

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 638 169**

51 Int. Cl.:

H02K 9/00 (2006.01)

F16C 37/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.01.2007 PCT/US2007/060091**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.08.2007 WO07095403**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.01.2007 E 07756280 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.05.2017 EP 1979708**

54 Título: **Refrigeración de cojinetes, motores y otros componentes giratorios generadores de calor**

30 Prioridad:

12.01.2006 US 330896

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

19.10.2017

73 Titular/es:

**Seakeeper, Inc (100.0%)
44425 Pecan Court, Suite 151
California, MD 20619, US**

72 Inventor/es:

**ADAMS, JOHN D. y
MCKENNEY, SHEPARD W.**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 638 169 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

Refrigeración de cojinetes, motores y otros componentes giratorios generadores de calor

5 **Campo técnico**

Esta invención se refiere a métodos y aparatos para refrigerar cojinetes, motores y otros componentes generadores de calor que soportan y accionan máquinas giratorias, por ejemplo, un volante de inercia que se encierra en un vacío parcial.

10

Antecedentes

Un giroscopio de control de momento ("CMG") usado para la atenuación de rodamiento en barcos depende de un volante de inercia pesado que opera a altas velocidades de rotación. El volante de inercia giratorio está soportado por unos cojinetes que están sometidos a elevadas cargas axiales y radiales. Como resultado, estos cojinetes producen una cantidad sustancial de calor generado por fricción, que debe disiparse con el fin de evitar una acumulación peligrosa de calor. Si el volante de inercia está soportado en un entorno de ambiente convencional, el calor puede disiparse por convección de aire, que puede realizarse teniendo un ventilador que sopla aire a través de las pistas de cojinete exterior e interior y de los miembros metálicos adyacentes. Pero si el volante de inercia está encerrado en un vacío parcial, por ejemplo, tal como se ha descrito en la patente de Estados Unidos 6.973.847, puede que no haya suficiente aire para permitir la convección. El mismo problema de refrigeración puede existir en otros dispositivos en los que los volantes de inercia giran en cajas parcialmente evacuadas (por ejemplo, los dispositivos de almacenamiento de energía mecánica) y en los procesos de fabricación que usan cámaras evacuadas que contienen elementos de giro que requieren cojinetes generadores de calor. En la actualidad, los dispositivos de almacenamiento de energía de volante de inercia usan normalmente cojinetes magnéticos caros (que no generan calor de fricción) en lugar de cojinetes de elementos rodantes mucho menos costosos. Una razón es que no hay métodos probados para eliminar el calor de las pistas interiores de los cojinetes de elementos rodantes en un vacío parcial, excepto chorreando o haciendo circular aceite refrigerante a través de los cojinetes, y esto tiende a crear grandes pérdidas de potencia.

15

20

25

30

Hay dos tipos de flujo de calor - conducción y convección - que deben distinguirse. La conducción de calor ocurre por moléculas chocando con otras moléculas. Por lo tanto, cuando se coloca una mano en un radiador caliente, las moléculas de movimiento rápido en el metal caliente chocan contra las moléculas de la piel, transfiriendo energía a las mismas. La convección de calor ocurre cuando las moléculas se mueven como consecuencia del aire (u otro gas o líquido) que fluye de un lugar a otro. Por lo tanto, el radiador caliente calienta una habitación por conducción del calor al aire inmediatamente adyacente a la superficie del radiador, y a continuación por convección a medida que el aire caliente fluye alrededor de la habitación. La calidez en el aire se transfiere a los ocupantes de la habitación por conducción, cuando las moléculas en el aire caliente hacen contacto con la piel o la ropa de la persona. La conducción de calor puede ocurrir a través de un gas, un líquido o un sólido. Cuando se produce a través de un gas, puede llamarse conducción gaseosa. Cuando ocurre a través de un sólido (por ejemplo, a través de un metal u otro buen conductor del calor), puede llamarse conducción sólida.

