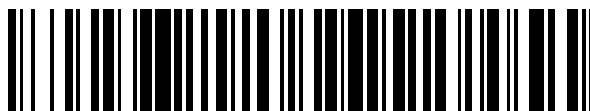


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 456 440**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/00** (2006.01)

**F03D 7/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.02.2007** **E 07702502 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2014** **EP 1989439**

54 Título: **Un rotor de turbina eólica y un procedimiento para controlar al menos una pala de un rotor de turbina eólica**

30 Prioridad:

**28.02.2006 DK 200600291**

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

**22.04.2014**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**

**Hedeager 44**

**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**BECH, ANTON**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 456 440 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

Un rotor de turbina eólica y un procedimiento para controlar al menos una pala de un rotor de turbina eólica

### Campo de la invención

5 La invención se refiere a un rotor de turbina eólica de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1, y a un procedimiento para controlar al menos una pala de un rotor de turbina eólica, de acuerdo con la reivindicación 13.

### Antecedentes de la invención

10 Una turbina eólica conocida en la técnica comprende una torre de turbina eólica troncocónica y una góndola de turbina eólica situada en la parte superior de la torre. Un rotor de turbina eólica con un número de palas de turbina eólica está conectado a la góndola mediante un árbol de baja velocidad, que se extiende hacia fuera de la parte delantera de la góndola, como se ilustra en la fig. 1.

El cabeceo de las palas de la turbina eólica se lleva a cabo comúnmente con un sistema hidráulico basado en una bomba de aceite alimentada eléctricamente, una válvula proporcional y un cilindro hidráulico que actúa sobre la pala. Un modo mucho más directo es permitir que un motor eléctrico actúe directamente sobre la pala. Se han realizado sistemas de cabeceo con activación electromagnética. Un modo conocido es hacer que la pala gire con un motorreductor, que gira la pala mediante un engranaje abierto. Otro modo conocido es disponer de un activador lineal (husillo y motor) para sustituir la función del cilindro hidráulico. Ambas soluciones tienen la desventaja inherente, que es el movimiento de contactos móviles en engranajes o en dientes. Esto significa un riesgo de desgaste, que puede limitar la vida de los elementos.

20 Un motor de cabeceo sin contacto podría ser ventajoso. Como tal puede ser imaginado. Pensemos en un motor eléctrico, en el que la carcasa está embridada al buje y la pala está montada en el rotor. Si el motor es predominantemente en forma de disco y unido con un cojinete de pala, digamos que el motor tiene casi el mismo diámetro que el cojinete de pala, se realiza una unidad de balanceo motorizada.

25 Un motor con tal diseño tendrá un diámetro grande y no tendrá un centro natural. El motor se asemejará a una corona giratoria, en la que un anillo es el rotor y el otro es el estátor. Un ejemplo de esto se divulga en la solicitud de patente internacional WO 2005/019642 A1, en la que el rotor de un motor de accionamiento directo está unido más o menos directamente a una pala de turbina eólica y el estátor está conectado al buje.

En este diseño, el motor de accionamiento directo tiene que gestionar todo el par de giro de la pala. Esto requiere de un motor con un par muy alto y una velocidad muy baja, lo que da como resultado un motor muy grande y costoso.

30 El documento WO 2005/019642 A1 describe además que el motor de accionamiento directo podría actuar sobre la pala a través de una reductora. Sin embargo esta solución tiene las implicaciones de que para reducir el par la reductora (sobre la cual actúa el piñón) tiene que ser lo más grande posible, lo que da como resultado un espacio limitado para un motor de accionamiento directo concéntrico con el piñón.

35 Digamos que la reductora es un dentado del anillo interno del cojinete de la pala y casi coplanario con el interior de la pala y el buje. Entonces el motor no puede ser mucho más grande que el piñón. En tal caso el uso de un motor directo no tiene sentido. Disminuir el diámetro de la reductora amplía el espacio para un motor directo más grande, pero reduce la razón de desmultiplicación; así pues, el motor directo debe tener una capacidad de par mayor. La solución con un piñón y una reductora contradice su afirmación acerca del beneficio del motor directo.

40 El uso de un piñón requiere asimismo cojinetes separados tanto para el piñón como para el motor directo. Mas desventajoso es el problema de tener un gran piñón engranado con la reductora. El diente, que está engranado en el ángulo de punta dominante será cargado frecuentemente, lo que provocará desgaste y fatiga.

Por lo tanto, un objeto de la invención es proporcionar una técnica ventajosa para controlar la pala de un rotor de turbina eólica, que no incluya las desventajas anteriormente mencionadas.

### La invención

45 La invención proporciona un rotor de turbina eólica que comprende al menos una pala y al menos un mecanismo de cabeceo que comprende un motor en forma de anillo para controlar la pala. El rotor de la turbina eólica se caracteriza porque el motor en forma de anillo controla la pala mediante medios de engranajes de tipo planetario.

El uso de un motor en forma de anillo es ventajoso, ya que un motor en forma de anillo tiene un centro libre, esto es, el motor está formado como un anillo anular que proporciona acceso libre a través de su centro al interior de la pala.

50 Además, es ventajoso engranar el par del motor, ya que así es posible reducir el par del motor necesario para controlar la pala, y utilizar un engranaje planetario para este propósito es ventajoso ya que los engranajes planetarios son el modo de realización más compacto de una caja de engranajes, y en aplicaciones tales como mecanismos de cabeceo para palas de turbina eólica, en los que un tamaño y peso mínimos son importantes, el uso

de engranajes planetarios es muy ventajoso.

Todavía más, la combinación de un motor en forma de anillo y un engranaje planetario para controlar la pala es ventajosa, ya que tal combinación es muy adecuada para el control activo de la pala con un pequeño coste de mantenimiento. Las piezas de desgaste podrían reducirse básicamente a pastillas de freno, balancín de freno y baterías de respaldo. Todos los elementos a sustituir son de tamaños que pueden ser cambiados sin grandes costes de manipulación de los mismos.

5

En un aspecto de la invención, dicho motor en forma de anillo controla dicho ángulo de cabeceo de las palas en relación a un buje de dicho rotor.

Así pues, se consigue un modo de realización ventajoso de la invención.

10

En un aspecto de la invención, una corona interior de dichos medios de engranajes está montada de modo rígido directa o indirectamente en un buje de dicho rotor.

Conectar la corona interior del engranaje planetario rígidamente al buje es ventajoso, ya que las dos partes pueden incrementar así mutuamente su rigidez.

15

En un aspecto de la invención, dichos medios de engranajes comprenden una pluralidad de ruedas dentadas satélites.

Cuanto más engranajes satélites comprenda el engranaje planetario, más homogéneamente se distribuirá a la pala el par del motor en forma de anillo. Por ejemplo, si todo el par se transfiriera mediante un único engranaje (como en sistemas tradicionales de cabeceo de motorreductor y piñón) todo el par se transferiría en principio a través de un único punto. Esto requeriría engranajes con un módulo muy grande y todo el sistema (pala, buje, engranajes, etc.) tendría que ser muy rígido para no sufrir distorsiones, deformaciones o daños al transferir esta gran carga sustancialmente a través de un único punto, lo que de nuevo conduciría a un aumento de peso desventajoso del buje y a un aumento significativo de los costes de fabricación.

20

Por lo tanto, hacer que el engranaje planetario comprenda una pluralidad de engranajes satélites es ventajoso, ya que así se transfiere el par más homogénea y suavemente a la pala.

25

Además, mediante el uso de una pluralidad de engranajes satélites todo el juego entre los satélites y la corona interior y la rueda solar se reduce, lo que reduce la posibilidad de holguras en el engranaje, ya que las imprecisiones se cancelarán entre sí. Y cuando se utiliza una pluralidad de engranajes satélites, el par que el satélite individual tiene que transferir se reduce, lo que significa que el módulo de satélites puede ser reducido. Cuanto menor sea el módulo, más refinada y precisamente se fabrican las piezas de engranaje, y este hecho contribuirá asimismo a reducir el juego y a reducir o eliminar así la holgura a través del engranaje.

30

En un aspecto de la invención, dicha pluralidad de ruedas dentadas satélites están directa o indirectamente montadas en dicha al menos una pala.

Hacer que la pala actúe directa o indirectamente como un portador de satélites en el engranaje planetario es ventajoso, ya que se consigue así un diseño sencillo y ventajoso del engranaje planetario.

35

En un aspecto de la invención, dicha pluralidad de ruedas dentadas satélites está montada de modo flexible.

