



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 338 914**

51 Int. Cl.:
H02N 2/10 (2006.01)
H01L 41/09 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06114653 .6**
96 Fecha de presentación : **29.05.2006**
97 Número de publicación de la solicitud: **1729404**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **06.12.2006**

54 Título: **Perfeccionamientos en los rotores de motores de alta potencia.**

30 Prioridad: **31.05.2005 FR 05 05474**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
13.05.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
13.05.2010

73 Titular/es: **SAGEM Défense Sécurité**
Le Ponant de Paris - 27, rue Leblanc
75015 Paris, FR

72 Inventor/es: **D'Almeida, Oscar;**
Woydt, Mathias y
Audren, Jean-Thierry

74 Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

ES 2 338 914 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

Perfeccionamientos en los rotores de motores de alta potencia.

5 **Campo técnico general**

La presente invención se refiere a la aplicación de materiales en unos motores de alta potencia o de vibraciones.

Más precisamente, la invención se refiere a la aplicación de materiales para dos cuerpos en unos motores de alta potencia o de vibraciones, estando el primer cuerpo (patín) puesto en contacto en rozamiento en seco con el segundo cuerpo (rotor), estando unos materiales de fricción en la interfaz entre estos dos cuerpos.

Estado de la técnica

Algunos motores de alta potencia utilizan en su funcionamiento las propiedades de elongación de materiales activos. Estos materiales pueden por ejemplo ser unos materiales del tipo piezoeléctrico, del tipo magnetostrictivo, electrostrictivo, etc.

Dichos motores son conocidos en particular a partir del documento FR 2 782 420.

Las figuras 1 y 2 representan esquemáticamente un ejemplo conocido de un motor 2 de alta potencia que comprende unos bloques 4a, 4b, 5a, 5b de forma sustancialmente circular, y dos rotores 1a y 1b, estando uno interpuesto entre los bloques 4a y 4b, y el otro entre los bloques 5a y 5b.

Los rotores 1a y 1b están montados sobre un árbol común 3.

Los bloques 4a, 4b, 5a, 5b comprenden unos lóbulos 6 apropiados para ser puestos en contacto con los rotores 1a y 1b.

Los bloques 4a, 4b, 5a, 5b comprenden unos elementos en materiales activos 7 interpuestos entre los lóbulos 6, y que sufren unas elongaciones en el plano de los bloques, con el fin de poner en movimiento los lóbulos 6.

Los bloques más internos 4a y 5a están unidos entre sí, por medio de los lóbulos 6, por los elementos 8 en materiales activos. Estos elementos son apropiados para deformarse y desplazar los lóbulos 6 según el sentido de las flechas visibles en la figura 2.

Los bloques más externos 4b y 5b están unidos al cárter del motor 2, por medio de los lóbulos 6, por unos elementos 9 que forman resortes.

Las elongaciones sincronizadas de los elementos 7 y 8 permiten poner en rotación los rotores 1a y 1b, en particular por la presencia de rozamiento entre los lóbulos 6 y los rotores 1a y 1b.

La figura 3 muestra esquemáticamente que los lóbulos 6 comprenden una parte principal 12, unida a un patín de contacto 11 por unos elementos intermedios 10 que presentan unas propiedades elásticas.

El hecho de que la parte principal no esté directamente en contacto con los rotores 1a y 1b, y que una parte intermedia 10 presente unas propiedades de deformación elástica permite aumentar el rendimiento del motor de vibraciones. En efecto el conjunto 12, 10, 11 forma un conjunto doble masa-resorte representado en la figura 4.

Si los patines de contacto 11 están dimensionados correctamente, el rendimiento del motor de vibraciones aumenta en gran manera. En la continuación de la presente descripción, se denominará asimismo masa centrífuga a los patines de contacto, con referencia al hecho de que los patines representan unas masas centrífugas en el conjunto doble masa-resorte de la figura 4.

Así, la masa centrífuga, que tiene una masa limitada y fija para obtener un buen rendimiento de utilización del motor, presenta en su superficie una capa rozante, en contacto con un rotor. El espesor de la masa centrífuga es del orden de 2 mm. Como variante, la masa centrífuga puede rozar directamente sin la presencia de una capa rozante.

Generalmente, los elementos intermedios 10 presentan una conductividad térmica λ baja ($\lambda < 0,5$ W/mK).

Los motores de vibraciones representan un atractivo para los accionadores intermitentes, como por ejemplo los sistemas de trenes de aterrizaje, de puertas del compartimento de carga, de timones y de flaps. Se utilizan entonces en sustitución de los circuitos hidráulicos o neumáticos, que exigen unos líquidos que tienen unos puntos de congelación inferiores a -60°C . Ahora bien los líquidos presentan riesgos de inflamación, deben ser vaciados y desechados regularmente. Los motores de vibraciones se utilizan asimismo en sustitución de los motores eléctricos que utilizan unos materiales ferromagnéticos féreos que comprenden unos reductores de velocidad de engranajes.

Los sistemas que comprenden unos accionadores intermitentes necesitan un alto par a baja velocidad.

ES 2 338 914 T3

La solicitud FR 2 819 650 propone unos pares de fricción en unos accionadores lineales cuya estructura y aplicación son muy diferentes de las de los motores de alta potencia. Sin embargo, los pares de fricción de la solicitud FR 2 819 650 tienen unas propiedades estables en función de las condiciones de funcionamiento. Dichos pares de fricción son solicitados sin deslizamiento por aplastamiento elástico de las microasperezas. En efecto, se utilizan en unos sistemas de bloqueo cuyo objetivo es evitar el deslizamiento del microcontacto. No poseen propiedades de disipación calorífica importantes, puesto que no tienen que disipar las cantidades de calor importantes inducidas por unas fases de deslizamiento.

Por otra parte, la duración de funcionamiento acumulada de un avión civil es del orden de 48.000 horas de vuelo. Para los materiales de fricción de la masa centrífuga y del rotor de un motor de alta potencia, esto representa unas sollicitaciones con vida acumulada de 2.000 horas. Son precisos por tanto unos porcentajes de desgaste k_v inferiores a 3×10^{-8} mm³/Nm. Se recuerda que el porcentaje de desgaste se utiliza internacionalmente en Tribología para calificar el comportamiento al desgaste. Está definido por el volumen de desgaste dividido entre la carga normal y la distancia de deslizamiento relacionada con el volumen de desgaste. Estos porcentajes de desgaste deben ser independientes de la temperatura y de las condiciones de utilización, así como independientes de la velocidad de deslizamiento. De la misma manera, para unas aplicaciones en unos vehículos industriales, incluso si las horas de funcionamiento están generalmente limitadas a 20.000 horas, la vida acumulada se sitúa asimismo alrededor de 2.000 horas.

Se habrá comprendido que las especificaciones técnicas de un motor de alta potencia menciona por tanto unos bajos porcentajes de desgaste y altos coeficientes de rozamiento. Además, los materiales de fricción deben presentar unas propiedades caloríficas, y en particular de difusividad térmica κ [en mm²/s] importantes para los materiales sobre todo del rotor.

En efecto, la temperatura de Curie limita el efecto activo, en particular piezoeléctrico. Así, si la temperatura se eleva de forma demasiado importante en el motor de alta potencia, y su funcionamiento se altera. La obligación de no alcanzar la temperatura de Curie limita la temperatura de calentamiento de la masa centrífuga aproximadamente a 150°C y la del rotor a 200°C. El rotor puede tolerar una temperatura más importante puesto que no está unido a unos elementos sensibles a la temperatura, en particular unos materiales piezoeléctricos, y puesto que está unido a un eje que constituye un medio para disipar el calor más rápidamente.