35

40

La ley de Fourier de la conducción de calor define una transferencia de calor dimensional entre dos superficies paralelas por conducción gaseosa:

45

$$Q = KA \Delta T / \Delta X$$

Donde Q = transferencia de calor (vatios)

K = conductividad térmica del gas (vatios/m - °C)

A = área de la superficie paralela (m²)

ΔT = diferencial de temperatura entre las dos superficies de transferencia de calor (°C)

ΔX = distancia entre las superficies de transferencia de calor (m)

50

Como se muestra en la ecuación, la cantidad de calor transferida es directamente proporcional a la conductividad térmica del gas, el área de las superficies, y la diferencia de temperatura entre las superficies, y es inversamente proporcional a la distancia entre las superficies. La conductividad térmica del gas (K) es constante independientemente de la presión hasta que la presión sea tan baja que el camino libre medio molecular del gas sea igual a o mayor que la distancia entre las superficies (ΔX). Esto significa que la cantidad de calor transferida será independiente de la presión hasta que el camino libre medio del gas sea igual a o mayor que la distancia entre las superficies. Por debajo de la presión donde el camino libre medio molecular del gas es mayor que la distancia entre las superficies, las moléculas de gas continuarán conduciendo calor, pero ahora hay una reducción en la conductividad térmica (y en la cantidad de calor transferida) con reducciones adicionales en la presión del gas.

55

60

El documento DE 19909491A1 describe un dispositivo de refrigeración para un árbol montado de manera giratoria dentro de una carcasa en la que no se requiere un sellado especial del árbol. Unas primeras aletas de refrigeración en forma de discos anulares planos están provistas en la superficie exterior de un manguito en contacto con el árbol.

65

Unas segundas aletas de refrigeración en forma de discos anulares planos están provistas en el orificio de un manguito en contacto con un disipador de calor exterior. Las primeras aletas sobresalen de los huecos entre las segundas aletas. La transferencia de calor se efectúa mediante radiación y transferencia de calor por el gas presente entre las aletas primera y segunda. El documento EP 1193837 describe un alternador para un vehículo que
 5 tiene unos discos giratorios sobre el rotor y unos discos estacionarios opuestos sobre las superficies interiores de un soporte frontal y un soporte trasero. Los discos estacionarios se engranan con unos discos giratorios con huecos de aire entre los mismos para la transferencia de calor. Se proporcionan unos salientes sobre las superficies de transferencia de calor de los discos estacionarios para generar un flujo de aire turbulento en los espacios definidos entre los discos giratorios y los discos estacionarios. El documento US 2004/0244513 describe un estabilizador de
 10 balanceo giroscópico para una embarcación, que tiene un volante de inercia, un motor de accionamiento del volante de inercia configurado para hacer girar el volante de inercia alrededor de un eje de giro y una caja que rodea una parte o la totalidad del volante de inercia y que mantiene una presión por debajo de la del ambiente o que contiene un gas de densidad por debajo de la del ambiente. El documento US 2005/0040776 describe un sistema de almacenamiento de energía de volante de inercia que incluye una caja de vacío que tiene un volante de inercia, un motor/generador y un eje encerrado en su interior. Una tubería de calor en la parte de árbol del aparato proporciona refrigeración para el alto calor generado por el motor/generador y los cojinetes. El sistema de almacenamiento de energía de volante de inercia incluye un conjunto de cojinete que facilita la rotación del árbol, el volante de inercia y el rotor del motor/generador alrededor de un eje. Un conjunto de cojinete incluye un anillo interior, un anillo exterior y una pluralidad de bolas de cojinete. El buje de volante de inercia está conectado a un árbol giratorio que tiene unas
 15 aletas de refrigeración que se extienden radialmente desde el árbol. Las aletas de refrigeración encajan dentro de un conjunto de tipo concha de almeja dividido de aletas de transferencia de calor estacionarias, que se extienden desde el interior de la caja de vacío, de tal manera que puede lograrse una refrigeración natural y autónoma del sistema de almacenamiento de energía de volante de inercia completo.

25 Sumario

Se han descubierto técnicas prácticas para transferir calor fuera de los componentes generadores de calor, por ejemplo, cojinetes y motores, que soportan y accionan maquinarias giratorias tal como unos volantes de inercia. Normalmente, el calor se acumulará en las pistas interiores de los cojinetes que soportan el volante de inercia (pero
 30 también son posibles otras fuentes de calor, tales como calor del motor, arrastre o ventilación de aire). Tal acumulación de calor en las pistas interiores puede conducir al fallo del aparato, ya que puede producirse un gran diferencial de temperatura entre las pistas de cojinete interiores y exteriores. Las pistas exteriores normalmente permanecen más frías debido a que el calor puede fluir (por conducción a través de los miembros metálicos adyacentes) desde las pistas exteriores al exterior de la caja, donde el calor se disipa por convección (el aire que pasa a través de la superficie exterior caliente). Solo una pequeña cantidad de calor se conduce a través de los
 35 cojinetes (desde las pistas interiores a las exteriores), y por lo tanto las pistas interiores y el volante de inercia al que están unidas tienden a elevar la temperatura. El aumento de la temperatura puede destruir la eficacia del lubricante de cojinetes y también puede someter a la pista interior a expansiones térmicas no vistas por la pista exterior más fría con la consecuente destrucción catastrófica de los cojinetes y los aparatos.