Si el engranaje planetario comprende más de tres engranajes satélites, el diseño se convierte en estáticamente indeterminado, y si el engranaje planetario comprende, por ejemplo, doce engranajes satélites se hace casi imposible asegurar que todos los satélites se engranan igualmente tanto con la rueda solar como con la corona interior en todo momento.

40

Las piezas del engranaje planetario y las piezas a las cuales se unen tendrían que ser extremadamente rígidas y tendrían que ser fabricadas con un nivel muy alto de precisión para asegurar que, por ejemplo, todos los doce engranajes satélites se engranan perfectamente tanto con la rueda solar como con la corona interior en todo momento. Tal sistema sería a la vez caro y pesado.

45

Al montar los árboles del engranaje satélite por ejemplo por medio de cojinetes flexibles, estos cojinetes podrían compensar cualquier imprecisión de alineamiento o ángulo heredada o cualquier distorsión de la pieza durante la transferencia de grandes pares. Esto reducirá severamente tanto el peso como los costes de fabricación de las piezas del engranaje y de las piezas del rotor relacionadas.

Además, una suspensión flexible de los satélites, por ejemplo montando los árboles del engranaje satélite en cojinetes flexibles, reducirá la transferencia de vibraciones del engranaje a otras piezas del rotor, reduciendo así la emisión de ruido por la turbina eólica.

50

En un aspecto de la invención, al menos una de la pluralidad de ruedas dentadas satélites comprende al menos dos etapas de engranajes diferentes para alterar la razón de desmultiplicación de dichos medios de engranajes de tipo

planetario.

Un engranaje planetario con una gran rueda solar y un gran diámetro de la corona interior sólo tiene una razón de desmultiplicación justo por encima de 1:2. Para mejorar la razón de desmultiplicación y mantener aun así el beneficio del engranaje planetario, se pueden utilizar ventajosamente engranajes satélites con al menos dos etapas de engranajes para diferentes diámetros de engranajes. La etapa de engranajes satélites con el mayor diámetro puede engranarse, por ejemplo, con la rueda solar y la etapa de engranajes satélites con el menor diámetro puede engranarse, por ejemplo, con la corona interior. Así pues, la razón de desmultiplicación del engranaje planetario puede ser alterada y aumentada la hasta, por ejemplo, 1:4 o 1:5. Esto es ventajoso ya que el par del motor necesario para controlar la pala puede ser reducido consiguientemente, reduciendo así el tamaño, peso y coste del motor en forma de anillo.

En un aspecto de la invención, una pieza de rotor de dicho motor en forma de anillo comprende una rueda solar de dichos medios de engranajes.

Así pues, se consigue un modo de realización ventajoso de la invención.

En un aspecto de la invención, dicha rueda solar de dichos medios de engranajes está formada integralmente en dicha pieza de rotor de dicho motor en forma de anillo.

Motores en forma de anillo para este propósito tendrán que fabricarse más probablemente específicamente para la tarea asignada. Así pues, es ventajoso dotar a la pieza de rotor del motor en forma de anillo con un reborde dentado, ya que el peso, tiempo de montaje y tiempo de fabricación pueden ser reducidos.

En un aspecto de la invención, dicho motor en forma de anillo comprende al menos un cojinete del motor que fija sustancialmente el hueco entre una pieza de rotor y una pieza de estátor de dicho motor en forma de anillo.

Las fuerzas entre la pieza de rotor y la pieza de estátor del motor en forma de anillo son grandes y el hueco entre las piezas es pequeño (típicamente, de 0,5 mm). Si la pieza de rotor no está gobernada de modo preciso, el rotor puede chocar fácilmente con la pieza de estátor. Cuanto más grande sea el diámetro, es más probable que esto ocurra. El buje se distorsiona asimismo bajo cargas hasta una magnitud en la que no es razonable tener una pieza de rotor rígida extendiéndose a lo largo del diámetro del buje. Por lo tanto es ventajoso hacer que el motor en forma de anillo comprenda al menos un cojinete del motor para asegurar el hueco entre el rotor y el estátor.

En un aspecto de la invención, dichos medios de engranajes de tipo planetario reducen la velocidad de giro de dicha pala en relación con una pieza de rotor de dicho motor en forma de anillo.

Al reducir la velocidad de cabeceo de las palas, se hace más fácil de controlar la pala, y al hacer que el engranaje reduzca la velocidad de giro esto aumenta asimismo el par consiguientemente, amplificando así esta ventaja.

Además, la invención se refiere a un procedimiento para controlar al menos una pala de un rotor de una turbina eólica, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

- establecer un par por medio de un motor en forma de anillo,
- aumentar dicho par por medio de medios de engranajes de tipo planetario,
- hacer que dicho aumento de par controle dicha pala.

Mediante el aumento de par proporcionado por el motor a través de un engranaje planetario es posible reducir el tamaño, peso y coste del motor en forma de anillo.

Además, un engranaje planetario es un tipo de engranaje muy compacto, ligero y eficiente, cuyo uso es ventajoso en sistemas en los cuales estos criterios son de gran importancia, tales como en mecanismos de cabeceo para palas de turbina eólica.

En un aspecto de la invención, dicho motor en forma de anillo controla dicho ángulo de cabeceo de la pala con relación a un buje de dicho rotor.

### **Breve descripción de los dibujos**

La invención se describirá en lo que sigue con referencia a las figuras, en las cuales

la fig. 1 ilustra una gran turbina eólica moderna conocida en la técnica, vista desde el frente,

la fig. 2 ilustra una sección transversal de una pala de turbina eólica conectada a un buje mediante un modo de realización de un cojinete de cabeceo conocido en la técnica, visto desde el lado,

la fig. 3 ilustra una sección transversal de un motor en forma de anillo que controla el cabeceo de una pala mediante un engranaje planetario, visto desde el lado,

la fig. 4 ilustra una sección transversal de un motor en forma de anillo que controla el cabeceo de una pala mediante un engranaje planetario, visto desde arriba,

la fig. 5 ilustra un engranaje planetario que comprende satélites de dos etapas, visto desde el lado,

5 la fig. 6 ilustra un cojinete de cabeceo de tres anillos, un motor en forma de anillo y un engranaje planetario, vistos desde el lado,

la fig. 7 ilustra un cojinete de cabeceo de tres anillos, un motor en forma de anillo y un engranaje planetario que comprende satélites de dos etapas, vistos desde el lado, y

la fig. 8 ilustra un modo de realización de cómo se podrían montar los engranajes satélites, visto desde el lado.

### **Descripción detallada**

10 La fig. 1 ilustra una turbina eólica 1 moderna, que comprende una torre 2 y una góndola 3 de la turbina eólica situada en la parte superior de la torre 2. El rotor 4 de la turbina eólica, que comprende tres palas 5 de la turbina eólica, está conectado con la góndola 3 mediante el árbol de baja velocidad 6 que se extiende hacia fuera desde la parte delantera de la góndola 3.

15 La fig. 2 ilustra una sección transversal de una pala 5 de turbina eólica conectada a un buje 6 mediante un modo de realización de un cojinete de cabeceo 7. En este modo de realización, el cojinete de cabeceo 8 comprende un anillo interno 8 conectado directamente a la raíz de la pala 5, y un anillo externo 9 conectado directamente al buje 6. El cojinete de cabeceo 7 es en este caso un cojinete de bolas de una única hilera, aunque podría ser asimismo un cojinete de hileras dobles, triples o cuádruples, y los elementos que permiten el giro libre relativo entre los anillos 8, 9 son en este modo de realización bolas, aunque podrían ser igualmente rodillos, agujas u otros.

20 La fig. 3 ilustra una sección transversal de un motor en forma de anillo que controla el cabeceo de una pala mediante un engranaje planetario, visto desde el lado.

En este modo de realización de la invención, una pieza de estátor 11 de un motor en forma de anillo 10 está conectada con el buje 6. Una pieza de rotor 12 está situada dentro de la pieza de estátor 11, y una parte superior de la pieza de rotor 12 está provista de dientes 13 que se engranan con un número de engranajes satélites 14, haciendo que la pieza de rotor 12 actúe como una rueda solar 16 en un engranaje planetario 17. Los lados opuestos de los engranajes satélites 14 se engranan con dientes 15 formados integralmente en el reborde superior del interior del orificio de la pala en el buje 6, haciendo que el buje 6 actúe como una corona interior 22 de un engranaje planetario 17. Los engranajes satélites 14 están conectados, por medio de los árboles 18 de los engranajes satélites, indirecta y rígidamente con la pala 5 mediante el anillo interno 8 del cojinete de cabeceo 7, haciendo que la pala 5 actúe como un portador de satélites 19 de un engranaje planetario 17.