La subida de temperatura por encima de las temperaturas de Curie de los materiales piezoeléctricos no puede ser despreciada en una aplicación de largo accionamiento, que genera hasta varios centenares de Kjoules a disipar. Independientemente de la concepción y del modo de funcionamiento, los materiales elegidos para los patines/masas centrífugas y para el rotor deben ser capaces de almacenar el máximo del calor debido a las pérdidas de fricción, puesto que un enfriado de los elementos de materiales activos por ventilación o aireación no es posible.

El documento FR 2 844 933 propone por una parte unos materiales de fricción y capas de fricción que responden al mismo tiempo a varias obligaciones. Los materiales de las capas de fricción presentan:

- buenas propiedades de rozamiento y bajos porcentajes de desgaste;
- buenas propiedades caloríficas;
- una buena repartición del flujo de calor;
- buenas propiedades mecánicas, en particular una buena resistencia a la fatiga; y
- buenas propiedades anticorrosión.

El documento FR 2 844 933 propone por otra parte unos materiales para las masas centrífugas/patines así como para el rotor/disco.

Para las masas centrífugas/patines, los materiales propuestos por el documento FR 2 844 933 tienen una capacidad másica térmica superior a 0,5 J/g/K. Se trata en particular preferentemente:

- del MgO-ZrO₂,
- de la alúmina reforzada con zirconia,
- del (Ti,Mo)(C,N) con unos ligantes con 8 a 20% en peso de NiMo (tipo TM 8, 10 ó 20 por ejemplo),
- del SiSiC,
- del WC-6Ni y/o,
- del AlN.

ES 2 338 914 T3

Para el rotor/disco, se trata de materiales monolíticos que tienen una capacidad térmica volumétrica superior a 2,5 J/cm³/K, en particular preferentemente:

- el (Ti,Mo)(C,N) con unos ligantes con 8 a 20% en peso de NiMo(tipo TM 8, 10 ó 20 por ejemplo);
- el WC-6Ni;
- el AlN;
- el SiSiC,
- las fundiciones grises globulares, lamelares y en temple bainítico,
- los aceros del tipo Z6CND16-05-01 y del tipo X5CrNiCu15-5;
- las aleaciones AlSi+SiC/Al₂O₃;
- las aleaciones AlSi + dispersoides Al₄C₃/Al₂O₃;
- las aleaciones Al-Fe-V;
- el aluminio serie 6xxx en T8 y serie 7xxx,
- el TiAl₆V₄, DIN 3.7xxx.

El material para el rotor/disco puede eventualmente estar revestido por ejemplo por:

- unas fases magneli Ti_nO_{2n-1}, con 4≤n≤10, por ejemplo 40%Ti₄O₇/60%Ti₅O₉,
- 4-6Al₂O₃/6-4TiO₂,
- WC-17%Co,
- (Ti,Mo)(C,N) o el (Ti,W)(C,N) con unos ligantes Ni/Mo, y/o
- >75Cr₃C₂/₂<25NiCr.

La capacidad calorífica de los materiales para el rotor/disco no es óptima y se busca también mejorarla, en particular por una elección de materiales con más prestaciones que los dados a conocer en el documento FR 2 844 933.

Además, algunos de estos materiales no pueden ser utilizados en ciertos casos de temperaturas o de sollicitaciones. Por ejemplo, el inconveniente principal de las aleaciones de aluminio dadas a conocer en el documento FR 2 844 933, como las series 6xxx en T8 y 7xxx, así como AlSi, AlMg y AlZn reforzados o no reforzados, es la caída de la resistencia a la rotura con la temperatura. Esta caída limita la utilización de estas aleaciones a una temperatura máxima de 300°C, incluso 250°C. Además, existe el riesgo de formación de fases líquidas a partir de 370°C.

Además, el documento FR 2 844 933 solo prevé la repartición del calor de fricción entre el rotor/disco y el patín. La capacidad calorífica del conjunto rotor/disco sobre su árbol no es óptima y se busca también mejorarla. El documento FR 2 844 933 no prevé una estructura de dicho conjunto.

Por último, un motor en un sistema de seguridad es un sistema que debe funcionar siempre, en cualquier condición. Ahora bien, se ha constatado que las fases magneli Ti_nO_{2n-1}, con 4≤n≤10, se oxidan por encima de 360°C en presencia de aire para dar la fase estequiométrica TiO₂. Este fenómeno de oxidación se acelera en presencia de humedad.

Presentación de la invención

La invención propone evitar por lo menos uno de los inconvenientes citados.

Con este fin, la invención propone un sistema, en particular adaptado para los motores de alta potencia, que comprende por lo menos un rotor y unos medios que comprenden unos elementos activos apropiados para poner en rotación el/los rotor(es) por su deformación sincronizada, caracterizado porque el material del rotor se selecciona de entre:

- una aleación Al-Fe-V-Si, con entre 0,1 y 15% en peso de Fe, entre 0,3 y 15% en peso de V, entre 0,1 y 5% en peso de Si, siendo el resto Al; y/o,
- una aleación Al-Fe-Ce, con entre 0,1 y 15% en peso de Fe, entre 0,1 y 9% en peso de Ce, siendo el resto Al; y/o

ES 2 338 914 T3

- una aleación Al-Fe-Mo, con entre 0,1 y 15% en peso de Fe, entre 0,3 y 9% en peso de Mo, siendo el resto Al; y/o

- una aleación de Al-Yb/Gd y de tierras raras, con entre 1,0 y 20% en peso de Yb o de Gd, y entre 0,1 y 1,0% en peso de tierras raras; y/o

- una aleación Al-Fe-Cr-Ti, con entre 0,5 y 10% en átomos de Fe, entre 0,4 y 8% en átomos de Cr, entre 0,3 y 5% en átomos de Ti, siendo el resto Al; y/o

- una aleación Al-Fe-V, con entre 0,1 y 15% en peso de Fe, entre 0,1 y 5% en peso de V, siendo el resto Al, aleación que comprende unos granos afinados y homogeneizados y que comprenden una cantidad inferior a 0,3% en peso con respecto al peso total de la aleación de Mg, Zr, Ce y/o Sr (inoculación) y/o una cantidad inferior a 0,05% en peso de Ni, siendo la aleación preferentemente la aleación Al-12Fe-3V.

