



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 348 890**

(51) Int. Cl.:

F04D 17/12 (2006.01)

F04D 29/10 (2006.01)

F04D 29/058 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **07012721 .2**

(96) Fecha de presentación : **28.06.2007**

(97) Número de publicación de la solicitud: **2009286**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **31.12.2008**

(54) Título: **Anillo de estanqueidad para una turbomáquina.**

(73) Titular/es: **Siemens Aktiengesellschaft**
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.12.2010

(72) Inventor/es: **Schmidt, Marcus;**
Hutten, Volker y
Gausmann, Rainer

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.12.2010

(74) Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

ES 2 348 890 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).

ANILLO DE ESTANQUEIDAD PARA UNA TURBOMÁQUINA

DESCRIPCIÓN

La invención se refiere a una turbomáquina con un rotor y un anillo de estanqueidad para obturar el rotor, en donde el anillo de estanqueidad está ejecutado como un cojinete magnético para obturar el rotor, que puede activarse de tal modo que mediante el cojinete magnético pueden aplicarse al rotor fuerzas activamente.

Una turbomáquina sirve para la modificación continua del estado termodinámico de una corriente de fluido, como por ejemplo una compresión o una expansión de una corriente gaseosa. A la turbomáquina se alimenta la corriente gaseosa, cuyo estado termodinámico en el interior de la turbomáquina se modifica de forma correspondiente mediante un proceso mecánico de circulación.

En principio la turbomáquina presenta un rotor, que está circundado por una carcasa y que puede girar con relación a la carcasa. Entre el lado exterior del rotor y el lado interior de la carcasa está prevista una rendija, con lo que se impide que el rotor durante su giro roce con la carcasa. El rotor se apoya generalmente en al menos un cojinete, que se apoya en la carcasa o en un soporte aparte y está asentado en un entorno atmosférico.

En el interior de la carcasa se presentan normalmente estados termodinámicos, que son diferentes al entorno atmosférico. Por ello la rendija está obturada en una región entre el cojinete y el interior de la carcasa, de tal modo que el interior de la carcasa está aislado tanto como de forma estanca a los gases respecto al entorno atmosférico, y un intercambio gaseoso entre el interior de la carcasa y el entorno atmosférico puede tener lugar tanto como nada. Si la turbomáquina presenta por ejemplo varias etapas, en las que el estado termodinámico de la corriente gaseosa se modifica, la rendija entre las etapas está obturada de forma correspondiente, de tal modo que se impide un intercambio gaseoso entre las etapas.

Habitualmente se materializa la obturación del rotor con un anillo de estanqueidad. El anillo de estanqueidad está construido de tal modo que, por un lado es posible el movimiento relativo entre el rotor y la carcasa y, por otro lado, es reducida una fuga de gas a través del anillo de estanqueidad.

Habitualmente se ejecuta el anillo de estanqueidad por ejemplo como una junta laberíntica que presenta picos laberínticos. La junta laberíntica tiene sin embargo el inconveniente de que en la misma pueden producirse fuerzas tangenciales desestabilizadoras. Otro inconveniente de la junta laberíntica es que los picos laberínticos se adicionan fácilmente en el caso de ensuciarse el gas, con lo que se

- 2 -

limita el modo de acción de la junta laberíntica. Además de esto los picos laberínticos son sensibles al desgaste mecánico, en especial en el caso de funcionamiento descentrado del rotor.

El comportamiento oscilatorio del rotor, es decir el desplazamiento radial y/o el combado del rotor durante el funcionamiento de la turbomáquina está determinado fundamentalmente por la característica rotor-dinámica del rotor. La característica rotor-dinámica del rotor está caracterizada por determinados modos de oscilación, que están determinados por la geometría del rotor, las características sustantivas del material de rotor, la rigidez y la amortiguación del pivotamiento del rotor y los estados termodinámicos en el interior de la carcasa. Una característica rotor-dinámica bondadosa destaca porque en todas las posibles condiciones de funcionamiento de la turbomáquina el rotor sólo experimenta pequeños movimientos radiales y/o sólo un reducido combado.

El comportamiento oscilatorio del rotor puede verse influenciado también a causa de estados de inestabilidad en el pivotamiento del rotor y/o en el anillo de estanqueidad.

Para mejorar la característica rotor-dinámica del rotor se conoce el uso de un anillo de estanqueidad con una característica de amortiguación pasiva, por ejemplo de un damper-seal (honeycomb y/o hole pattern seal). El damper-seal tiene la ventaja de que actúa amortiguando ante un movimiento radial del rotor, de tal modo que por medio de esto está limitada la amplitud máxima radial del rotor.