25 30

En este modo de realización de la invención, el motor en forma de anillo 10 es lo que se denomina normalmente motor de par de accionamiento directo DC. Un motor de accionamiento directo es un servoactuador, que se conecta directamente a la carga que acciona. Tiene un campo magnético permanente y una armadura bobinada, que actúan conjuntamente para convertir potencia eléctrica en par. Este par puede ser utilizado a continuación para sistemas de control de posicionamiento o velocidad. En general, los motores de par están diseñados para un par elevado en sistemas de baja velocidad. Los motores de par de accionamiento directo son particularmente adecuados para aplicaciones de servosistemas, en las cuales es deseable minimizar el tamaño, peso, potencia y tiempo de respuesta, y maximizar la precisión de velocidad y posicionamiento.

35

Se pueden utilizar diversos principios de motores eléctricos. Se pueden utilizar tanto motores de corriente continua, de corrientes de Foucault, síncronos, asíncronos o motores de paso a paso. Los motores de corriente continua no son particularmente adecuados, ya que las escobillas no funcionan bien en pequeños movimientos inversos. Los motores de corrientes de Foucault no son particularmente adecuados para bajas velocidades y par elevado. Los motores asíncronos no son efectivos a baja velocidad. Quedan los motores síncronos o los motores de paso a paso. Ambos motores tienen las características de que el rotor sigue rígidamente el movimiento del campo eléctrico en el estátor. Si se invierte el campo, el rotor mueve un desplazamiento de polo. El rotor tendrá típicamente imanes permanentes 20, aunque pueden ser asimismo electroimanes. Los electroimanes tendrán que ser alimentados y cuando se sitúen en la pieza de rotor 12 del motor en forma de anillo 10 la conexión eléctrica tendrá que seguir el movimiento del rotor 12. Para el motor de cojinetes de cabeceo 10, cuando el giro está limitado a 90° la conexión eléctrica puede realizarse mediante cables flexibles. Los imanes permanentes 20 son caros y difíciles de manejar. Por estas razones los electroimanes son interesantes. Casi todos los motores en forma de anillo 10 del mercado tienen imanes permanentes 20 con el fin de permitir que el rotor 12 gire libremente. Rotores bobinados 12 como tales no son comunes. El hecho de que el motor 10 deba ser capaz de cabecear sin potencia de red hace que la conexión eléctrica al rotor 12 represente un riesgo de fallos y la norma industrial actual es con imanes permanentes 20, lo que hace que los imanes permanentes 20 de la pieza de rotor 12 sean una opción preferida.

40 45 50

55 Se debe tener en cuenta la refrigeración para la armadura bobinada 21 de la pieza de estátor 11 y/o si la pieza de rotor está provista de electroimanes. Esto puede ser realizado, por ejemplo, mediante refrigeración de aire, tuberías

de refrigeración que hacen circular algún tipo de refrigerante, aletas de refrigeración u otros.

Cuando un motor es engranado, el par disminuye con la razón de desmultiplicación y la velocidad aumenta consecuentemente. En este modo de realización de la invención, se implementa por lo tanto un engranaje planetario 17 entre el motor en forma de anillo 10 y la pala 5.

- 5 El motor en forma de anillo 10 no asegura necesariamente por sí mismo que la pala 5 permanece en la posición alcanzada. Podría ser ventajoso por lo tanto combinar el motor de cabeceo 10 con una unidad de frenado (no mostrada).

- 10 Digamos que el freno en esta unidad de frenado es un freno de fricción (no mostrado), que tiene una fuerza de frenado cargada por resorte y una fuerza de frenado liberada eléctricamente, el cojinete de cabeceo 7 puede ser mantenido en la posición deseada con o sin alimentar el sistema (sistema seguro frente a fallos). Este sistema de frenado verá un gran número de ciclos de carga y de direcciones de carga invertidas, y debe estar diseñado por lo tanto para soportar esto, por ejemplo haciendo que la zapata de frenado tenga juego libre con el buje 5 u otros.

Además, el sistema de cabeceo puede estar provisto de bloqueos de cabeceo mecánicos en caso de fallo de los frenos y para bloqueo de parada.

- 15 Para conocer cuál es el ángulo de la punta en cualquier momento, se puede implementar un sensor como un codificador o lineal eléctrico en el sistema. La realimentación del sensor le dice a un ordenador dónde está la pala y la información puede ser utilizada para controlar la fuerza y movimiento del campo eléctrico en los motores de cabeceo 10.

Una secuencia del movimiento de cabeceo puede comprender una o más de las siguientes etapas:

- 20 – Un controlador de la turbina detecta un aumento de potencia por encima de un nivel establecido.
- Se ordena al motor de cabeceo 10 que cabecee a un ángulo de punta mayor (hacia 90°).
- Los imanes del rotor (si son eléctricos) y el freno son alimentados. Se libera la fuerza de frenado.
- El estátor 11 aplica un campo electromagnético en movimiento hacia delante en la armadura bobinada 21.
- 25 – El flujo magnético entre los imanes 20 en el rotor 12 y el estátor 11 crea una fuerza tangencial entre las piezas 11, 12 que tira del rotor 12 para que gire (par de cabeceo).
- Se mide el ángulo de fase entre los polos del rotor 12 y el estátor 11 y se controla el regulador de corriente para establecer la intensidad correcta del flujo magnético.
- La velocidad del campo el movimiento depende de la desviación respecto al ángulo de punta real (posición del rotor) y la posición deseada.
- 30 – Cuando se ha conseguido la posición deseada y no se espera una nueva posición, el sistema corta la alimentación y el resorte del freno mantiene la pala 5 en posición. Durante el cabeceo activo, durante el cual apenas hay descanso, los imanes del rotor (si son eléctricos) y el freno son alimentados continuamente.
- La inversión de las direcciones de cabeceo se realiza invirtiendo la dirección del motor del campo electromagnético en el estátor 11.

- 35 Este sistema está libre de problemas de holguras debido al juego en las transmisiones mecánicas y a que las fuerzas se transmiten directamente a la pala actuando la reacción sobre el reborde de buje.

- 40 Las fuerzas entre la pieza de rotor 12 y la pieza de estátor 11 del motor en forma de anillo 10 son grandes y el hueco 23 entre las piezas 11, 12 es pequeño (típicamente de 0,5 mm). Si la pieza de rotor no está gobernada de modo preciso, el rotor 12 puede chocar fácilmente con la pieza de estátor 11. Cuanto más grande sea el diámetro más probable es que esto ocurra. El buje 6 se distorsiona asimismo bajo cargas en una magnitud en la que no es razonable tener una pieza de rotor 12 rígida que se extienda sobre el diámetro del buje 6. Como tal, el mejor motor es un motor de sección delgada 10 con sus propios cojinetes 24 entre el estátor 11 y el rotor 12, aunque utilizar el cojinete de cabeceo 7 ya existente para mantener el hueco 23 entre el rotor y la pieza de estátor 11, 12 del motor en forma de anillo 10 se encuentra asimismo dentro del ámbito de la invención.

- 45 El peso del sistema de cabeceo con el motor en forma de anillo 10 en el buje 6 es de aproximadamente 300 k por pala 5 más 100 k para los controladores del motor 10. Digamos que el sistema de cabeceo en el buje 6 tiene un peso de 1 t. Además de esto se tiene que aplicar un transformador giratorio en la góndola 3.

El peso del sistema de cabeceo hidráulico conocido en la técnica es de 2 t, de las cuales la mitad corresponde a componentes situados en el buje 6.

Un sistema de cabeceo para una turbina eólica 1 tradicional de tres palas 5 requiere los siguientes componentes:

- tres motores de cabeceo en forma de anillo 10
- tres unidades de engranajes planetarios 17
- tres mordazas de freno/discos de freno
- 5 – tres unidades de control del motor 10
- tres unidades de respaldo de batería
- un conector de alimentación eléctrica giratorio
- un conector de comunicaciones giratorio
- un armario para el controlador del buje 6
- 10 – un conjunto de cables
- tres codificadores de posición

Requerimientos del motor de cabeceo 10

- El motor en forma de anillo 10 se sitúa en el buje 6 bajo o cerca del cojinete de cabeceo 7.
- El motor en forma de anillo 10 actúa sobre la pala 5 a través de un engranaje planetario 17 con una reducción de  
15 entre 1:1 y 1:50, preferiblemente entre 1:1,5 y 1:20, y más preferiblemente entre 1:2 y 1:10, tal como 1:4 o 1:5.
- La máxima velocidad de la pala 5 es 12°/s.
- El máximo par de pala 5 en una turbina eólica tradicional de tres palas de 2-3 MW está en el intervalo de entre 60-100 kNm.