La invención se completa ventajosamente por las características siguientes, consideradas solas o según sus combinaciones posibles:

- la aleación es la aleación AA8009, a saber Al-8,5Fe-1,3V-1,7Si, y/o la aleación Al-8,3Fe-4,0Ce y/o Al-7,0Fe-6,0Ce y/o la aleación Al-8Fe-2Mo y/o la aleación Al14Yb4Y y/o la aleación Al84, 5Fe7Cr6,3Ti2,5;

- la aleación presenta unos granos afinados y homogeneizados y comprende una cantidad inferior a 0,3% en peso con respecto al peso total de la aleación de Mg, Zr, Ce y/o Sr (inoculación) y/o una cantidad inferior a 0,05% en peso de Ni;

- el material de cada rotor (1a; 1b) es tal que presenta una capacidad calorífica superior a 2 J/cm³/K;

- dichos medios de puesta en rotación del/de los rotor(es) comprenden por lo menos un lóbulo que presenta una masa centrífuga, siendo el material de cada masa centrífuga tal que presente una capacidad térmica másica Cp^{22C} superior a 0,35 J/g/K;

- el material de cada masa centrífuga comprende:

- (Ti,Mo)(C,N)+8-20% de ligante Ni/Mo (tipos TM 8, 10 ó 20 por ejemplo); y/o

- WC-6Ni; y/o

- alúmina reforzada con zircona; y/o

- AlN; y/o

- carburo de silicio infiltrado en el silicio SiSiC, con 8 a 20% en peso de silicio;

- MgO-ZrO₂; y/o

- alúmina reforzada con zircona; y/o

- nitruro de aluminio por sinterizado en caliente, y/o

- nitruro de aluminio por sinterizado a presión; y/o

- una fase magneli del tipo Ti_nO_{2n-1}, 4 ≤ n ≤ 10 siendo n un entero, o unas mezclas del tipo 40%Ti₄O₇/60Ti₅O₉;

- unas fundiciones grises globulares y/o unas fundiciones grises laminares y/o con un temple bainítico y/o aleadas con Cr, Mo, Al, V, Ti; y/o

- unos aceros del tipo Z6CND16-05-01; y/o

- unos aceros X5CrNiCu15-5; y/o

- unas aleaciones AlSi+SiC/Al₂O₃; y/o

- unas aleaciones AlSi + dispersoides Al₄C₃/Al₂O₃/TiB₂; y/o

- unas aleaciones Al-Fe-V; y/o

- unos aluminios serie 6xxx en T6 y superior o de serie 7xxx; y/o

- carburo de silicio infiltrado en el silicio SiSiC; y/o

ES 2 338 914 T3

- unas aleaciones de titanio del tipo UNS R5xxxx, tales como TiAl6V4.

- el material de cada masa centrífuga y de cada rotor está revestido con por lo menos una capa dura en proyección térmica por un material que comprende:

- un óxido de una aleación de Ti y de Cr, estando el óxido en forma de una solución sólida estabilizada y/o en forma de una solución sólida no estequiométrica; y/o

- WC-17%Co; y/o

- (Ti,Mo)(C,N) ó (Ti,W)(C,N)+ un ligante Ni/Mo; y/o

- $>75\text{Cr}_3\text{C}_2 / <25\text{NiCr}$; y/o

- $4\text{-}6\text{Al}_2\text{O}_3 / 6\text{-}4\text{TiO}_2$;

- la solución sólida estabilizada del óxido de la aleación de Ti y Cr se presenta en la forma $\text{Ti}_{n-2}\text{Cr}_2\text{O}_{2n-1}$ con $6 \leq n \leq 9$ y/o en el que la forma no estequiométrica del óxido de la aleación de Ti y de Cr se presenta en forma de la solución sólida de TiO_2 y de Cr_2O_3 , preferentemente en una forma seleccionada de entre: $\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$, $\text{Ti}_6\text{Cr}_2\text{O}_{15}$, $\text{Ti}_7\text{Cr}_2\text{O}_{17}$, $\text{Cr}_2\text{Ti}_8\text{O}_{11}$, $\text{Cr}_2\text{Ti}_5\text{O}_{13}$, $\text{Cr}_2\text{Ti}_4\text{O}_{11}$, $\text{Cr}_{0,12}\text{Ti}_{0,78}\text{O}_{1,74}$, $\text{Cr}_{0,222}\text{Ti}_{0,778}\text{O}_{1,889}$, $\text{Cr}_{0,286}\text{Ti}_{0,714}\text{O}_{1,857}$ ó $\text{Cr}_{0,46}\text{Ti}_{0,54}\text{O}_{1,71}$,

- las capas duras depositadas por proyección térmica presentan unas rugosidades aritméticas finales inferiores a $0,04 \mu\text{m}$, siendo el espesor de las capas mecanizadas superiores a $50 \mu\text{m}$ y/o en el que los valores de las rugosidades R_{pk} y R_{vk} de la norma DIN EN ISO 13565-2:1998 son inferiores a $0,030 \mu\text{m}$ y $0,070 \mu\text{m}$ respectivamente,

- el rotor y un árbol de rotación del rotor son monobloque y están compuestos por el mismo material;

- un cárter de protección del motor está unido al árbol de rotación y está compuesto por el mismo material que el rotor.

La invención presenta numerosas ventajas.

La capacidad del rotor/disco está mejorada debido a la elección de materiales que tienen una gran capacidad calorífica y una buena conducción térmica.

La capacidad calorífica del rotor/disco está también mejorada gracias a la conducción térmica hacia el árbol del motor (incluso gracias el cárter), que a su vez posee una masa térmica capaz de almacenar las pérdidas de fricción.

La mejora de la capacidad calorífica del rotor/disco por una parte y del conjunto rotor/disco + árbol (incluso cárter) por otra parte, hecha posible gracias a la utilización de aleaciones con una difusividad térmica κ [mm^2/s] elevada, tales como las aleaciones de aluminio, permite una mejor protección de los elementos en materiales activos 7, y por consiguiente una mejor seguridad y una duración de vida del motor más larga.

Además, el empleo de los materiales según la invención permite una fabricación más simple y menos onerosa de las piezas del motor.

Por último, la invención permite una utilización del motor en una gama de sollicitaciones, de temperaturas y de humedad más importantes.

Presentación de las figuras

Otras características, objetivos y ventajas de la invención se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la descripción siguiente puramente ilustrativa y no limitativa y que debe ser leída haciendo referencia a las figuras adjuntas, en las que:

- la figura 1, ya comentada, representa esquemáticamente una vista en alzado de un motor de alta potencia;

- la figura 2, ya comentada, representa esquemáticamente una vista de perfil de un motor de alta potencia;

- la figura 3, ya comentada, representa esquemáticamente una vista en sección de un lóbulo de un motor de vibraciones, y

- la figura 4, ya comentada, representa esquemáticamente el sistema de masas resortes constituido por el lóbulo de la figura 3.

Descripción detallada de la invención

Creación y absorción del calor

La creación de calor es muy importante en un motor de alta potencia, a causa del rozamiento en seco entre sus elementos constitutivos. Por ejemplo, un motor de alta potencia de una potencia mecánica de 5 kW produce una pérdida friccional de aproximadamente 4,5 kW. Puesto que el motor no está lubricado, todas las pérdidas friccionales son transformadas en calor. El calor producido debe ser almacenado por los materiales en contacto.

Además, los motores poseen generalmente una limitación de su relación entre potencia y masa. Esta relación es generalmente igual a 1 kW por kg. Así, el motor no posee mucha masa para poder absorber el calor de fricción producido.

Repartición del calor

La invención prevé mejorar la repartición del calor entre los diferentes elementos del motor de alta potencia.

Se recuerda que la difusividad térmica κ [en mm²/s] es la dimensión determinante en esta repartición.

El calor generado durante el accionamiento del motor se reparte entre las superficies del triboelemento “masa centrífuga-rotor”.

Se recuerda que el volumen del motor es fijo por concepción. Por el contrario, solamente la masa de la masa centrífuga está fijada por concepción, por ejemplo a 10 gramos cada una para una potencia de 5 kW a la salida del motor.

Así, un calor de 220.000 Joules se genera por ejemplo con una pérdida friccional de 4,5 kW durante un tiempo de accionamiento inferior a 50 segundos. Se puede obtener asimismo un valor del calor idéntico para una secuencia de varios accionamientos de algunos segundos.

La repartición de calor entre las diferentes superficies del triboelemento depende en primer lugar de la relación de las dos superficies en contacto.