El inconveniente del damper-seal es que su acción amortiguadora está fijada por causas constructivas. Por medio de esto es imposible adaptar la acción amortiguadora del damper-seal a una condición de funcionamiento respectiva de la turbomáquina, con lo que la acción amortiguadora del damper-seal no es efectiva. Aparte de esto el damper-seal es sensible a la suciedad en el gas, de tal modo que se atasca fácilmente. Un damper-seal atascado puede tener incluso un efecto negativo en la característica rotor-dinámica del rotor. Por medio de esto el damper-seal debe mantenerse limpio constantemente, con lo que el gasto de mantenimiento del damper-seal es elevado. De este modo está limitada la disponibilidad de la turbomáquina.

De la publicación para información de solicitud de patente alemana DE 41 05 258 A1, que se considera el estado de la técnica más próximo, y del documento DE 25 15 315 A1 se conoce en cada caso la combinación de un anillo de estanqueidad del modo constructivo laberíntico con un cojinete de obturación magnética. La patente alemana DE 37 29 486 C1 hace patente una disposición en gran medida sin

- 3 -

junta de un compresor y de un motor eléctrico en una carcasa común, en donde un rotor común está montado magnéticamente. Estas ejecuciones conocidas no hacen posible ninguna influencia significativa en el combado del rotor y en el movimiento oscilatorio, en especial con relación a oscilaciones de flexión.

5 La tarea de la invención consiste en crear un anillo de estanqueidad para una turbomáquina, en donde el anillo de estanqueidad de la turbomáquina confiera una elevada disponibilidad, y crear una turbomáquina con una elevada disponibilidad.

El anillo de estanqueidad conforme a la invención para una turbomáquina con un rotor está ejecutado como un cojinete magnético para obturar el rotor, que puede 10 activarse de tal modo que mediante el cojinete magnético puede aplicarse al rotor fuerzas activamente.

El cojinete magnético presenta un estator de cojinete magnético, que está montado sobre la carcasa de la turbomáquina, y un rotor de cojinete magnético que está instalado sobre el rotor. Si gira el rotor durante el funcionamiento de la 15 turbomáquina, tiene lugar un movimiento relativo entre el rotor de cojinete magnético y el estator de cojinete magnético. Entre el rotor de cojinete magnético y el estator de cojinete magnético está prevista una rendija, de tal modo que el rotor de cojinete magnético no roza con el estator de cojinete magnético y no daña éste mecánicamente. La rendija es comparable en sus dimensiones geométricas, en 20 especial su anchura y su altura, a la rendija de por ejemplo un honeycomb o un hole pattern seal. Por medio de esto la tasa de fugas del cojinete magnético es de un orden de magnitud similar al del honeycomb o al del hole pattern seal, con lo que el cojinete magnético tiene una acción obturadora habitual.

Aparte de esto, el cojinete magnético pueda activarse conforme a la invención 25 para obturar el rotor de tal modo, que mediante el cojinete magnético pueden aplicarse al rotor fuerzas activamente.

Estas fuerzas pueden ser fuerzas tangenciales y/o fuerzas radiales. Con las fuerzas aplicadas activamente puede manipularse de forma controlada el comportamiento rotor-dinámico del rotor. Por ejemplo la activación del cojinete 30 magnético puede ajustarse individualmente a un estado de funcionamiento determinado de la turbomáquina. De este modo puede ajustarse las fuerzas aplicadas activamente, por ejemplo en dependencia de la densidad del fluido que circula por la turbomáquina, del número de revoluciones del rotor y/o de un comportamiento del cojinete magnético dependiente de la frecuencia y/o de otro anillo de estanqueidad 35 para cualquier punto de funcionamiento de la turbomáquina.

- 4 -

Aparte de esto, mediante una activación correspondiente del cojinete magnético puede reaccionarse ante un acontecimiento imprevisto, como por ejemplo un estado de inestabilidad en un cojinete, como por ejemplo oil-whip u oil-whirl en un cojinete de deslizamiento o un cojinete de deslizamiento hidrodinámico, por 5 ejemplo un cojinete de deslizamiento de segmento basculante radial, con el que está montado el rotor.

Mediante el cojinete magnético activado puede aplicarse casi cualquier fuerza activamente al rotor, de tal modo que puede dominarse tanto como cualquier estado rotor-dinámico todavía tan desfavorable del rotor.