La fig. 4 ilustra una sección transversal de un motor en forma de anillo 10 que controla el cabeceo de una pala 5 mediante un engranaje planetario 17, visto desde arriba.

En este modo de realización de la invención, una pieza de rotor 12 dentada 13 de un motor en forma de anillo 10 funciona como una rueda solar 16 en el engranaje planetario 17. Los dientes de la pieza de rotor 12 se engranan con quince engranajes satélites 15 distribuidos homogéneamente alrededor de la rueda planetaria 16. En otro modo de realización, el engranaje planetario 17 podría estar dotado con entre 2 y 50, preferiblemente entre 3 y 30, y más  
25 preferiblemente entre 4 y 25 engranajes satélites 15, tales como 8, 12, 16 o 24.

Mediante sus árboles 18 de los engranajes satélites, los engranajes satélites 15 están montados directamente en la pala 5 (no mostrada en la fig. 4) y los satélites 14 se engranan además con una pieza dentada 15 del buje 6. En otro modo de realización, la corona interior 22 podría ser asimismo una corona independiente dentada internamente, o unida rígidamente al buje 6, e igualmente, la rueda solar 16 podría ser una corona interior independiente dentada  
30 externamente unida rígidamente a la pieza de rotor 12 del motor en forma de anillo 10.

En un modo preferido de realización de la invención, el motor en forma de anillo 10 está situado concéntricamente con el cojinete de cabeceo 7 y la raíz de la pala 5, aunque en otro modo de realización de la invención el motor en forma de anillo 10 podría estar situado excéntricamente bien al cojinete de cabeceo 7, a la raíz de la pala 5 o a ambos, por ejemplo para utilizar eficientemente el espacio limitado en el buje 6.

35 El sistema descrito podría ser utilizado asimismo en otras conexiones en las cuales se necesite girar cargas de gran diámetro. Esto podría ser el caso por ejemplo de un mecanismo de guiñada en una turbina eólica 1, los mecanismos giratorios para una grúa de construcción, el mecanismo de cabeceo de las palas de una hélice de barco, u otros lugares en los que se tenga que transferir un par relativamente elevado sobre un diámetro relativamente grande.

La fig. 5 ilustra un engranaje planetario 17 que comprende satélites de dos etapas 14, visto desde el lado.

40 Un engranaje planetario 17 con una rueda solar 16 y una corona interior 22 de gran diámetro sólo tiene una razón de desmultiplicación justo por encima de 2. Para mejorar la razón de desmultiplicación y mantener aun así el beneficio del engranaje planetario se pueden utilizar engranajes satélites 14 con dos diámetros de engranaje D1, D2 diferentes. El diámetro mayor D1 de los engranajes satélites 14 se engrana con la rueda solar 16 y el diámetro menor D2 de los satélites 14 se engrana con la corona interior 22.

45 Puede ser ventajoso fabricar el motor en forma de anillo 10 con el mayor diámetro posible. El par del motor va con el cuadrado del diámetro y es proporcionar a la longitud. El precio es proporcional a la longitud y al diámetro. El gran

diámetro es la característica preferida de este tipo de motor.

Lo mejor es un motor en forma de anillo 10 con un diámetro sustancialmente igual al reborde interno del buje 6 o el cojinete de cabeceo 7. Este motor 10 debe ser engranado para reducir el par y por lo tanto la sección transversal del motor 10. Un engranaje planetario 17 con una corona 22 y rueda solar 16 de gran diámetro puede tener muchos satélites 14. Digamos que los satélites 14 son pequeños y numerosos, por ejemplo 12 satélites o más, la carga en cada uno es pequeña y el módulo de engranajes de la rueda solar 16, corona 22 y engranajes satélites 14 puede ser pequeño. El engranaje planetario clásico 17 con pequeños satélites 14 tiene una razón de desmultiplicación justo por encima de 2. Para mejorar la razón de desmultiplicación y mantener aun así el beneficio del engranaje planetario 17, engranajes satélites 14 con dos diámetros de engranaje D1, D2 diferentes incorporados en los satélites 14 pueden escalar la razón de desmultiplicación del engranaje planetario 17 a cuatro o más.

Este diseño reduce el par del motor al 20% o 25% del par de la pala. Esto reduce asimismo el coste del motor en forma de anillo 10 en un factor posiblemente del orden de tres a cuatro. El coste del engranaje planetario 17 es marginal en relación con el coste del motor en forma de anillo, lo que es uno de los parámetros que justifica el uso de un engranaje planetario en combinación con el motor en forma de anillo para cabecear palas de turbina eólica. Además, es posible utilizar una solución de engranajes abiertos.

La fig. 6 ilustra parte de una sección transversal de un cojinete de cabeceo 7 que comprende dos columnas de cada dos filas de bolas del cojinete. Entre el anillo de cojinete externo 9 y el anillo de cojinete central 25 se sitúan dos filas de bolas en el mismo diámetro. Entre el anillo de cojinete central 25 y el anillo de cojinete interno 8 se sitúan otras dos filas de bolas de cojinete sobre el otro diámetro común. Los anillos de cojinete interno y externo 8, 9 están conectados rígidamente con el buje 6, y el anillo central 25 está conectado rígidamente con la raíz de la pala 5.

En este modo de realización de la invención los engranajes satélites 14 no están conectados con el cojinete de cabeceo 7, sino que en su lugar están conectados por medio de un reborde de la pala 26 indirectamente con la pala 5. Una corona dentada internamente, que actúa como la corona interior 22 en el engranaje planetario 17, está conectada con la superficie interior del anillo de cojinete interno 8.

En otro modo de realización de la invención, los satélites 14 podrían estar conectados, por medio de sus árboles de engranajes satélites 18, directamente con la pala 5, o los satélites 14 podrían estar conectados rígidamente con la pala 5 de un modo más indirecto, por ejemplo como se muestra en la fig. 6, o mediante una placa conectada con la pala 5 y que cubre todo el orificio en la raíz de la pala 5 (que en este caso actuaría como el portador de satélites 19 del engranaje planetario 17, mediante accesorios o fijaciones conectados a la pala 5 o al anillo o anillos del cojinete 8, 9, 25 del cojinete de cabeceo 7 que está(n) conectado(s) con la pala 5. Así pues, los satélites 14 pueden estar conectados a la pala de muchas maneras, por ejemplo directamente, cuando la pala sirve como el portador del satélite en el engranaje planetario 17, o más indirectamente cuando algo más entre medias de los satélites 14 y de la pala actúa como un portador de satélites 19, o la conexión puede ser realizada de otro modo en tanto en cuanto se asegure una conexión sustancialmente rígida entre los engranajes satélites 14 y la pala 5.

La fig. 7 ilustra un cojinete de cabeceo 7 de tres anillos, un motor con forma de anillo 10 y un engranaje planetario 17 que comprende satélites 14 de dos etapas, visto desde el lado.

La fig. 8 ilustra un modo de realización de cómo los engranajes satélites 14 podrían ser montados, visto desde el lado.

En este modo de realización de la invención, los engranajes satélites 14 están montados por medio de cojinetes flexibles 27. En este modo de realización, estos cojinetes flexibles 27 no permiten el giro del árbol 18 sino que sirven tan sólo como medios flexibles para permitir un pequeño desplazamiento del ángulo de los engranajes satélites 14 y/o del eje de rotación. El giro de los engranajes satélites 14 en este modo de realización es permitido por cojinetes de satélites 28 situados entre los engranajes satélites 14 y el árbol 18. Estos cojinetes de satélites 28 podrían ser, en un modo de realización preferido, cojinetes planos, aunque en otro modo de realización podrían ser igualmente cojinetes de bolas, cojinetes de aguja, cojinetes de rodillos, o una combinación de los mismos.

En otro modo de realización de la invención, los cojinetes flexibles 27 que suspenden los árboles de los satélites 18 podrían ser combinados con cojinetes esféricos en el engranaje satélite 14 para asegurar que los satélites 14 se sitúan en todo momento correctamente y en el ángulo adecuado. La compensación de imprecisiones podría realizarse asimismo montando los árboles 18 por medio de cojinetes esféricos, incorporando un cojinete flexible 27 en los satélites 14 o de ambos modos.

