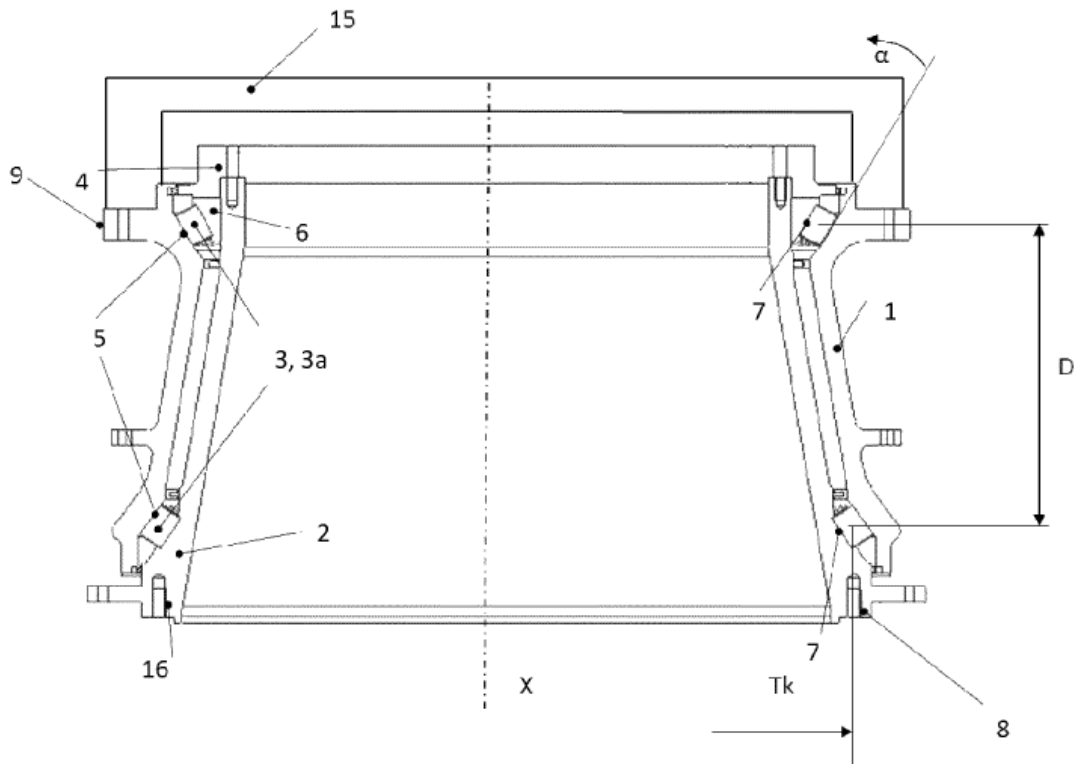


FIG 4

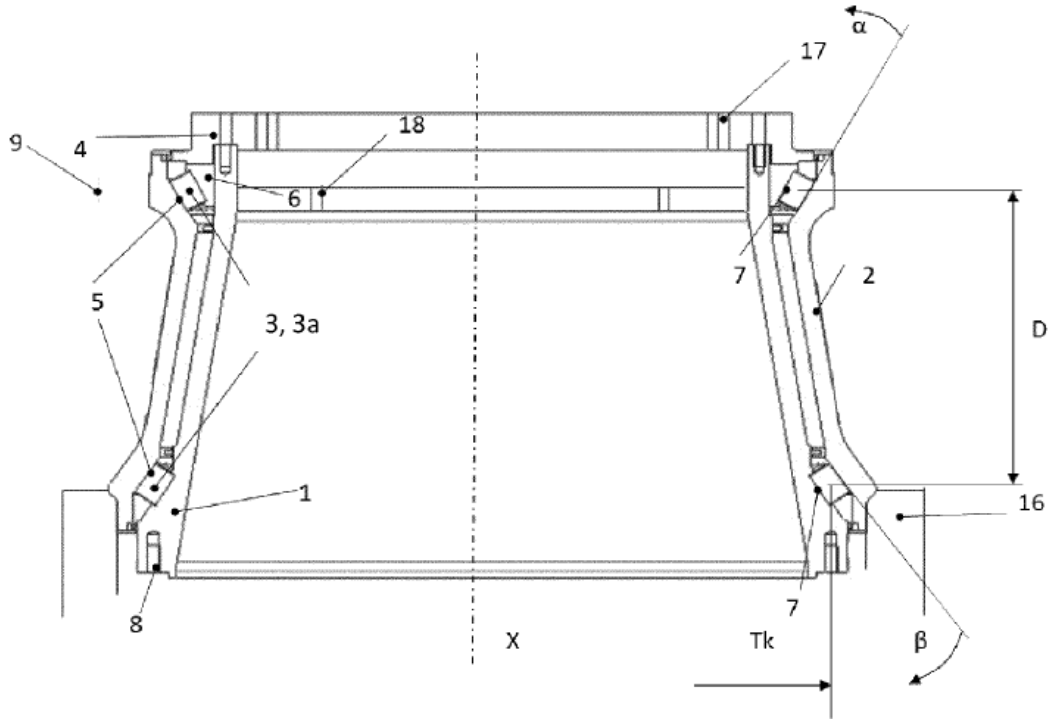


FIG 5

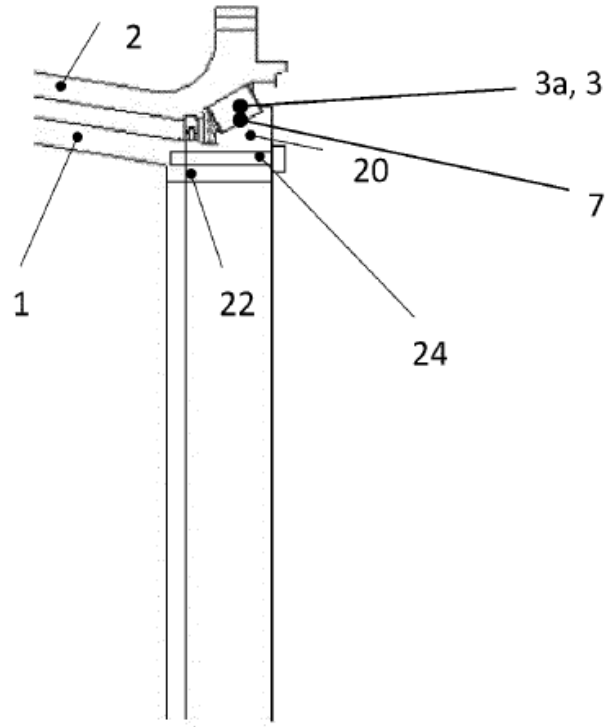


FIG 6