10 De forma preferida el cojinete magnético presenta el rotor de cojinete magnético y el estator de cojinete magnético, en donde el rotor de cojinete magnético y/o el estator de cojinete magnético están ejecutados laberínticamente o como junta de hole pattern, a modo de honeycomb o como rendija plana, de tal modo que se aumenta la acción obturadora del cojinete magnético.

15 Mediante la ejecución laberíntica del estator de cojinete magnético y/o del rotor de cojinete magnético es mayor la resistencia a la circulación en la rendija, que está configurada entre el estator de cojinete magnético y el rotor de cojinete magnético, que en una ejecución plana. Por medio de esto es reducida la tasa de fugas del cojinete magnético.

20 La turbomáquina conforme a la invención presenta el rotor y el anillo de estanqueidad conforme a la invención para obturar el rotor.

El anillo de estanqueidad está asentado de forma preferida en un punto del rotor, en el que mediante el anillo de estanqueidad puede manipularse la característica rotor-dinámica del rotor. Mediante el anillo de estanqueidad pueden 25 amortiguar de forma preferida el modo de cuerpo rígido y/o la forma de flexión del rotor.

Por medio de esto puede aplicarse en este punto activamente una fuerza al rotor, en el caso de una activación correspondiente del cojinete magnético, de tal modo que mediante esta fuerza puede mejorarse el comportamiento rotor-dinámico 30 del rotor.

Si por ejemplo el rotor está enhebrado simétricamente y montado sobre sus regiones extremas longitudinales, este punto está situado por ejemplo fundamentalmente en el centro del rotor.

Es preferible que el anillo de estanqueidad se utilice para obturar la 35 turbomáquina respecto a la atmósfera, en especial respecto a una sobrepresión.

- 5 -

Alternativamente se prefiere que, cuando la turbomáquina presente al menos un émbolo de compensación, el émbolo de compensación presente el anillo de estanqueidad.

De este modo pueden preverse ventajosamente varios anillos de estanqueidad 5 sobre el rotor, que estén ejecutados como el cojinete magnético. Por medio de esto es posible ventajosamente ejercer en varios puntos del rotor, activamente, fuerzas sobre el rotor mediante el cojinete magnético, con lo que puede manipularse de forma correspondientemente amplia el comportamiento rotor-dinámico del rotor.

Si por ejemplo la turbomáquina es un turbocompresor, que presenta dos 10 etapas de presión del mismo tipo, que están dispuestas back-to-back, el turbocompresor está equipado normalmente en el centro del rotor con el émbolo de compensación. El émbolo de compensación presenta de forma preferida el anillo de estanqueidad, con el que el émbolo de compensación está obturado con respecto al rotor. Por medio de que el anillo de estanqueidad está ejecutado como el cojinete 15 magnético, pueden ejercerse de este modo en el centro del rotor activamente fuerzas sobre el rotor, en donde por naturaleza el rotor se dobla más intensamente en el centro del rotor. Por medio de esto puede manipularse bien el comportamiento rotor-dinámico del rotor, mediante el anillo de estanqueidad aplicado al émbolo de compensación.

20 La turbomáquina es de forma preferida el turbocompresor, de forma más preferida un compresor monoaxial y de forma especialmente preferida un compresor radial o un compresor axial.

A parte de esto es preferible que la turbomáquina el turbocompresor, de forma más preferida un compresor monoaxial y de forma especialmente preferida un 25 compresor radial o un compresor axial.

Además de esto es preferible que la turbomáquina sea una turbina de gas o una turbina de vapor.

A continuación se explica un ejemplo de ejecución preferido de la turbomáquina conforme a la invención, con base en los dibujos esquemáticos 30 adjuntos. La figura 1 muestra un corte longitudinal del ejemplo de ejecución de la turbomáquina.

Como puede verse en la figura 1, una turbomáquina está ejecutada como un turbocompresor monoaxial 1. El turbocompresor 1 está estructurado con una etapa ND 3 (etapa de baja presión) y una etapa HD 4 (etapa de alta presión). El 35 turbocompresor 1 está construido para comprimir gas y se utiliza en su modo

- 6 -

constructivo, por ejemplo, en la industria del petróleo y del gas. El gas se comprime primero en la etapa ND 3 y después en la etapa HD.

El turbocompresor 1 presenta una carcasa 2. La carcasa 2 presenta para la etapa ND 3 un caño de aspiración ND 5 y un caño de presión ND 6 y, para la etapa 5 ND 4, un caño de aspiración HD 7 y un caño de presión HD 8. El gas es aspirado por el caño de aspiración ND 5, se comprime en la etapa ND 3 y es entregado por el caño de presión ND 6. Después circula el gas a través de un refrigerador intermedio (no mostrado), en el que se refrigerara el gas. Después de esto el gas circula a través del caño de aspiración HD 7 hasta la etapa HD 4, para una compresión ulterior, y 10 después de esto es entregado por el caño de presión HD 8.