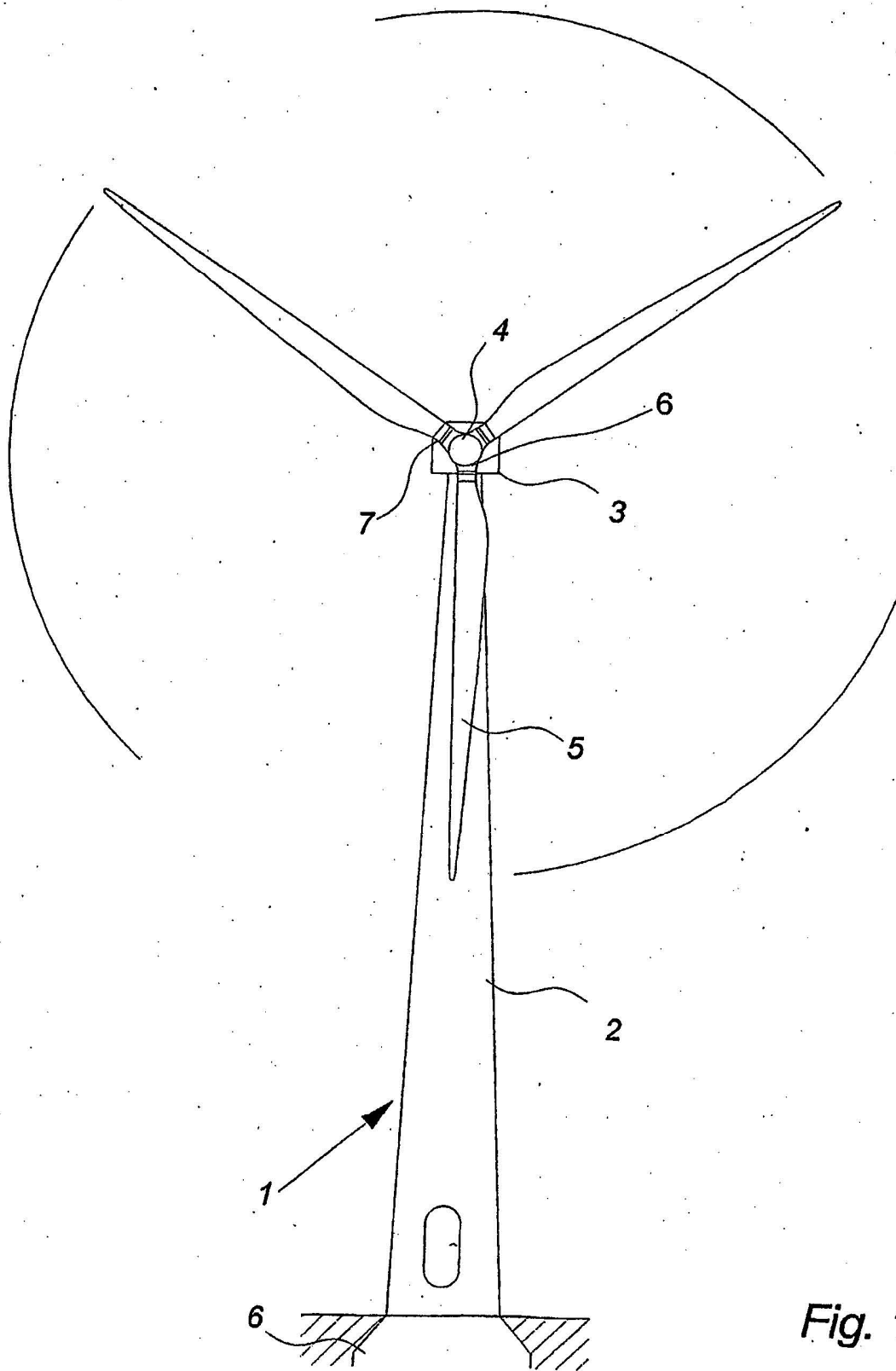
Proporcionar a los engranajes satélites un pequeño grado de flexibilidad puede ser realizado igualmente de diversas otras maneras dentro del ámbito de la invención. Los engranajes satélites 14, la corona interior 22 y la rueda solar 16, el portador de satélites 19 y/o los árboles de los engranajes satélites 18 podrían ser realizados en un material ligeramente flexible, la rueda solar 16 y/o y o la corona interior 22 podrían ser divididas en un número de segmentos dentados, todos los cuales cuando se montarán individual y flexiblemente o el sistema podría ser provisto de otro modo con medios de compensación de cualquier imprecisión de las piezas 5, 6, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 22, cualquier imprecisión entre las piezas 5, 6, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 22 o cualquier ligera distorsión de las piezas 5, 6, 13, 14, 15, 16, 18, 19, 22.

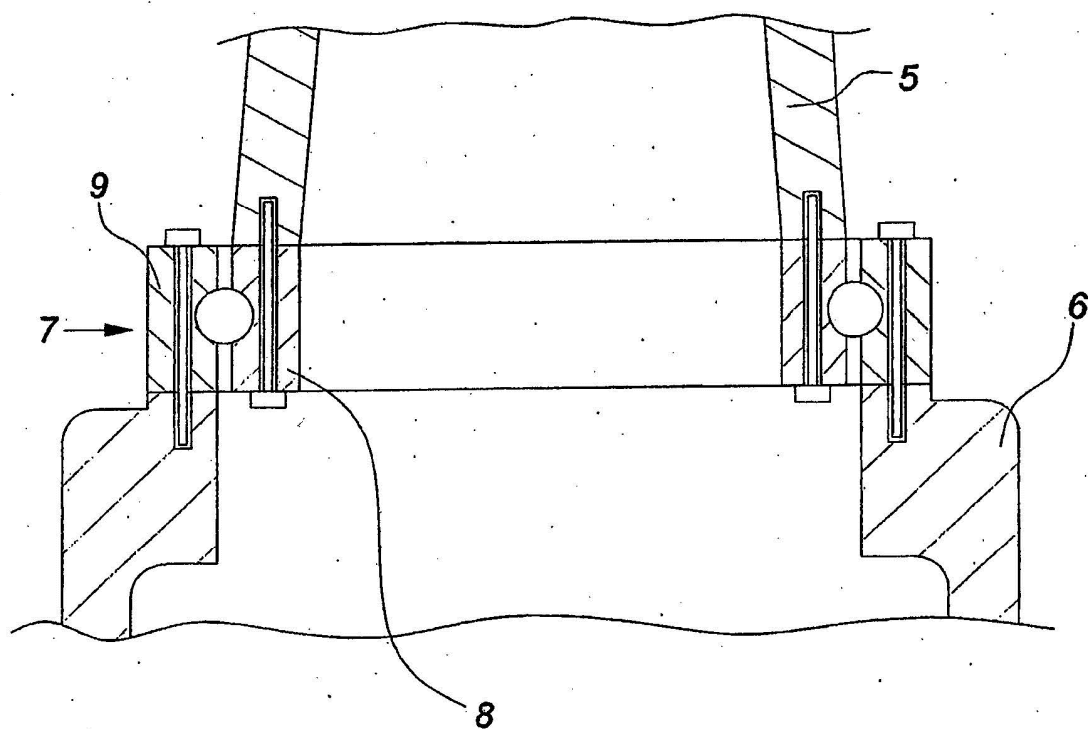
La invención ha sido ejemplificada anteriormente con referencia a ejemplos específicos de motores en forma de anillo 10, engranajes planetarios 17 y el uso de tales. Sin embargo, se debe entender que la invención no se limita a los ejemplos particulares descritos anteriormente, sino que puede ser diseñada y alterada de múltiples formas dentro del ámbito de la invención como se especifica en las reivindicaciones.

- 5    Lista
  1.    turbina eólica
  2.    torre
  3.    góndola
  4.    rotor
- 10   5.   pala
6.    buje
7.    cojinete de cabeceo
8.    anillo interior del cojinete
9.    anillo exterior del cojinete
- 15   10.  motor en forma de anillo
11.  pieza de estátor del motor en forma de anillo
12.  pieza de rotor del motor en forma de anillo
13.  dientes del rotor
14.  engranaje satélite
- 20   15.  dientes del buje
16.  rueda solar
17.  engranaje planetario
18.  árbol del engranaje planetario
19.  portador de satélite
- 25   20.  imán permanente
21.  armadura bobinada
22.  corona interior
23.  hueco
24.  cojinete del motor
- 30   25.  anillo central del cojinete
26.  reborde de la pala
27.  cojinetes flexibles
28.  cojinete de satélite
- D1   primer diámetro del engranaje satélite
- 35   D2   segundo diámetro del engranaje satélite