Las técnicas de refrigeración conocidas incluyen la inmersión de los cojinetes en un baño de aceite en circulación o el chorreo de aceite a través de los cojinetes (como en un motor de turbina de gas) o el bombeo de un gran volumen de rocío de aceite/aire a través de los cojinetes (como en los husillos de máquinas herramienta) para lubricar y refrigerar los mismos. Sin embargo, estos métodos son complicados y tienden a aumentar el calor generado por el
 45 cojinete cuando la resistencia viscosa de los elementos de rodadura que se agitan a través del aceite aumenta sustancialmente la potencia necesaria para accionar el volante de inercia u otro miembro giratorio. El método de rocío de aceite/aire no puede aplicarse a aplicaciones de vacío, ya que requiere un flujo de aire sustancial. Algunos fabricantes de máquinas herramienta bombean el agua por un agujero que se perfora a través del árbol del husillo para eliminar el calor de los cojinetes y del motor. Esto también es difícil de aplicar a aplicaciones de vacío ya que el
 50 agua debe mantenerse a presión ambiente para evitar que se vaporice.

La invención comprende un aparato como se define en la reivindicación 1. La presente divulgación describe un aparato para transferir calor desde y refrigerar uno o más componentes generadores de calor que soportan o accionan un volante de inercia u otro miembro giratorio. El aparato comprende un primer elemento de transferencia de calor unido a y que gira con el miembro giratorio, un segundo elemento de transferencia de calor estacionario con respecto al miembro giratorio, en el que los elementos de transferencia de calor primero y segundo se mueven uno con relación al otro y en el que los elementos de transferencia de calor primero y segundo están conformados y colocados muy próximos entre sí de tal manera que se transfiere un calor sustancial desde el primer elemento de transferencia de calor al segundo elemento de transferencia de calor. La proximidad de las dos superficies o
 55 elementos favorece la transferencia de calor principalmente por conducción gaseosa. El movimiento de rotación relativo y la proximidad de los elementos pueden crear unos flujos de cavidad giratorios que promueven la transferencia de calor por convección gaseosa. En estos flujos giratorios circulan continuamente moléculas de aire desde el primer elemento más caliente hasta el segundo elemento más frío.

Otras características descritas en esta divulgación incluyen las siguientes. La transferencia de calor entre los elementos de transferencia de calor primero y segundo puede ocurrir tanto por conducción gaseosa como por