La relación de las superficies rozantes entre por ejemplo una estructura que comprende 32 masas centrífugas (17.176 mm²) y por ejemplo los dos lados de dos rotores (50.990 mm²) de un motor de alta potencia es de aproximadamente 1:2,96.

Para calcular la repartición del flujo de calor q de rozamiento generado en el tribocontacto de los dos cuerpos deslizantes, se puede aplicar la fórmula (1) siguiente, puesto que las dos superficies no difieren demasiado una con respecto a la otra:

$$\frac{q_{\text{masa centrífuga}}}{q_{\text{2rotores}}} = \frac{\sqrt{\rho_1 \lambda_1 C_{p1}}}{\sqrt{\rho_2 \lambda_2 C_{p2}}} \quad (1)$$

en la que ρ representa la densidad del material considerado, λ la conductividad térmica y C_p la capacidad térmica másica.

Esta fórmula (1) es válida para dos triboelementos que tengan sustancialmente la misma superficie en contacto y que tengan unos flujos de calor q tales que

$$q_{\text{rotor}} + q_{\text{masa centrífuga}} = 1.$$

La fórmula (1) muestra que la repartición del calor depende en prioridad de las propiedades caloríficas de los materiales, tales como la conductividad, la capacidad térmica másica y la densidad volumétrica de los materiales de rozamiento. Se recuerda además que estas propiedades dependen de la temperatura.

Disipación del calor

Después de que las pérdidas friccionales han sido repartidas entre los elementos del motor de alta potencia, sus disipaciones resultan importantes.

ES 2 338 914 T3

Se recuerda que una gran cantidad de calor se crea en la interfaz entre la masa centrífuga y el disco. Cada masa centrífuga es próxima a los materiales activos y/o de una cola por ejemplo, todos sensibles al calor. Por ejemplo la cola será del tipo poliamida cuya temperatura de transición vítrea es del orden de 150°C. Así, para la masa centrífuga, se desea un material que posea a la vez una baja conductividad térmica y un gran calor másico. La baja conducti-

Así, para disipar por ejemplo 220.000 Joules entre los rotores y las masas centrífugas de un motor, se pueden elegir las masas centrífugas de los materiales previstos en el documento FR 2 844 933 y resumidos en la parte de introducción de la presente descripción.

El calor disipado en el conjunto de las masas centrífugas no debe exceder su capacidad calorífica, de manera que se cumpla la ecuación (2)

$$Q_{\text{masas centrífugas}} \geq Q_{\text{fricción}} \left(\frac{q_{\text{masas centrífugas}}}{q_{\text{discos}} + q_{\text{masas centrífugas}}} \right) \quad (2)$$

en la que $Q_{\text{fricción}}$ es el calor generado por rozamiento y $Q_{\text{masas centrífugas}}$ es la capacidad calorífica del conjunto de las masas centrífugas.

Para el rotor, la situación es inversa a la de la masa centrífuga. Cada masa centrífuga tiene una masa definida (10 gramos con $\pm 10\%$ por ejemplo). Por el contrario, solamente el volumen del rotor está definido por concepción.

El rotor/disco no está unido a unos elementos sensibles al calor. Por consiguiente, para el disco, se desea un material que posea a la vez una gran conductividad térmica y un gran calor másico. La gran conductividad térmica permite atraer hacia el disco un máximo del calor producido en la interfaz. El gran calor másico permite almacenar al máximo este calor transmitido al disco.

Los inventores han observado que las aleaciones de Al, de Fe y de por lo menos otro elemento (las aleaciones son por consiguiente anotadas AlFeXY, en la que X e Y representan unos elementos diferentes), comprendiendo las aleaciones por lo menos sustancialmente 80% en peso de Al y por lo menos entre 0,1 y 15,0% en peso de Fe, tenían unas propiedades interesantes de conductividad térmica y de capacidades calorífica y térmica, representadas en la tabla 1. Todos los valores de las capacidades caloríficas representadas en la tabla 1 lo son para unos rotores de diámetro de 179 mm x 5 mm (hay por tanto un volumen de 125,8 cm³ aproximadamente, sin embargo su espesor puede variar entre 4 y 7 mm aproximadamente) y para $\Delta T = 200$ K. El conocimiento de la variación de la temperatura ΔT permite obtener el valor absoluto de la cantidad de calor absorbida [kJ/dm³] por un material. La tabla 1 da un valor de 495 kJ/dm³. Esta cantidad o capacidad de acumulación de calor se debe considerar como un valor volumétrico, puesto que el espacio disponible para un rotor es independiente del material, y que las densidades varían en gran manera de una aleación a la otra.

TABLA 1

Materiales	Densidad [g/cm ³]	Conductividad térmica [W/mK]	Capacidad calorífica [kJ/kg] (kJ/dm ³)	Capacidad térmica volumétrica [J/cm ³ /K]	Funcionamiento máximo [°C]	Capacidad térmica másica [J/g/K]
AlFeXY	3,02	100	164 (495)	2,72	500	0,9 (1,1 a 500°C)

Estas propiedades interesantes se deben en particular al hecho de que el aluminio tiene una difusividad comprendida entre 70 y 80 mm²/s. A título de comparación, la fundición gris tiene una difusividad comprendida entre 10 y 15 mm²/s, el TiAl6V4 tiene una difusividad comprendida entre 2,9 y 3,2 mm²/s y el Inconel 718 tiene una difusividad comprendida entre 2,5 y 2,9 mm²/s.

El tipo de aleaciones de aluminio citado tiene unas capacidades caloríficas complementarias de las masas centrífugas.

ES 2 338 914 T3

Más precisamente, la aleación de Al, de Fe y de por lo menos otro elemento se selecciona de entre:

- 5 - una aleación Al-Fe-V-Si, con entre 0,1 y 15% en peso de Fe, entre 0,3 y 15% en peso de V, entre 0,1 y 5% en peso de Si, siendo el resto Al, siendo la aleación preferentemente la aleación AA 8009, a saber Al-8,5Fe-1,3V-1,7Si; y/o
- 10 - una aleación Al-Fe-Ce, con entre 0,1 y 15% en peso de Fe, entre 0,1 y 9% en peso de Ce, siendo el resto Al, siendo la aleación preferentemente la aleación Al-8,3Fe-4,0Ce y/o Al-7,0Fe-0,6Ce; y/o
- 15 - una aleación Al-Fe-V, con entre 0,1 y 15% en peso de Fe, entre 0,1 y 5% en peso de V, siendo el resto Al, siendo la aleación preferentemente la aleación Al-12Fe-3V; y/o
- 15 - una aleación Al-Fe-Mo, con entre 0,1 y 15% en peso de Fe, entre 0,3 y 9% en peso de Mo, siendo el resto Al, siendo la aleación preferentemente la aleación Al-8Fe-2Mo; y/o
- 20 - una aleación Al-Fe-Cr-Ti, con entre 0,5 y 10% en átomos de Fe, entre 0,4 y 8% en átomos de Cr, entre 0,3 y 5% en átomos de Ti, siendo el resto Al, siendo la aleación preferentemente la aleación Al84,5Fe7Cr6,3Ti2,5;
- 20 - una aleación de Al-Yd/Gd y de tierras raras con entre 1,0 y 20% en peso de Yb o de Gd, y entre 0,1 y 1,0% en peso de tierras raras, siendo la aleación preferentemente aleación Al14Yb4Y.

El experto en la materia sabe que existen varios procedimientos posibles de fabricación de una aleación. Así, es posible realizar las aleaciones citadas por solidificación rápida o atomización seguida de un trefilado, para alcanzar 25 unas resistencias a la rotura a temperatura ambiente hasta 1600 MPa con unas matrices de aluminio amorfizadas o parcialmente amorfizadas (mezcla cristalina-amorfa).