## REIVINDICACIONES

1. Un rotor (4) de turbina eólica que comprende:  
al menos una pala (5), y  
al menos un mecanismo de cabeceo que comprende un cojinete de cabeceo (7) y un motor en forma de anillo (10) para controlar dicha al menos una pala (5)  
5 caracterizado por que  
dicho motor en forma de anillo (10) es de un diámetro sustancialmente igual al reborde interno de dicho cojinete de cabeceo (7) y por que dicho motor en forma de anillo (10) controla dicha pala (5) mediante medios de engranajes de un tipo planetario (17).
- 10 2. Un rotor (4) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho motor en forma de anillo (10) controla el ángulo de cabeceo de dichas palas (5) con relación a un buje (6) de dicho rotor (4).
3. Un rotor (4) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que una corona interior (22) de dichos medios de engranajes (17) está montada rígidamente directa o indirectamente en un buje (6) de dicho rotor (4)
- 15 4. Un rotor (4) de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de engranajes (17) comprenden una pluralidad de ruedas dentadas satélites (14), tal como más de ocho ruedas dentadas satélites (14).
5. Un rotor (4) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 4, en el que dicha pluralidad de ruedas dentadas satélites (14) están montadas directa o indirectamente en dicha al menos una pala (5).
- 20 6. Un rotor (4) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 4 o 5, en el que dicha pluralidad de ruedas dentadas satélites (14) están montadas flexiblemente.
7. Un rotor (4) de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en el que al menos una de dicha pluralidad de ruedas dentadas satélites (14) comprende al menos dos etapas de engranajes diferentes (D1, D2) para alterar las razones de desmultiplicación de dichos medios de engranajes de un tipo planetario (17).
- 25 8. Un rotor (4) de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una pieza de rotor (12) de dicho motor en forma de anillo (10) comprende una rueda solar (16) de dichos medios de engranajes (17).
9. Un rotor (4) de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 8, en el que dicha rueda solar (16) de dichos medios de engranajes (17) está formada integralmente en dicha pieza de rotor (12) de dicho motor en forma de anillo (10).
- 30 10. Un rotor (4) de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho motor en forma de anillo (10) comprende al menos un cojinete (24) del motor que fija sustancialmente el hueco (23) entre una pieza de rotor (12) y una pieza de estátor (11) de dicho motor en forma de anillo (10).
11. Un rotor (4) de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de engranajes de tipo planetario (17) reducen la velocidad de giro de dicha pala (5) en relación a una pieza de rotor (12) de dicho motor en forma de anillo (10).
- 35 12. Una turbina eólica que comprende un rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
13. Un procedimiento para controlar al menos una pala (5) de un rotor (4) de turbina eólica, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:  
40 – establecer un par por medio de un motor en forma de anillo (10) que tiene un diámetro sustancialmente igual al reborde interno de un cojinete de cabeceo (7) conectado a dicha pala (5),  
– aumentar dicho par por medio de medios de engranajes de tipo planetario (17), y  
– hacer que dicho aumento de par controle dicha pala (5).
14. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13, en el que dicho motor en forma de anillo (10) controla el  
45 ángulo de cabeceo de dichas palas (5) en relación con un buje (6) de dicho rotor (4).





*Fig. 2*

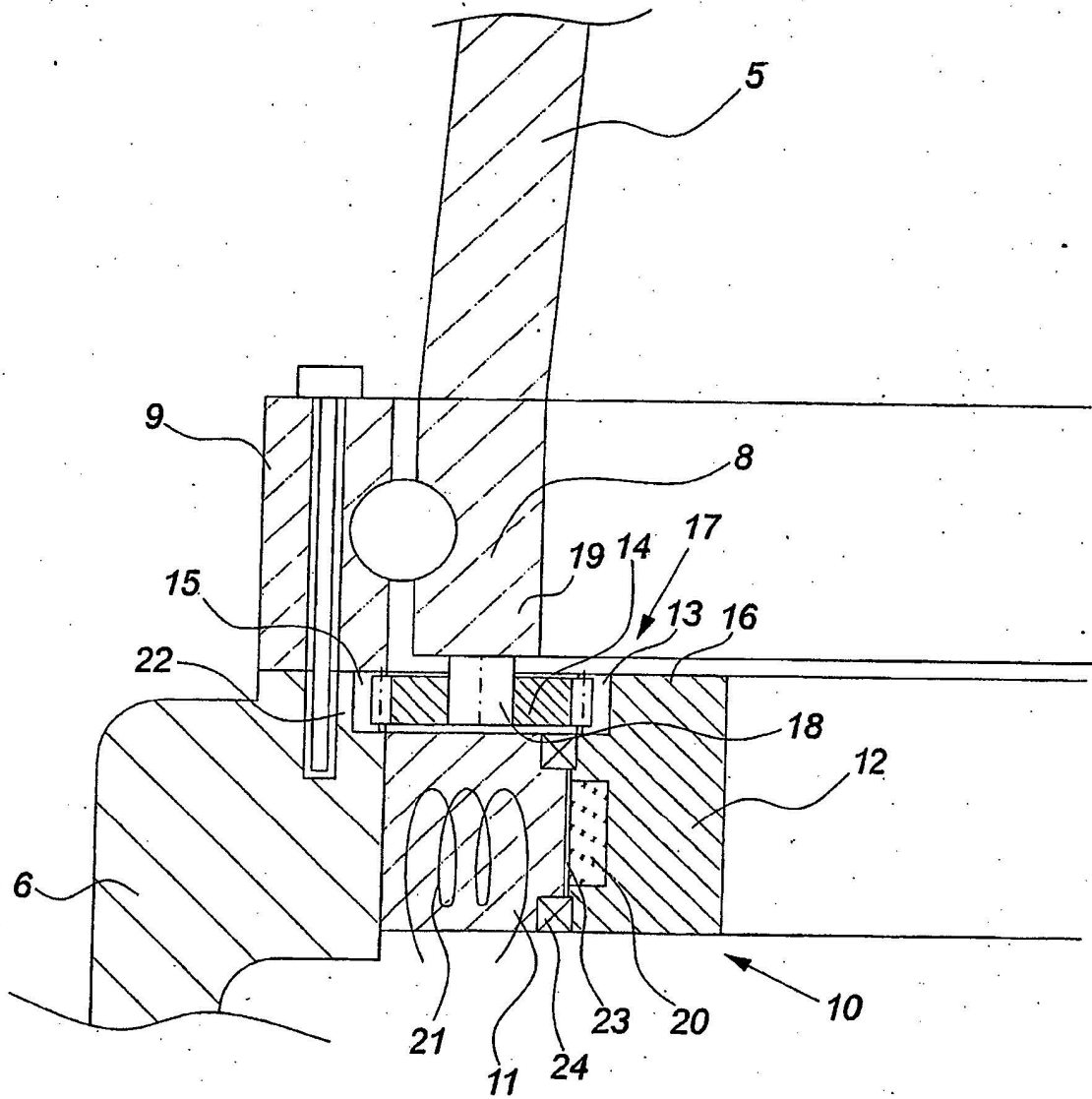


Fig. 3.