convección, aunque principalmente por conducción gaseosa. Los elementos de transferencia de calor primero y segundo pueden tener superficies expuestas estrechamente separadas a través de las que se transfiere el calor. El primer elemento de transferencia de calor comprende una pluralidad de primeras paletas, el segundo elemento de transferencia de calor comprende una pluralidad de segundas paletas, las primeras paletas se mueven con respecto a las segundas paletas, las primeras paletas se extienden en los huecos entre las segundas paletas de tal manera que las primeras y segundas paletas están intercaladas y puede transferirse un calor sustancial desde las primeras paletas a las segundas paletas. Una caja rodea al miembro giratorio, el primer elemento de transferencia de calor puede comprender la superficie exterior del elemento giratorio y el segundo elemento de transferencia de calor puede comprender la superficie interior de la caja separada por un pequeño hueco desde el miembro giratorio de tal manera que se transfiere un calor sustancial por conducción gaseosa desde el elemento giratorio a la caja. La separación entre las primeras paletas y las segundas paletas puede ser mayor de 0,025 mm pero menor de 10 mm. El miembro giratorio está encerrado dentro de una caja que contiene un gas a una presión por debajo de la del ambiente o una densidad por debajo de la del ambiente, el primer elemento de transferencia de calor y las primeras paletas giran con relación a la caja, el segundo elemento de transferencia de calor y las segundas paletas están fijas con relación a la caja, y el segundo elemento de transferencia de calor está colocado de tal manera que el calor puede transferirse fácilmente desde el segundo elemento de transferencia de calor al exterior de la caja. El gas puede estar tanto por debajo de la presión ambiente como por debajo de la densidad ambiente. El eje de rotación alrededor del que gira el miembro giratorio puede definir una dirección axial, las primeras paletas pueden ser elementos cilíndricos que se extienden en una primera dirección axial desde una primera base unida al miembro giratorio, las segundas paletas pueden ser elementos cilíndricos que se extienden en una segunda dirección opuesta a la primera dirección axial, desde una segunda base unida a la caja, y los huecos entre las segundas paletas pueden ser canales cilíndricos conformados y colocados para recibir las primeras paletas cilíndricas. El eje de rotación alrededor del que gira el miembro giratorio puede definir una dirección axial, las primeras y segundas paletas pueden ser elementos planos que se extienden en direcciones radiales perpendicularmente a la dirección axial, y los huecos entre las segundas paletas pueden ser canales planos conformados y colocados para recibir las primeras paletas planas. Los elementos de transferencia de calor primero y segundo están situados adyacentes a un cojinete que soporta el miembro giratorio, teniendo el cojinete una pista interior y una pista exterior, las primeras paletas y la pista interior están unidas al miembro giratorio de tal manera que el calor fluye por conducción desde la pista interior a las primeras paletas y desde el miembro giratorio a las primeras paletas, la pista exterior está unida a la caja y la pista interior, el miembro giratorio, las primeras paletas y las segundas paletas están dimensionadas y colocadas de tal manera que el calor procedente de la pista interior del cojinete fluye por conducción sólida desde la pista interior al miembro giratorio y a las primeras paletas, por conducción sólida desde el miembro giratorio a las primeras paletas, y principalmente por conducción gaseosa desde las primeras paletas a las segundas paletas, y por conducción sólida desde las segundas paletas al exterior de la caja. El aparato puede al menos comprender dos cojinetes, cada uno con sus propios elementos de transferencia de calor primero y segundo como se ha descrito. El elemento giratorio puede ser un volante de inercia y el volante de inercia y la caja pueden ser parte del estabilizador de balanceo giroscópico para una embarcación. La invención puede comprender además un disipador de calor al que el calor fluye desde las segundas paletas. El disipador de calor puede comprender unas aletas refrigeradas por aire en el exterior de la caja. El gas entre los elementos de transferencia primero y segundo puede tener un camino libre medio molecular igual o menor que la distancia entre los elementos de transferencia de calor. La invención puede comprender además una pluralidad de conjuntos de primeras y segundas paletas. El gas puede tener una conductividad térmica más alta que el aire. El componente generador de calor puede comprender uno o más cojinetes. El componente generador de calor puede comprender uno o más motores eléctricos.

El hueco entre las paletas giratorias más calientes y las paletas giratorias más frías puede mantenerse muy pequeño, y por lo tanto proporcionar una ruta de calor al exterior del dispositivo, siempre y cuando las paletas giratorias están más calientes que las paletas estacionarias. El calor puede conducirse desde los componentes generadores de calor a las paletas giratorias por conducción sólida, a continuación, a través del entrehierro a las paletas estacionarias por conducción y convección gaseosas y a continuación por conducción y convección a la atmósfera o a un disipador de calor.

Al menos algunas de las disposiciones descritas en la presente divulgación tienen unas ventajas significativas por debajo de la presión ambiente, en las que la refrigeración convectiva con aire se hace más difícil debido a la presión reducida, y la transferencia de calor radiante puede ser insignificante debido a que los diferenciales de temperatura pueden no ser suficientemente grandes para transferir una cantidad significativa de calor. La dependencia de la conducción gaseosa se beneficia del hecho de que la conductividad térmica de un gas aumenta con la temperatura, de tal manera que a medida que el gas se calienta, conducirá más calor a través del hueco (para un diferencial de temperatura fijo) entre las paletas giratorias y estacionarias. Esto ayuda a estabilizar el comportamiento térmico.

Los flujos de cavidad giratorios existirán en los pequeños huecos entre las paletas fijas y giratorias incluso en un vacío parcial. En algunas aplicaciones, la densidad del gas y/o la velocidad de rotación serán suficientemente altas para que la convección gaseosa aumente la refrigeración por conducción gaseosa. El flujo giratorio hace circular las moléculas de gas de tal manera que se transportan continuamente desde las paletas giratorias calientes a las paletas estacionarias más frías.

El primer aspecto permite que el calor se retire de manera pasiva sin que circule cualquier fluido dentro de la caja.

Esto simplifica considerablemente el dispositivo o la máquina, ya que no se requiere una bomba de refrigerante, un motor, un filtro y un intercambiador de calor. Pueden usarse cojinetes lubricados con grasa y éstos tendrán menos par de fricción que los cojinetes lubricados con aceite.