Sin embargo, estos procedimientos no resultan demasiado adecuados para una fabricación de grandes tonelajes y una fabricación de piezas complejas necesarias para una aplicación automóvil o aeronáutica. Además, la resistencia a 30 la rotura de las aleaciones realizadas en solidificación rápida disminuye después de un recocido y por encima de una temperatura de recrystalización, en general superior a 300-350°C.

Se ha propuesto por la presente invención realizar el rotor/disco en dicha aleación de aluminio en colada por gravedad o a presión, seguida de un degaseado bajo vacío en un molde precalentado entre 350 y 650°C. Este procedimiento 35 de fabricación puede ser adaptado a una fabricación de grandes tonelajes y a una fabricación de piezas complejas necesarias para una aplicación automóvil o aeronáutica.

Como variante, es posible fabricar el rotor/disco en dicha aleación de aluminio por colada en banda delgada seguida de laminado y recortado. Esta variante presenta la ventaja de una reducción del sobreespesor de las piezas (a título de 40 comparación, este sobreespesor es necesario en general con unas piezas de fundición) y disminuye tanto la necesidad de mecanizado de la pieza, lo que reduce los desechos de virutas, cuyo valor económico es considerable para las aleaciones de aluminio.

El empleo de los materiales según la invención permite una fabricación más simple y menos onerosa de las piezas 45 del motor.

Otra ventaja de realizar las piezas por colada es que la pieza “rotor-eje” puede ser monobloque. Así, el hecho de que el rotor + eje sea de una sola pieza favorece la transferencia de calor del rotor al eje que a su vez posee una masa térmica capaz de almacenar las pérdidas friccionales. Así, la capacidad calorífica del rotor/disco está así 50 mejorada gracias a la conducción térmica hacia el árbol del motor, que es también de un material que posee una gran capacidad calorífica. La colada del disco y del árbol en aleación de aluminio en una sola pieza representa una gran ventaja, que evita el ensamblaje de las dos piezas y no perturba el flujo del calor del disco/rotor hacia el eje. Se pueden mejorar también estas prestaciones realizando el cárter del motor en la misma aleación de aluminio y uniéndolo al árbol.

De manera preferida, las aleaciones de aluminio citadas pueden, justo antes de la colada, sufrir una etapa de afinado de grano y de homogeneización de los granos añadiendo a la aleación una cantidad inferior a 0,3% en peso con respecto al peso total de la composición de Mg, Zr, Ce y/o Sr (inoculación) y/o una cantidad inferior a 0,05% en peso de 55 níquel.

Para una aplicación en un motor y en comparación con una fundición gris, estas aleaciones de aluminio modificadas muestran, incluso realizadas solamente en colada y en colada en banda delgada, una buena resistencia a la rotura en caliente ($T < 500^{\circ}\text{C}$). Su resistencia a la rotura es en efecto comparable con la de la fundición gris con 3,7% en peso de C, a saber $R_{m}^{500^{\circ}\text{C}} \sim 100 \text{ MPa}$ y $R_{0,02}^{500^{\circ}\text{C}} \sim 40 \text{ MPa}$. Además ya no existe para estas aleaciones ninguna formación de 60 fases líquidas para una temperatura de fusión inferior a 600°C tal como es el caso en los sistemas Al-Si-Mg-Zn.

ES 2 338 914 T3

Los inventores han descubierto asimismo que el módulo elástico de la aleación Al84,5Fe7Cr6Ti2,5 realizada en colada por gravedad presenta un módulo de Young E con los valores

- a temperatura ambiente $E^{RT} = 104,1$ GPa; y

- a 500°C $E^{500^{\circ}\text{C}} = 83$ GPa

comparables con una fundición gris con 3,7% en peso de C. Se constata que estos valores son netamente superiores ($\sim 44\%$ a temperatura ambiente) a las aleaciones de aluminio dadas a conocer en el documento FR 2 844 933 (67-74 GPa de la aleaciones Al-Si, Al-Mg, Al-Zn-Mg, Al-Cu por ejemplo).

Una colada por gravedad de Al8,5Fe1,3V1,7Si presenta un módulo de Young E con los valores

- $E^{RT} = 85,7$ GPa, y

- $E^{500^{\circ}\text{C}} = 65$ GPa.

Estos resultados se obtienen sin la utilización de partículas, triquitos o fibras de cerámica.

Las aleaciones de aluminio modificadas en una aplicación de motor presentan una ganancia intrínseca en rigidez y en resistencia a la rotura en caliente asociadas a una temperatura de funcionamiento que alcanza 500°C . Se comprende que esto representa una gran ventaja técnica, pero también económica.

Muy preferentemente, los materiales de fricción de las masas centrífugas y/o del rotor/disco están revestidos de un material que permite aumentar su dureza. El material se aplica preferentemente como revestimiento por proyección térmica o se pega sobre la masa centrífuga monolítica y/o el rotor-disco como preconiza el documento FR 2 844 933.

Los inventores han constatado que los óxidos de una aleación de Ti y de Cr, estando los óxidos en forma de una solución sólida estabilizada y/o en forma de una solución sólida no estequiometría no adolecían del inconveniente de oxidación de los materiales del documento FR 2 844 933. Este fenómeno de oxidación está en efecto presente en las fases magneli $\text{Ti}_n\text{O}_{2n-1}$, con $4 \leq n \leq 10$ por ejemplo.

La solución sólida estabilizada del óxido de la aleación de Ti y de Cr se presenta preferentemente en la forma $\text{Ti}_{n-2}\text{Cr}_2\text{O}_{2n-1}$ siendo $6 \leq n \leq 9$.

La forma no estequiometría del óxido de la aleación de Ti y Cr se presenta preferentemente en forma de una solución sólida de TiO_2 y Cr_2O_3 . Muy preferentemente dicha solución sólida está en una forma seleccionada de entre: $\text{Cr}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$, $\text{Ti}_6\text{Cr}_2\text{O}_{15}$, $\text{Ti}_7\text{Cr}_2\text{O}_{17}$, $\text{Cr}_2\text{Ti}_8\text{O}_{11}$, $\text{Cr}_2\text{Ti}_5\text{O}_{13}$, $\text{Cr}_2\text{Ti}_4\text{O}_{11}$, $\text{Cr}_{0,12}\text{Ti}_{0,78}\text{O}_{1,74}$, $\text{Cr}_{0,222}\text{Ti}_{0,778}\text{O}_{1,889}$, $\text{Cr}_{0,286}\text{Ti}_{0,714}\text{O}_{1,857}$ ó $\text{Cr}_{0,46}\text{Ti}_{0,54}\text{O}_{1,77}$.

Microcontacto “pegado” (o “stick”) y “deslizamiento” (o “slip”)

El contacto del tribosistema del motor de alta potencia efectúa un movimiento rotativo elíptico, con una evolución de presión y de velocidad de deslizamiento.

Asimismo, el material de cada masa centrífuga y de cada rotor es revestido en proyección térmica por un material que comprende:

- WC-17% Co; y/o

- (Ti,Mo)(C,N) ó (Ti,W)(C,N)+ un ligante Ni/Mo, y/o

- $>75 \text{ Cr}_3\text{C}_2 / <25 \text{ NiCr}$; y/o

- $4-6 \text{ Al}_2\text{O}_3 / 6-4 \text{ TiO}_2$.