El turbocompresor 1 presenta un rotor 9, sobre el que están previstos un segmento para la etapa ND 3 y un segmento para la etapa HD 4. El rotor 9 presenta un árbol 10, que presenta a su vez un acoplamiento 11, sobre el que puede accionarse el rotor 9 mediante un accionamiento (no mostrado). El árbol 10 presenta dos 15 regiones extremas longitudinales vueltos uno hacia el otro, sobre las que el rotor 9 está montado mediante cojinetes radiales/axiales 12.

Para la etapa ND 3 el rotor 9 presenta cuatro ruedas motrices ND 13, y para la etapa HD 4 el rotor 9 presenta cuatro ruedas motrices HD 14. Corriente arriba de las ruedas motrices 13, 14 está previsto en cada caso un canal de retroalimentación, que 20 están formados en la etapa ND 3 por los suelos intermedios ND 15 y en la etapa HD 4 por los suelos intermedios HD 16.

Por fuera del turbocompresor 1 reina un entorno atmosférico. Sobre los cojinetes radiales/axiales 12 el rotor 9 está obturado respecto a la carcasa 2, hacia el entorno atmosférico, mediante juntas de gas ejecutadas como juntas laberínticas 17. 25 Las juntas de gas pueden estar ejecutadas también como juntas de anillo flotante o como juntas de anillo deslizante.

Las ruedas motrices ND 13 y las ruedas motrices HD 14 están enhebradas en disposición back-to-back sobre el árbol 10. Entre la etapa ND 3 y la etapa HD 4 está previsto un émbolo de compensación 18, que separa la etapa ND 3 de la etapa HD 4. 30 Durante el funcionamiento del turbocompresor 1 se aplica a un lado del émbolo de compensación 18 vuelto hacia la etapa ND 3 la presión final de la etapa ND 3, y al otro lado del émbolo de compensación 18 vuelto hacia la etapa HD 4 la presión final de la etapa HD 4. Por medio de esto se ajusta una diferencia de presión transversalmente al émbolo de compensación 18.

35 El émbolo de compensación 18 presenta un cojinete magnético 19, con el que está obturado el émbolo de compensación 18 con respecto al árbol 10. El cojinete

magnético 19 presenta un estator de cojinete magnético, que está instalado fijamente sobre el émbolo de compensación 18, y un rotor de cojinete magnético que está montado fijamente sobre el árbol 10. Entre el estator de cojinete magnético y el rotor de cojinete magnético está prevista una rendija, de tal modo que durante el 5 funcionamiento del turbocompresor 1 el rotor de cojinete magnético no roza con el estator de cojinete magnético. De forma correspondiente a la composición química y a la inflamabilidad del gas, el cojinete magnético 19 está ejecutado encapsulado o no encapsulado.

Provocada por la diferencia de presión transversalmente al émbolo de 10 compensación 18, durante el funcionamiento del turbocompresor 1 se ajusta una fuga de gas desde la etapa HD 4 a la etapa ND 3. La rendija está configurada con una anchura y una altura tales, que la fuga de gas es reducida.

El rotor 9 presenta en cada caso el mismo número de ruedas motrices ND 13 y ruedas motrices HD 14, precisamente cuatro, de tal modo el émbolo de 15 compensación 18 está asentado en el centro del rotor 9. En el centro del rotor 9 éste tiene, con relación al primer modo de flexión, la máxima amplitud de flexión durante el funcionamiento del turbocompresor 1.

El cojinete magnético 19 puede activarse desde fuera del turbocompresor 1 mediante un control (no mostrado), de tal modo que mediante el cojinete magnético 20 19 pueden aplicarse activamente fuerzas al árbol 10 y con ello al rotor 9. Por medio de que el cojinete magnético 19 está dispuesto en el centro del rotor 9, pueden aplicarse activamente fuerzas al rotor 9 exactamente allí en donde reina la máxima amplitud de flexión del rotor 9 durante el funcionamiento del turbocompresor. Por medio de esto pueden aplicarse por ejemplo fuerzas radiales y/o fuerzas tangenciales 25 al rotor, con lo que puede influirse efectivamente en el comportamiento rotor-dinámico del rotor 9. Con ello se usa el cojinete magnético 19 como un tercer cojinete y/o estabilizador (por ejemplo si sólo se aplican fuerzas tangenciales), junto a los dos cojinetes radiales/axiales 12 en el centro del rotor 9. Aparte de esto mediante el cojinete magnético 19 puede proporcionarse una amortiguación adicional 30 del rotor 9, con lo que pueden amortiguarse eficazmente oscilaciones laterales del rotor 9. Por medio de esto las oscilaciones axiales del rotor son reducidas, con lo que los elementos obturadores rotatorios del turbocompresor 1 tienen menos desgaste y con ello una vida útil más larga. Por ello las rendijas laberínticas pueden ejecutarse más pequeñas y por medio de esto reducirse las fugas y las cantidades circulatorias.