5 El aparato descrito supera el problema de refrigeración de los componentes giratorios generadores de calor y están encerrados en un vacío parcial. Esto permite el desarrollo de los giroscopios de control de momento (CMG) para estabilizar pequeñas embarcaciones y el desarrollo de los dispositivos de almacenamiento de energía de volante de inercia que usan cojinetes de elementos giratorios, ya que ahora hay una forma de eliminar el calor de estos componentes giratorios que no aumenta los requisitos de potencia de funcionamiento. El aparato descrito puede
10 ayudar a refrigerar las pistas interiores de los cojinetes, los motores y otros componentes giratorios generadores de calor que funcionan en espacios confinados a presión ambiente o por encima de la presión ambiente (por ejemplo, unos husillos de máquinas herramienta).

Otras características y ventajas de la invención tal como se define en las reivindicaciones se encontrarán en la descripción detallada, los dibujos y las reivindicaciones.
15

Descripción de dibujos

La figura 1 es una vista en sección transversal de un CMG de estabilidad de embarcación que incorpora una implementación del primer aspecto de la invención.
20

La figura 2 es una ampliación de la parte de cojinete superior 2-2 de la figura 1.

La figura 3 es una ampliación de la parte de cojinete inferior 3-3 de la figura 1.

La figura 4 es una vista en sección transversal (tomada a lo largo de 4-4 en la figura 5) a través del elemento de transferencia de calor exterior de la implementación de la figura 1.
25

La figura 5 es una vista en planta (tomada a lo largo de 5-5 en la figura 4) mirando hacia arriba las paletas del elemento de transferencia de calor de la figura 4.

La figura 6 es una vista en alzado del elemento de transferencia de calor de la figura 4.

La figura 7 es una vista en planta (tomada a lo largo de 7-7 en la figura 6) mirando hacia abajo la superficie superior del elemento de transferencia de calor de la figura 4.
30

La figura 8 es una vista en sección transversal (tomada a lo largo de 8-8 en la figura 9) a través del elemento de transferencia de calor interior de la implementación de la figura 1.

La figura 9 es una vista en planta (tomada a lo largo de 9-9 en la figura 8) mirando hacia abajo en la superficie superior del elemento de transferencia de calor interior de la figura 8.

La figura 10 es una vista en sección transversal de un CMG de estabilidad de embarcación que incorpora refrigeración líquida.
35

La figura 11 es una ampliación de la parte de cojinete superior 11-11 de la figura 10.

La figura 12 es una ampliación de la parte de cojinete superior 12-12 de la figura 10

La figura 13 es una vista en alzado del conjunto de paletas giratorias de la implementación de la figura 10.

La figura 14 es una vista en sección transversal del conjunto de paletas giratorias de la figura 13.
40

Descripción detallada

Existe un gran número de implementaciones posibles de la invención, demasiadas para describirlas en el presente documento. A continuación, se describen algunas posibles implementaciones que se prefieren actualmente. Sin embargo, no se puede enfatizar demasiado fuertemente, que éstas sean descripciones de implementaciones de la invención, y no descripciones de la invención, que no se limita a las implementaciones detalladas descritas en esta sección, sino que se describe en términos más amplios en las reivindicaciones.
45

En la figura 1, se muestra un estabilizador de balanceo giroscópico 10 para pequeñas embarcaciones (del tipo descrito en la patente de Estados Unidos N.º 6.973.847, incorporada en el presente documento como referencia). Un volante de inercia de acero 12 gira dentro de una caja de aluminio 14, que se evacua a una presión inferior a la de ambiente, y puede incluir un gas de densidad inferior a la del ambiente (por ejemplo, helio o hidrógeno) para reducir la fricción en el volante de inercia giratorio. Un motor eléctrico (sin bastidor de CC sin escobillas) 16 integrado en el interior de la caja acciona el volante de inercia, que está soportado por un conjunto de cojinete superior 18 y un conjunto de cojinete inferior 20.
50
55

Como se muestra en las ampliaciones de las figuras 2-3, cada conjunto de cojinete incluye una carcasa exterior 22, 24, una pista exterior 26, 28, una pista interior 30, 32 y unas bolas 34. Unos sellos 36 se proporcionan tanto en la parte superior como inferior de cada cojinete. Los retenes superior e inferior 40, 42 mantienen el cojinete superior en su sitio. Estos cojinetes están lubricados por un paquete de grasa.
60

El calor generado por las pistas interiores de cojinete y el rotor del motor eléctrico se transfiere al exterior mediante unos conjuntos de collarín de refrigeración 50, 52 (una de muchas implementaciones de los elementos de transferencia de calor) situados adyacentes a cada cojinete. Cada conjunto de collarín de refrigeración incluye un collarín giratorio interior 54, 56 y un collarín estacionario exterior 58, 60 que forma también la tapa de extremo de la caja. Los collarines 54, 56, 58, 60 pueden construirse de varios materiales con una buena conductividad térmica (por
65

ejemplo, aluminio, cobre o plástico).