El movimiento se descompone en dos fases. Una fase “de ida”, con deslizamiento y pseudopegado. Durante esta fase, la presión alcanza su máximo (12 Mpa para un coeficiente de rozamiento de 0,2) a una velocidad relativa baja (0,5 m/s máximo, y después una tendencia hacia 0). Esta fase corresponde a una transmisión de potencia o de par. Otra fase “de vuelta” en la que la velocidad de deslizamiento alcanza su máximo (aproximadamente 2,5 m/s) en el sentido opuesto al anterior o contra la dirección de rotación del rotor. Durante esta fase, la presión desciende a los alrededores de 2 MPa. La duración total de un ciclo es de $50 \mu\text{s}$.

La tabla 2 muestra un recorte de un ciclo a 20 kHz de $50 \mu\text{s}$ en varios periodos de funcionamiento que se llaman “fases”. Este recorte ha sido efectuado para un motor de una potencia mecánica de 5 kW.

ES 2 338 914 T3

El recortado de un ciclo según la tabla 2 muestra dos modos de contacto para el desplazamiento de las microasperezas en la superficie de los materiales. En primer lugar, el contacto puede efectuarse según una deflexión elástica de las asperezas, denominada en este caso “pegado” (o “stick” según la terminología anglosajona utilizada generalmente por el experto en la materia). En segundo lugar, el contacto puede efectuarse según un deslizamiento total (o “sliding” o “slip” según la terminología anglosajona utilizada generalmente por el experto en la materia).

TABLA 2

Cantidad	Ida			Vuelta		
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 6
P_{media} [Mpa]	9	11	8	5	2	2
Velocidad de deslizamiento media [m/s]	0,37	0,012	0,064	-0,0065	-1	-1,66
Desplazamiento relativo [μ m]	3,92	0,108	0,422	0,001	10,8	19,3
Modo del movimiento	Deslizamiento	Pegado	Pegado	Pegado	Deslizamiento	Deslizamiento
Duración de la fase [μ s]	10,6	8,8	6,6	1,6	10,8	11,6
Distancia de deslizamiento durante la Ida y la Vuelta de una onda [μ m]	4,45			30,1		
Velocidad de deslizamiento media [m/s]	0,17			-1,25		
Pérdida calorífica para un coeficiente de rozamiento=0,30 [W/mm ²]	0,11	0,039	0,15	<0,01	0,6	<1,2

Para unos desplazamientos inferiores a $0,42 \mu\text{m}$, las microasperezas se pegan y no deslizan. Las mismas son resistentes a la fatiga, puesto que son solicitadas elásticamente. En este caso de respuesta elástica de las microasperezas sin deslizamiento, o en el modo de pegado, la energía de fricción disipada es nula. Las escasas pérdidas se sitúan a nivel de las pequeñas pérdidas anelásticas de deformación de las microasperezas.

La vuelta de la masa centrífuga durante la segunda fase del ciclo se efectúa con unas densidades caloríficas del orden de 1 W/mm^2 , permaneciendo al mismo tiempo inferiores a este valor, bajo unas velocidades de deslizamiento del orden de $1,7 \text{ m/s}$, permaneciendo al mismo tiempo inferiores a este valor.

Para solicitar bien las microasperezas elásticamente, y sin rotura del contacto, siendo este comportamiento típico de los estados de superficies “pulidas”, el radio de curvatura de las microasperezas debe ser “grande”. Dicho radio de curvatura se obtiene por mecanizado. Bajo unas grandes velocidades de deslizamiento (del orden de $1,66 \text{ m/s}$), el tribosistema se “autorrodará”. Presentará un estado de superficie con una rugosidad de funcionamiento particular. Los radios de curvatura de las asperezas tienen unos valores determinados por la velocidad. Así, el mecanizado permite obtener una topografía predeterminada por unos ensayos sobre motores. Las capas (duras) depositadas por proyección térmica deben ser mecanizadas hacia unas rugosidades aritméticas finales inferiores a $0,04 \mu\text{m}$. Esta rugosidad permite eliminar una acción abrasiva y minimizar el autorrodado (o “runnig-in” según la terminología anglosajona utilizada generalmente). Preferentemente, puesto que los revestimientos presentan una porosidad comprendida entre 1% en volumen y 4% en volumen, los valores de las rugosidades R_{pk} y R_{vk} (definidas según la norma DIN EN ISO 13565-2:1998) deben ser inferiores a $0,030 \mu\text{m}$ y $0,070 \mu\text{m}$ respectivamente. El espesor de las capas mecanizadas (espesor funcional) depositadas por proyección térmica es superior a $50 \mu\text{m}$ y preferentemente superior a $200 \mu\text{m}$.

Los desarrollos anteriores se aplican por tanto al modo de contacto pegado combinado con la velocidad de deslizamiento del orden de aproximadamente $1,25 \text{ m/s}$.

La determinación de los valores de topografía de las superficies rozantes después de los ensayos en un motor real representa el único método para reducir el porcentaje de desgaste inicial. Así, si las asperezas son solicitadas elásticamente, la topografía permanece invariable en el tiempo.

Caso particular de motor de alta potencia

Los desarrollos siguientes se aplican ventajosamente a unos casos de motores de alta potencia que producen unas cantidades de calor de 220.000 Joules durante un accionamiento de un motor de alta potencia de 5 kW .

Se resume en los desarrollos siguientes el conjunto de las características que deben presentar los materiales de fricción.

ES 2 338 914 T3

Propiedades tribológicas

Los materiales o los revestimientos deben presentar un coeficiente de rozamiento estático y dinámico comprendido entre 0,2 y 0,8, en particular pueden tener un valor comprendido preferentemente entre 0,5 y 0,8.

Además, deben presentar unos porcentajes de desgaste k_v superiores a $1 \times 10^{-8} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ para una cantidad de calor Q igual a 220.000 Joules con 2.000 horas de vida acumulada.

Así estos valores son:

- invariables con la humedad relativa;
- invariables a la temperatura, y esto hasta 200°C; e
- invariables a unas presiones de contacto nominal P inferiores a 12 MPa.

Los valores de coeficiente de rozamiento y de porcentaje de desgaste no deben nunca ser inferiores a los valores mínimos en función de la temperatura, de la presión y de la humedad relativa.

Además, los pares no deben presentar mecanismos de desgaste de adhesión.

Además, los coeficientes de rozamiento estáticos son superiores a los coeficientes de rozamiento dinámicos.

Propiedades mecánicas

Los materiales o los revestimientos deben presentar una resistencia a la fatiga, y hasta $1,4 \times 10^{11}$ ciclos para 2.000 horas acumuladas.

Los materiales o los revestimientos deben presentar una resistencia a la cizalladura en la interfaz de los revestimientos que tiene un valor superior a 12 MPa.

Propiedades caloríficas

Los primeros puntos tratados a continuación caracterizan el hecho de que se desea limitar a la temperatura de la masa centrífuga o del rotor.

Caso de la masa centrífuga (masa constante)

La misma debe presentar una capacidad térmica mísica C_p^{22c} superior a 0,35 J/g/K y preferentemente superior o igual a 0,5 J/g/k.

Alternativamente, preferentemente, para un aumento de la temperatura de $\Delta T=150\text{K}$, la misma debe presentar una capacidad térmica mísica C_p^{22c} superior a 52,5 J/g. Estos valores se derivan del documento FR 2 844 933.

Debe observarse que en un futuro relativamente próximo, una evolución de los materiales activos, en particular piezoeléctricos, permitirá sin duda unas temperaturas de Curie más elevadas.