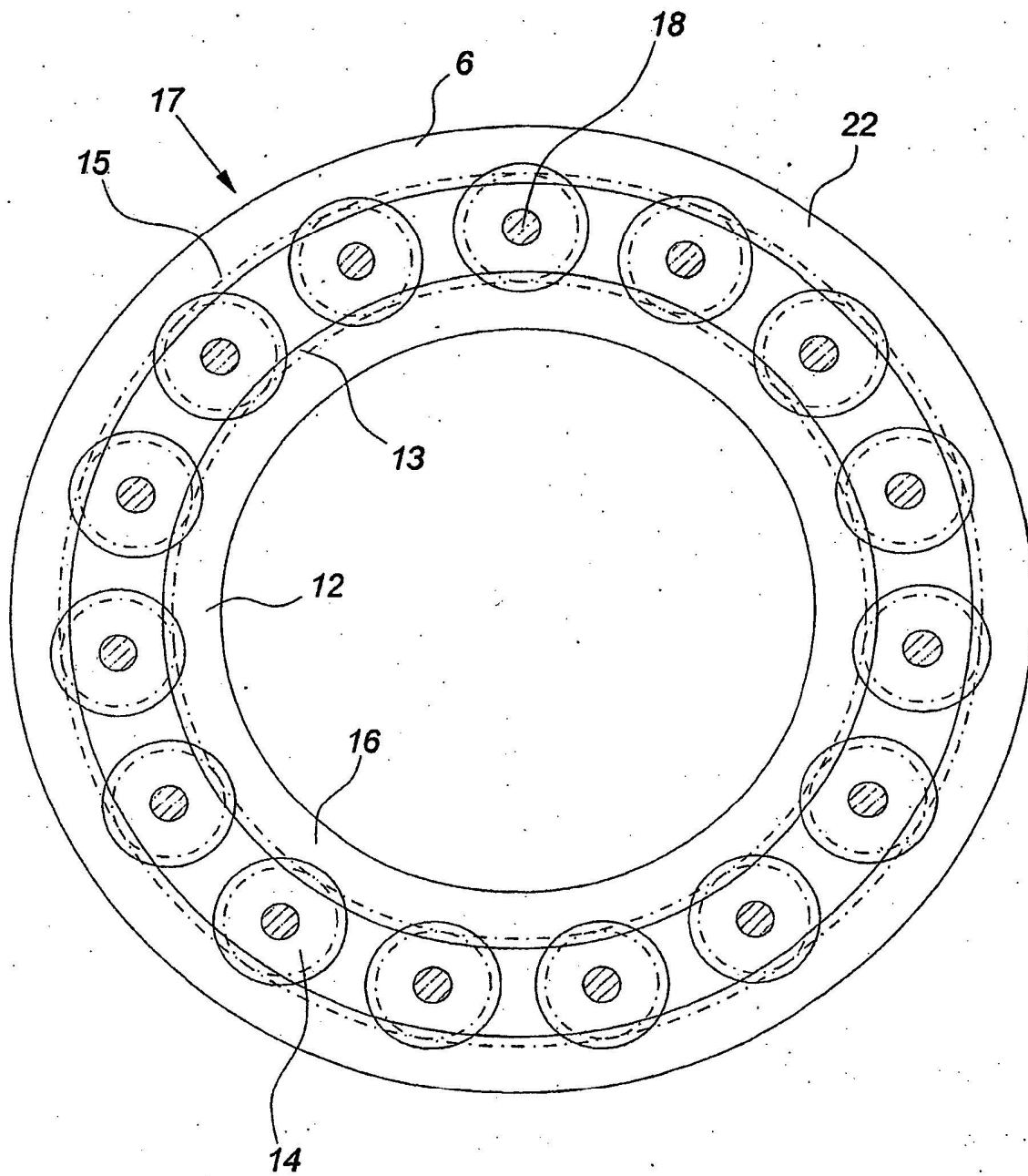


Fig. 4

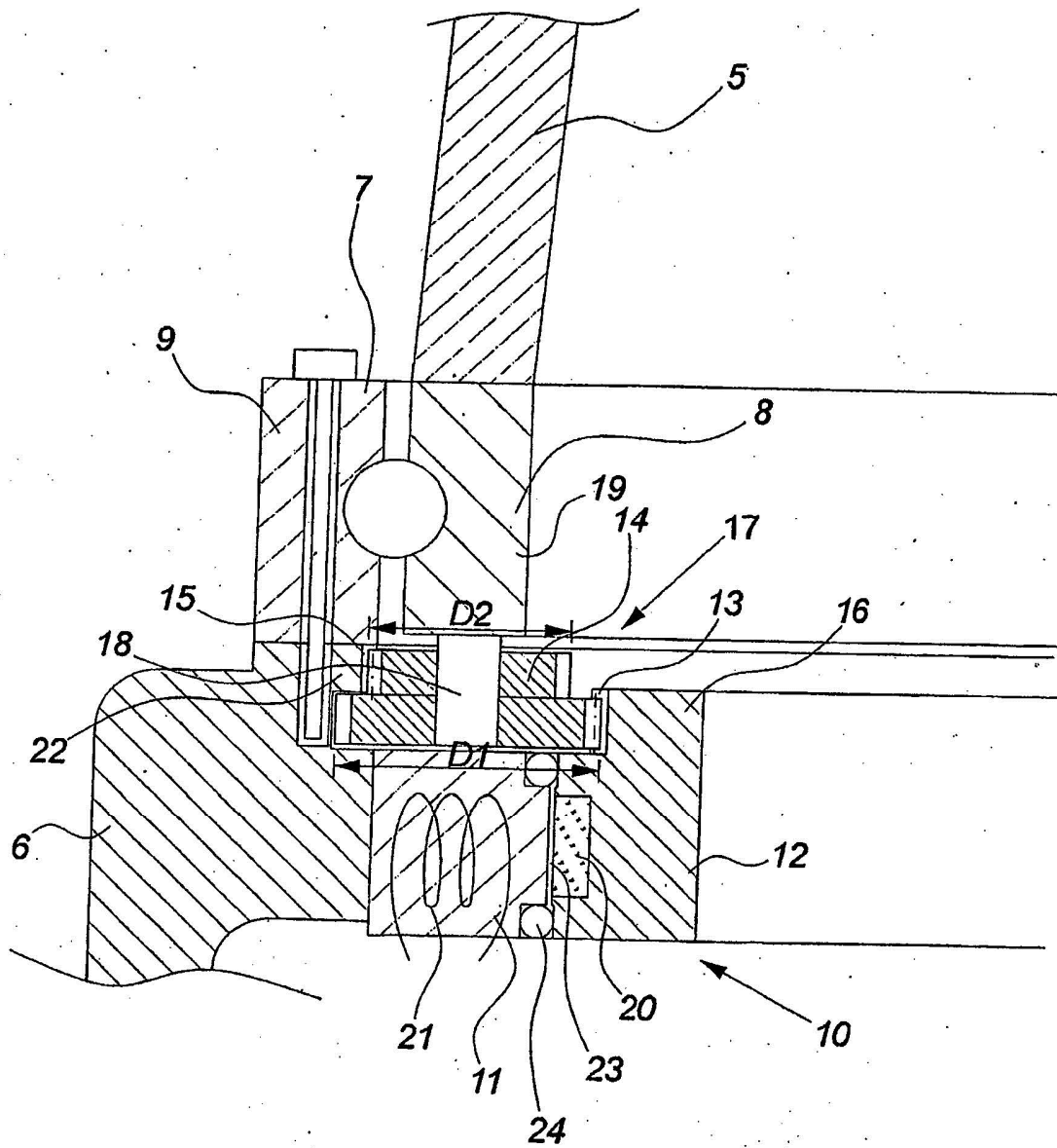


Fig. 5

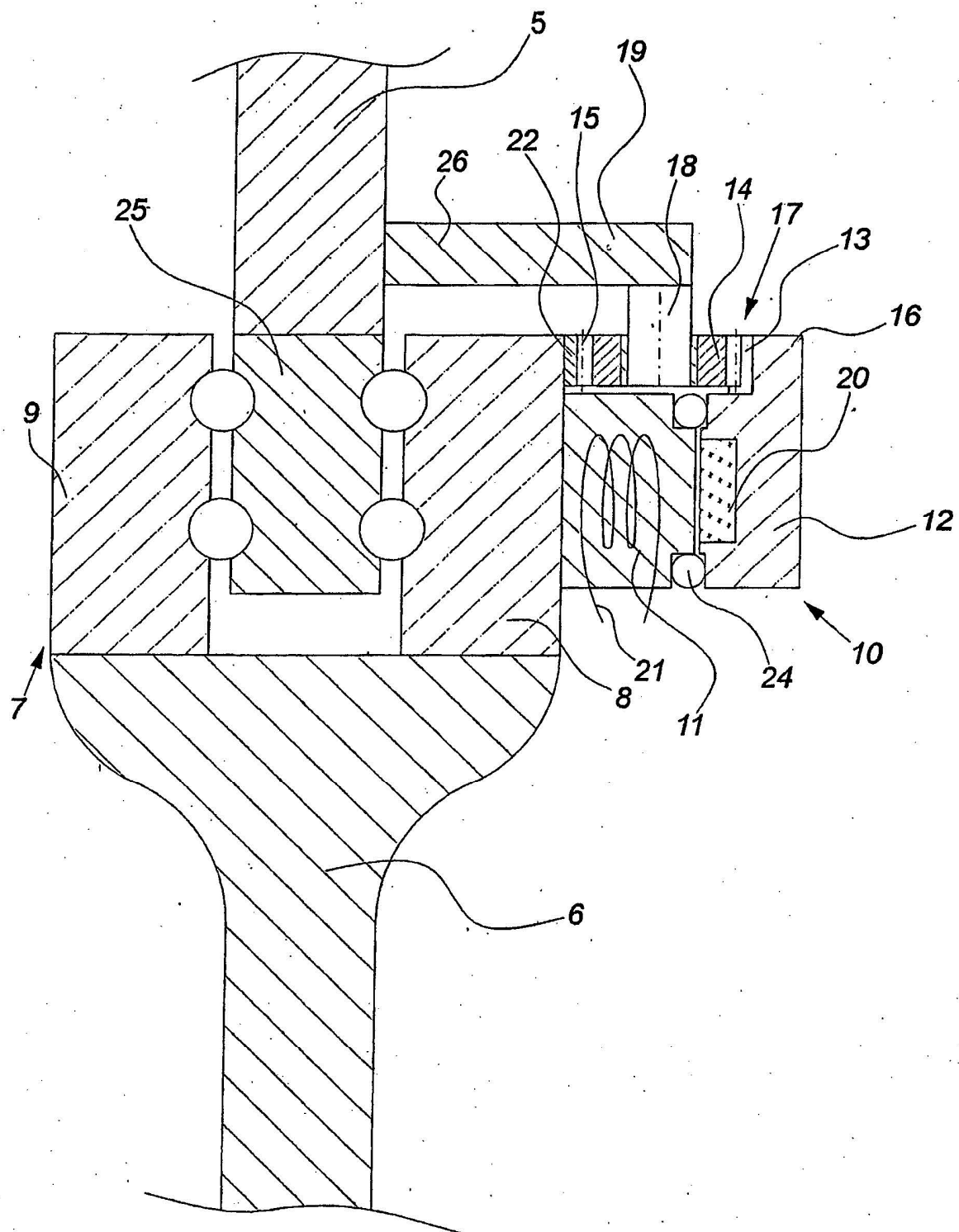