Como se muestra en las figuras 4-5, los collarines exteriores 58, 60 tienen diez paletas cilíndricas 62, cada una de un radio diferente. Se forman huecos cilíndricos 64 entre las paletas. Las paletas tienen aproximadamente 2,77 mm de espesor radial y la separación radial entre paletas (es decir, la anchura radial de los huecos) es aproximadamente de 4,78 mm. Las paletas 62 tienen una longitud de aproximadamente 32 mm a lo largo de la dirección axial.

Los collarines interiores 54, 56 tienen once paletas cilíndricas 66 y huecos cilíndricos 68 entre las paletas (figuras 2-3), cada una de un radio diferente, y dimensionadas y colocadas de tal manera que las paletas 66 se acoplan con las paletas 62 de los collarines exteriores de acoplamiento. Las paletas 66 tienen aproximadamente la misma longitud (32 mm), anchura y espesor radial que las paletas (62), y se reciben en los huecos (64) entre las paletas (62).

Después se acoplan los collarines interior y exterior, con unas paletas intercaladas, la separación radial entre una paleta giratoria de un collarín y una paleta estacionaria de otro es de aproximadamente 1 mm. Para mejorar la transferencia de calor por conducción gaseosa, esta separación puede hacerse lo más pequeña posible sujeta a limitaciones prácticas tales como las tolerancias de mecanizado y de funcionamiento. En aplicaciones de vacío parcial, la separación no es normalmente menor que el camino libre medio de las moléculas de gas a la presión de funcionamiento. Esta pequeña separación garantiza que la conductividad térmica del gas no se reduce por la presión de vacío y ayuda en la transferencia de calor por convección gaseosa.

En una implementación, la presión de funcionamiento es de 1 Torr, la temperatura de funcionamiento es de 100 °C, y el camino libre medio molecular del aire es 0,066 mm, que es significativamente menor que la separación radial de 1 mm. En la práctica, la distancia puede variar de estas pautas generales siempre y cuando el calor substancial se transfiera a través de la separación.

Como se muestra en las figuras 6-7, las superficies exteriores de los collarines exteriores 58, 60 tienen paletas de transferencia de calor adicionales 70, que transfieren el calor desde el collarín a la atmósfera circundante (por conducción en la superficie de las paletas, con convección moviendo el aire más allá de las paletas).

En la implementación mostrada, las paletas giratoria y estacionaria 66, 62 tienen cada una de las mismas un área de superficie total de 0,34 metros cuadrados. Un diferencial de temperatura típico entre las paletas giratoria y estacionaria es de 15 °C, y la conducción de aire por sí sola transferirá 153 vatios a través del hueco para refrigerar la pista interior del cojinete en este diferencial. Si es necesario proporcionar más refrigeración, las paletas estacionarias podrían refrigerarse activamente soplando aire sobre las mismas (fuera del confinamiento) para crear un mayor diferencial de temperatura entre las paletas giratorias y estacionarias. Un diferencial de temperatura de 30 °C transferiría 306 vatios mediante solo la conducción gaseosa. Como alternativa, la cantidad de transferencia de calor podría aumentarse rellenando de nuevo la cámara de vacío con helio o hidrógeno después del bombeo inicial. La conductividad térmica del helio es aproximadamente 5,6 veces la del aire, por lo que un diferencial de temperatura de 15 °C transferiría 855 vatios de calor mediante solo la conducción gaseosa. Si se necesitan aumentos adicionales en la transferencia de calor, la separación radial entre las paletas fija y giratoria podría reducirse de 1 mm a 0,5 mm. Normalmente es factible funcionar con esa pequeña separación radial, ya que las máquinas como los CMG y los dispositivos de almacenamiento de energía de volante de inercia se fabrican normalmente para tolerancias muy ajustadas (menos de 0,025 mm normalmente) y sus volantes de inercia están soportados en cojinetes de elementos giratorios de muy alta precisión. Si el volante de inercia está encerrado en helio a 1 Torr, la separación radial es de 0,5 mm y el diferencial de temperatura es de 15 °C, entonces pueden transferirse 1710 vatios de calor desde las pistas interiores del cojinete mediante solo la conducción gaseosa. También es posible ajustar la cantidad de calor transferido aumentando o disminuyendo el área superficial de las paletas.