Caso del rotor (volumen constante)

Si el rotor está ideado para poder acumular el máximo de calor, entonces debe presentar una capacidad calorífica superior a $2 \text{ J/cm}^3/\text{K}$ o sea 400 J/cm^3 para $\Delta T=200\text{K}$. Preferentemente, la misma será superior o igual a $2,5 \text{ J/cm}^3/\text{K}$ o sea 500 J/cm^3 para $\Delta T=200 \text{ K}$. Con los materiales de la presente invención, la tabla 1 da un valor de $2,72 \text{ J/cm}^3/\text{K}$.

Las condiciones anteriores sobre las masas centrífugas y los rotores son alternativas. Asimismo, las mismas pueden preferentemente ser acumulativas, cumpliendo, los rotores y las masas centrífugas entonces una de las condiciones anteriores respectivamente.

Si por el contrario el rotor está ideado para minimizar su peso, entonces la relación capacidad calorífica/peso del rotor debe ser superior a 70 J/g para un aumento de temperatura de $\Delta T=200 \text{ K}$.

El punto siguiente caracteriza el hecho de que se desea una capacidad de acumulación del calor máxima para la masa centrífuga.

Relación las difusividades

El calor friccional disipado en el conjunto de las masas centrífugas no debe exceder la capacidad calorífica de las masas centrífugas $Q_{\text{masas centrífugas}}$ para $\Delta T=150 \text{ K}$ respetando la ecuación (2).

ES 2 338 914 T3

El último punto caracteriza el hecho de que se desea minimizar la temperatura de la masa centrífuga.

Relación de distribución de los flujos de calor

- 5 La temperatura de la masa centrífuga se minimiza mediante una maximización de la relación de la distribución del flujo de calor hacia el rotor, estando esta repartición de acuerdo con la ecuación (1).

Resistencia a la corrosión

- 10 Todos los materiales y capas de revestimiento deben ser resistentes a largo plazo, o insensibles a la corrosión y a la humedad. Pueden presentar además unas propiedades de pasivación.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Sistema, adaptado en particular para los motores de alta potencia, que comprende por lo menos un rotor (1a; 1b) y unos medios (4a, 4b; 5a, 5b) que comprenden unos elementos activos (7, 8) apropiados para poner en rotación el/los rotor(es) (1a; 1b) por su deformación sincronizada, **caracterizado** porque el material del rotor se selecciona de entre:
- una aleación Al-Fe-V-Si, con entre 0,1 y 15% en peso de Fe, entre 0,3 y 15% en peso de V, entre 0,1 y 5% en peso de Si, siendo el resto Al; y/o
 - una aleación Al-Fe-Ce, con entre 0,1 y 15% en peso de Fe, entre 0,1 y 9% en peso de Ce, siendo el resto Al; y/o
 - una aleación Al-Fe-Mo, con entre 0,1 y 15% en peso de Fe, entre 0,3 y 9% en peso de Mo, siendo el resto Al; y/o
 - una aleación de Al-Yb/Gd y de tierras raras, con entre 1,0 y 20% en peso de Yb o de Gd, y entre 0,1 y 1,0% en peso de tierras raras; y/o
 - una aleación Al-Fe-Cr-Ti, con entre 0,5 y 10% en átomos de Fe, entre 0,4 y 8% en átomos de Cr, entre 0,3 y 5% de átomos de Ti, siendo el resto Al; y/o
 - una aleación Al-Fe-V, con entre 0,1 y 15% en peso de Fe, entre 0,1 y 5% en peso de V, siendo el resto Al, comprendiendo la aleación unos granos afinados y homogeneizados y comprendiendo una cantidad inferior a 0,3% en peso con respecto al peso total de la aleación de Mg, Zr, Ce y/o Sr (inoculación) y/o una cantidad inferior a 0,05% en peso de Ni, siendo la aleación preferentemente la aleación Al-12Fe-3V.
2. Sistema según la reivindicación anterior, en el que la aleación es la aleación AA 8009, a saber Al-8,5Fe-1,3V-1,7Si, y/o la aleación Al-8,3Fe-4,0Ce y/o Al-7,0Fe-6,0Ce y/o la aleación Al-8Fe-2Mo y/o la aleación Al-14Yb-4Y y/o la aleación Al-84,5Fe-7Cr-6,3Ti-2,5.
3. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la aleación presenta unos granos afinados y homogeneizados y comprende una cantidad inferior a 0,3% en peso con respecto al peso total de la aleación de Mg, Zr, Ce y/o Sr (inoculación) y/o una cantidad inferior a 0,05% en peso de Ni.
4. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el material de cada rotor (1a; 1b) es tal que presenta una capacidad calorífica superior a $2 \text{ J/cm}^3/\text{K}$.
5. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de puesta en rotación del/de los rotor(es) comprenden por lo menos un lóbulo (6) que comprende una masa centrífuga (11), siendo el material de cada masa centrífuga (11) tal que presenta una capacidad térmica másica C_p^{22c} superior a $0,35 \text{ J/g/K}$.
6. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el material de cada masa centrífuga (11) comprende:
- $(\text{Ti}, \text{Mo})(\text{C}, \text{N}) + 8\text{-}20\%$ de ligante Ni/Mo; y/o
 - WC-6Ni; y/o
 - alúmina reforzada con circonita; y/o
 - el AlN; y/o
 - carburo de silicio infiltrado en el silicio SiSiC, con 8 a 20% en peso de silicio; y/o
 - MgO-ZrO_2 ; y/o
 - alúmina reforzada con circonita; y/o
 - nitrato de aluminio por sinterización en caliente; y/o
 - nitrato de aluminio por sinterizado a presión, y/o
 - una fase magnesi en forma de $\text{Ti}_n\text{O}_{2n-1}$, en la que $4 \leq n \leq 10$ siendo n un entero, o en forma de mezcla del tipo $40\% \text{Ti}_4\text{O}_7/60\% \text{Ti}_5\text{O}_9$,
 - unas fundiciones grises globulares y/o unas fundiciones grises lamelares y/o con un temple bainítico y/o aleadas con Cr, Mo, Al, V, Ti; y/o
 - unos aceros del tipo Z6CND16-05-01; y/o

ES 2 338 914 T3

- unos aceros del tipo X5CrNiCu15-5; y/o

- unas aleaciones AlSi+SiC/Al₂O₃; y/o

5 - unas aleaciones AlSi+ unos dispersoides Al₄C₃/Al₂O₃/TiB₂; y/o

- unas aleaciones Al-Fe-V; y/o

10 - aluminios de la serie 6xxx en T6, y superiores, o de la serie 7xxx; y/o

- carburo de silicio infiltrado en el silicio SiSiC; y/o

- unas aleaciones de titanio del tipo UNS R5xxxx.