Fig. 6

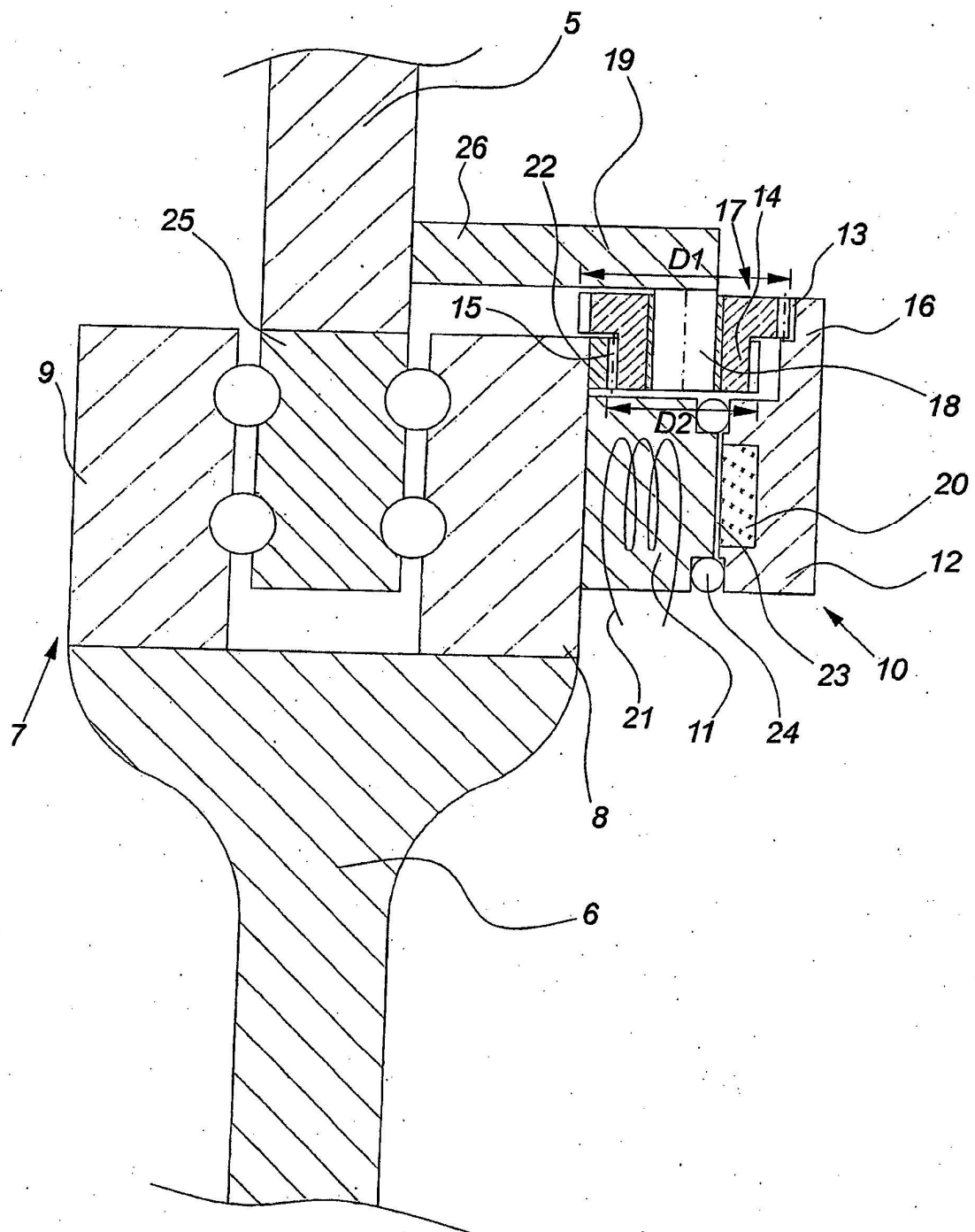


Fig. 7

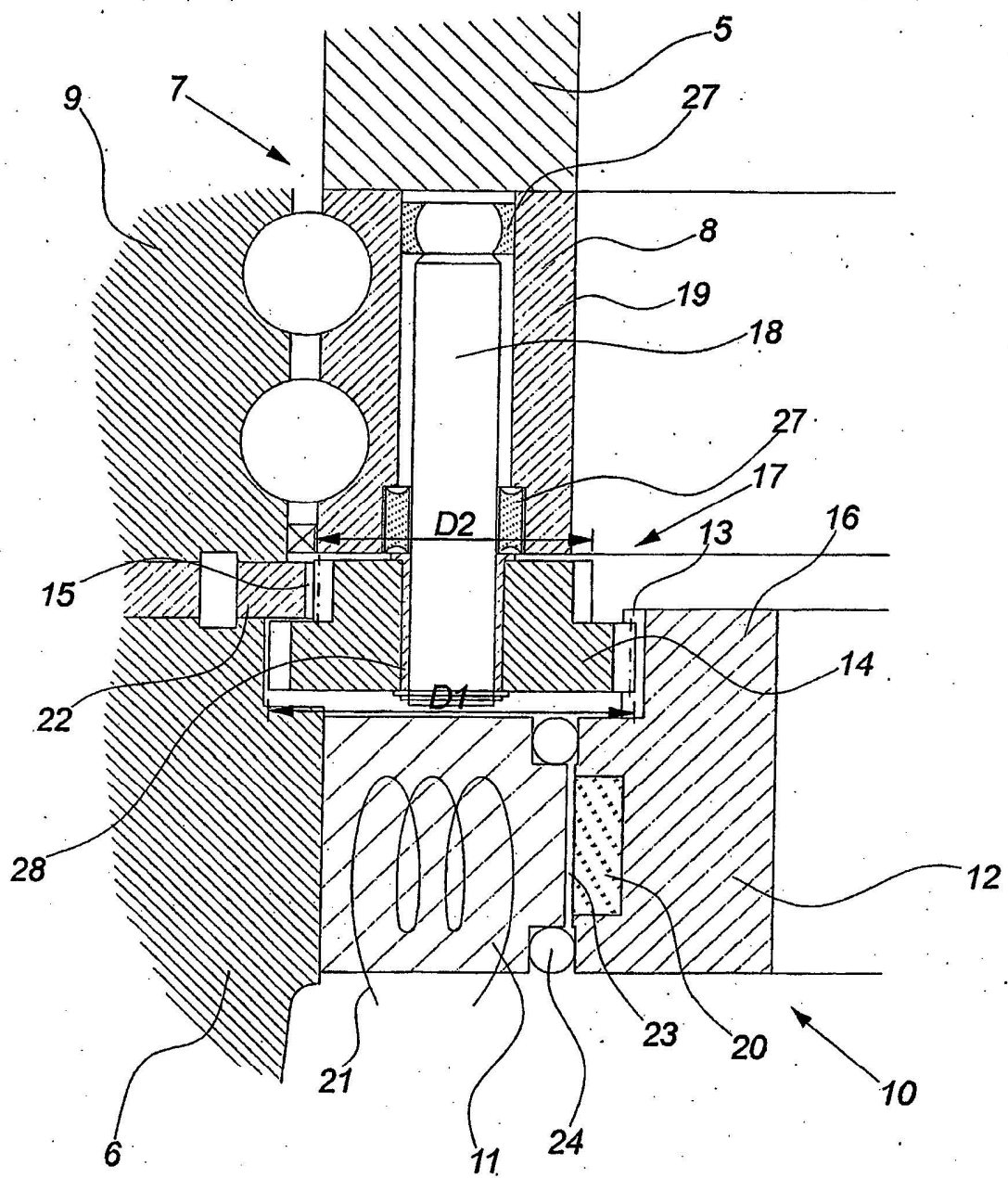


Fig. 8