Estos ejemplos muestran cómo el método y el aparato de refrigeración pueden ajustarse para proporcionar la cantidad de refrigeración que los componentes generadores de calor necesitan con el fin de alcanzar unas temperaturas de funcionamiento estables. El diseñador puede variar el área de la paleta, la separación radial, el tipo de gas, la densidad del gas y la diferencia de temperatura entre las paletas giratorias y estacionarias para obtener la solución óptima para una aplicación específica.

Las figuras 10-14 muestran una implementación del esquema de refrigeración líquida que no forma parte de la invención. La implementación de refrigeración líquida también depende de los collarines de refrigeración en el árbol giratorio adyacente a la fuente primaria de calor, es decir, la pista interior de los cojinetes del volante de inercia. Sin embargo, con la refrigeración líquida, las aletas de los collarines consisten en discos planos separados que se extienden radialmente hacia fuera del árbol, y no hay aletas fijas de acoplamiento unidas al confinamiento del volante de inercia. Por el contrario, la refrigeración se realiza mediante chorros de aceite colocados en el confinamiento exterior de los discos que rocían una corriente de aceite entre los discos giratorios y hacia el centro del árbol del volante de inercia, conduciendo de este modo el calor de los discos al aceite, que luego se lanza mediante una fuerza centrífuga hacia fuera para recogerse por un revestimiento interior dentro del confinamiento, pero fuera del perímetro del volante de inercia. Esto, a su vez, obliga al aceite caliente a seguir la curvatura interior del confinamiento en su ruta gravitacional descendente, donde transfiere el calor al confinamiento, ayudado por unos

rebordes interiores en el confinamiento que aumentan el área de superficie en contacto con el aceite. El aceite se recoge en un sumidero en la parte inferior del dispositivo, donde se bombea de nuevo a los chorros de aceite, completando el ciclo de refrigeración.

5 Volviendo a la figura 10, el calor generado por las pistas interiores del cojinete y el rotor del motor eléctrico se transfiere a los conjuntos de collarín de refrigeración superior e inferior 71, 72 situados adyacentes a las pistas interiores de cojinete superior e inferior 73, 74. En el caso del cojinete superior, la carcasa estacionaria 75 rodea el collarín de refrigeración superior y forma la tapa de extremo de la caja. En el caso del cojinete inferior, la carcasa estacionaria 76 que rodea el collarín de refrigeración inferior es parte del conjunto de depósito de aceite 77.

10 El conjunto de depósito también contiene el aceite de refrigeración 78, la bomba de refrigeración 79, el motor de bomba de refrigeración 80, y un filtro y unas válvulas (no mostrados). Los conjuntos de collarín de refrigeración 71, 72 pueden construirse de varios materiales que tienen buena conductividad térmica (por ejemplo, aluminio y cobre).

15 Como se muestra en más detalle en las figuras 11-14, los conjuntos de collarín de refrigeración tienen cada uno 4 paletas horizontales que forman 3 huecos entre las paletas. El radio interior de los huecos es de 54 mm, el radio exterior es de 89 mm y la anchura de los huecos es de 2,4 mm. Las carcasas estacionarias superior e inferior que rodean los collarines de refrigeración contienen cada una, 3 chorros de aceite 81 (uno por hueco). Estos chorros están montados y orientados de tal manera que pulverizan una corriente de aceite de refrigeración hacia y en paralelo a los huecos entre las paletas horizontales. El diámetro del orificio de chorro es de 0,64 mm de donde sale la corriente.

25 La corriente muy delgada de aceite de refrigeración hace contacto con la parte inferior de cada hueco en las paletas de collarín de refrigeración y se redirige por la alta velocidad de rotación de tal manera que crea una película delgada que cubre completamente las superficies de paleta antes de que las fuerzas centrífugas lancen hacia fuera la película. La película de aceite más fría que se mueve a alta velocidad a través de la superficie de la paleta más caliente recoge el calor por conducción y lo lleva por convección. El resultado es una transferencia de calor muy eficaz desde la pista interior del cojinete hasta el collarín de refrigeración, y a continuación al aceite refrigerante.