15 7. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el material de cada masa centrífuga (11) y de cada rotor (1a; 1b) está revestido con por lo menos una capa dura en proyección térmica por un material que comprende:

- un óxido de una aleación Ti y de Cr, estando el óxido en forma de una solución sólida estabilizada y/o en forma de una solución sólida no estequiométrica; y/o

20 - WC-17%Co; y/o

- (Ti,Mo)(C,N) o (Ti,W)(C,N)+ un ligante Ni/Mo; y/o

25 - >75 Cr₃C₂/ <25 NiCr; y/o

- 4-6Al₂O₃/6-4 TiO₂

30 8. Sistema según la reivindicación anterior, en el que la solución sólida estabilizada del óxido de la aleación de Ti y de Cr se presenta en forma Ti_{n-2}Cr₂O_{2n-1} siendo $6 \leq n \leq 9$ y/o en el que la forma no estequiométrica del óxido de la aleación de Ti y de Cr se presenta en forma de una solución sólida de TiO₂ y Cr₂O₃, preferentemente en una forma seleccionada de entre: Cr₂Ti₂O₇, Ti₆Cr₂O₁₅, Ti₇Cr₂O₁₇, Cr₂Ti₈O₁, Cr₂Ti₅O₁₃, Cr₂Ti₄O₁₁, Cr_{0,12}Ti_{0,78}O_{1,74}, Cr_{0,222}Ti_{0,778}O_{1,889}, Cr_{0,285}Ti_{0,714}O_{1,857} ó Cr_{0,46}Ti_{0,54}O_{1,77}

35 9. Sistema según una de las reivindicaciones 7 u 8, en el que las capas duras depositadas por proyección térmica presentan unos valores de rugosidades aritméticas finales inferiores a 0,04 μ m, siendo el espesor de las capas mecanizadas superior a 50 μ m y/o en el que los valores de las rugosidades R_{pK} y R_{vK} definidos en la norma DIN EN ISO 13565-2:1998 son inferiores a 0,030 μ m y 0,070 μ m respectivamente.

40 10. Sistema según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el rotor (1a, 1b) y un árbol (3) de rotación del rotor son monobloque y están compuestos por el mismo material.

11. Sistema según la reivindicación anterior, en el que un cárter (2) de protección del motor está unido al árbol de rotación (3) y está compuesto por el mismo material que el rotor.

45

50

55

60

65

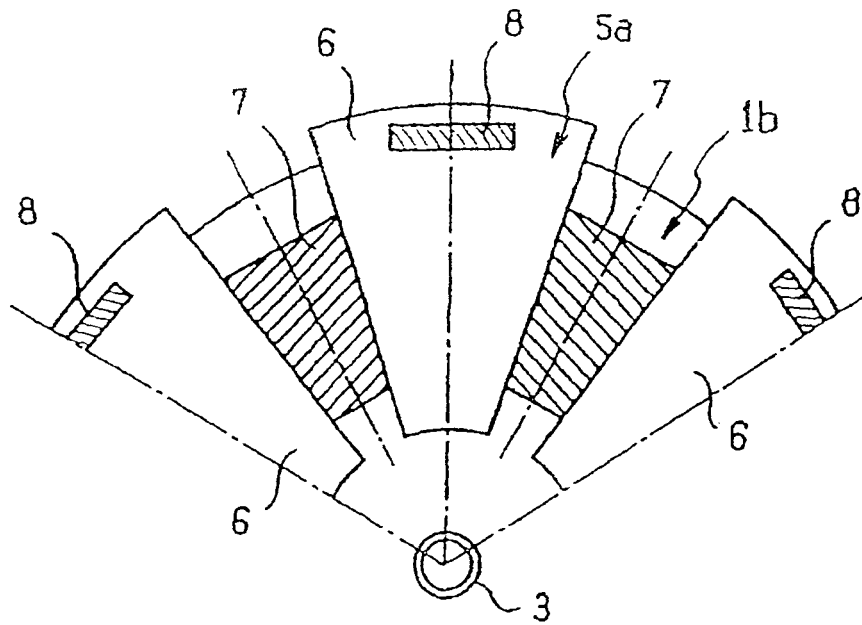


FIG. 1

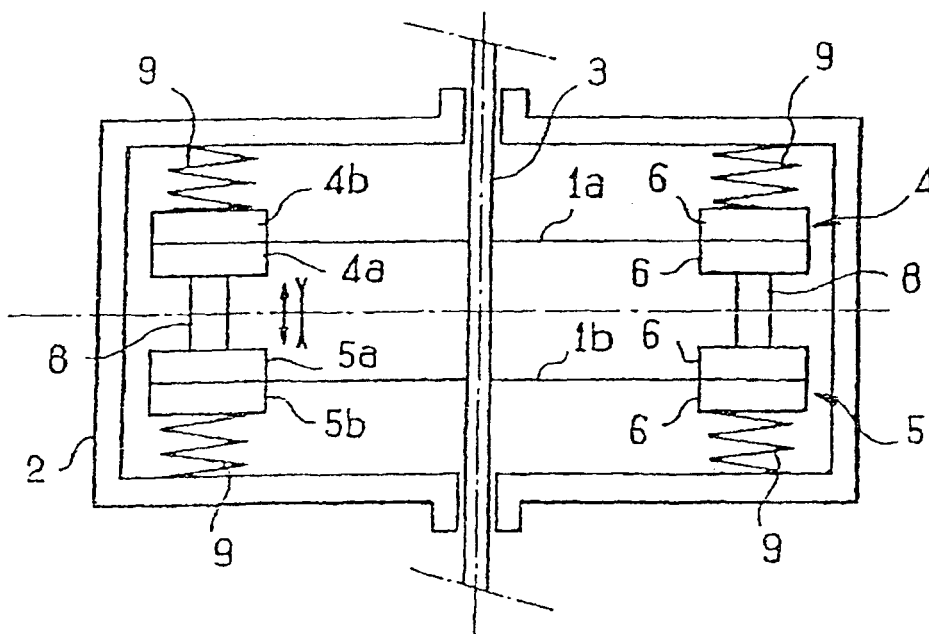


FIG. 2

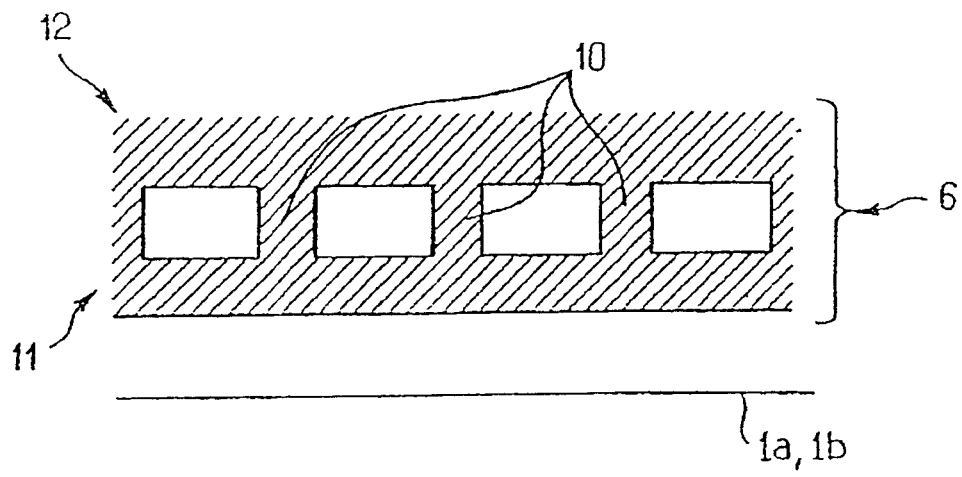


FIG. 3

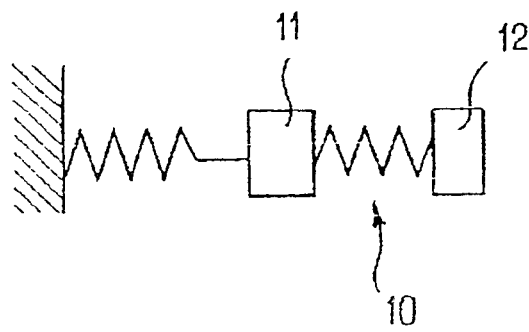


FIG. 4