35 En general, la máxima longitud constructiva posible del rotor 9 está prefijada entre otras cosas mediante su comportamiento rotor-dinámico. Por medio de que el

- 8 -

cojinete magnético 19 actúa limitando las oscilaciones laterales del rotor 9, el rotor 9 puede preverse con una longitud constructiva que es mayor que la máxima longitud constructiva posible, que solamente sería posible si no estuviese previsto el cojinete magnético 19.

5 Aparte de esto, mediante el cojinete magnético pueden aplicarse al rotor 9 específicamente fuerzas tangenciales, con lo que puede actuarse en contra de las fuerzas obturadoras normalmente desestabilizadoras mediante el cojinete magnético 19.

- 9 -

LISTA DE SÍMBOLOS DE REFERENCIA

- | | |
|----|---------------------------|
| 1 | Turbocompresor |
| 2 | Carcasa |
| 5 | 3 Etapa ND |
| 4 | Etapa HD |
| 5 | Caño de aspiración ND |
| 6 | Caño de presión ND |
| 7 | Caño de aspiración HD |
| 10 | 8 Caño de presión HD |
| 9 | Rotor |
| 10 | Árbol |
| 11 | Acoplamiento |
| 12 | Cojinete radial o axial |
| 15 | 13 Rueda motriz ND |
| 14 | Rueda motriz HD |
| 15 | Suelo intermedio ND |
| 16 | Suelo intermedio HD |
| 17 | Junta laberíntica |
| 20 | 18 Émbolo de compensación |
| | 19 Cojinete magnético |

-10-

REIVINDICACIONES

- 1.- Turbomáquina con un rotor (9) y un anillo de estanqueidad (19) para obturar el rotor (9), en donde el anillo de estanqueidad está ejecutado como un cojinete magnético (19) para obturar el rotor (9), que puede activarse de tal modo que mediante el cojinete magnético (19) pueden aplicarse al rotor (9) fuerzas activamente, caracterizada porque la turbomáquina presenta al menos un émbolo de compensación (18) con la anillo de estanqueidad (19).
- 2.- Turbomáquina conforme a la reivindicación 1, en donde el cojinete magnético (19) presenta un rotor de cojinete magnético y un estator de cojinete magnético, en donde el rotor de cojinete magnético y/o el estator de cojinete magnético están ejecutados laberínticamente o como junta de hole pattern, a modo de honeycomb o como rendija plana, de tal modo que se aumenta la acción obturadora del cojinete magnético (19).
- 3.- Turbomáquina conforme a la reivindicación 1, en donde el anillo de estanqueidad (19) está asentado en un punto del rotor (9), en el que mediante el anillo de estanqueidad (19) puede manipularse la característica rotor-dinámica del rotor (9).
- 4.- Turbomáquina conforme a la reivindicación 3, en donde mediante el anillo de estanqueidad (19) pueden amortiguarse el modo de cuerpo rígido y/o la forma de flexión del rotor.
- 5.- Turbomáquina conforme a una de las reivindicaciones 2 a 4, en donde el anillo de estanqueidad (19) se utiliza para obturar la turbomáquina (1) respecto a la atmósfera, en especial respecto a una sobrepresión.
- 6.- Turbomáquina conforme a una de las reivindicaciones 2 a 5, en donde la turbomáquina (1) presenta al menos una rueda motriz, cuyos niveles de presión están obturados mutuamente por el anillo de estanqueidad (19).
- 7.- Turbomáquina conforme a una de las reivindicaciones 2 a 6, en donde la turbomáquina es un turbocompresor (1).
- 8.- Turbomáquina conforme a la reivindicación 7, en donde el turbocompresor es un compresor monoaxial (1).
- 9.- Turbomáquina conforme a la reivindicación 8, en donde el turbocompresor es un compresor radial (1) o un compresor axial.
- 10.- Turbomáquina conforme a una de las reivindicaciones 2 a 7, en donde la turbomáquina es una turbina de gas o una turbina de vapor.

Sigue una hoja de dibujos.

-11-