30 El aceite caliente que sale de las paletas de collarín superiores golpea la carcasa estacionaria 75, gotea a través de agujeros en la carcasa de cojinete 82 y se recoge por un revestimiento interior 83 dentro del confinamiento, pero fuera del perímetro del volante de inercia 84. El revestimiento se monta en unas nervaduras interiores del confinamiento 85 para aumentar el área de superficie en contacto con el aceite. Esta disposición de revestimiento/nervadura obliga al aceite caliente a seguir la curvatura interior del confinamiento en su ruta gravitacional hacia abajo al depósito por debajo del cojinete inferior. A medida que el aceite sigue este contorno, transfiere el calor al confinamiento más frío, que disminuye constantemente la temperatura del aceite hasta que alcanza el depósito 77.

40 También puede haber un flujo de aceite de derivación que se pulveriza en el confinamiento entre las nervaduras y el revestimiento justo por debajo del cojinete superior. Este flujo de derivación aumenta la cantidad de aceite en contacto con el confinamiento y ayuda a refrigerar el aceite en el depósito.

45 El aceite caliente que sale de las paletas del collarín inferior 72 gotea en el depósito 77 sin refrigeración significativa. En cualquier punto del tiempo, el depósito contiene una mezcla de aceite procedente del collarín superior que se ha refrigerado por el confinamiento, el aceite de derivación que se ha refrigerado por el confinamiento y el aceite procedente del collarín inferior que no se ha refrigerado. Las áreas de superficie interiores y exteriores del confinamiento y la refrigeración exterior pueden diseñarse de tal manera que se extraiga suficiente calor del aceite que sale del collarín superior y del flujo de aceite de derivación para refrigerar la mezcla de aceite en el depósito. El aceite en el depósito se recoge por la bomba y se bombea de nuevo a los chorros de aceite y se pulveriza en los collarines superior e inferior y a través de los chorros de derivación, completando de este modo el ciclo de refrigeración.

50 Esta implementación de collarín de refrigeración específica tiene un área de superficie de paleta total de 0,093 metros cuadrados en contacto con el aceite. La bomba de aceite entrega 0,5 litros por minuto por collarín o 0,165 litros por minuto por chorro. La temperatura del aceite aumenta 15 °C (desde su entrada en las paletas hasta su salida de las paletas) para transferir 250 vatios de calor de la pista interior del cojinete y mantener la pista interior a una temperatura en el intervalo de 80-100 °C.

60 Al igual que el esquema de las figuras 1 a 9, el esquema de refrigeración de líquido es flexible si es necesario proporcionar más refrigeración. El área de paleta de refrigeración, el número de huecos/chorros y el caudal de refrigeración pueden aumentarse para aumentar la velocidad de transferencia de calor desde las pistas interiores del cojinete y el motor hasta el confinamiento. Si el aceite usado para la transferencia de calor no está suficientemente refrigerado por el confinamiento, entonces puede aplicarse una refrigeración de aire forzado al exterior del confinamiento. Como alternativa, el aceite del depósito puede hacerse circular a través de un intercambiador de calor de aceite/aire o aceite/agua dedicado para extraer más calor del aceite y reducir aún más la temperatura del aceite antes de pulverizarlo en los collarines.

Además, en algunas aplicaciones de volante de inercia de muy alta velocidad, puede ser necesario usar aceite en lugar de grasa para lubricar los cojinetes. En estos casos, puede usarse el mismo aceite usado para la transferencia de calor con los collarines de refrigeración para lubricar los cojinetes. La cantidad de aceite necesaria para lubricar los cojinetes es muy pequeña. Por lo tanto, puede suministrarse mediante un número de métodos que incluyen el chorro, la micro dosificación, la absorción o dejando que una pequeña cantidad del aceite que sale de las paletas de collarín entre en el cojinete.

Las implementaciones pueden incluir múltiples conjuntos de paletas o collarines instalados en un solo árbol para refrigerar un número de componentes generadores de calor o mejorar la refrigeración de un componente. Los gases que tienen conductividades térmicas y calores específicos mayores que el aire (por ejemplo, el helio y el hidrógeno) pueden usarse para mejorar la transferencia de calor en aplicaciones de vacío parcial y encerradas. Los conjuntos de paletas pueden construirse de metales buenos conductores de calor (tales como el cobre y el aluminio) o de plásticos térmicamente conductores.

La conducción gaseosa y la refrigeración por convección pueden proporcionarse manteniendo muy pequeño el hueco entre el volante de inercia y su caja, permitiendo de este modo que el calor fluya desde el borde del volante de inercia y/o el disco a la caja más fría. Esta disposición puede proporcionar una segunda ruta de transferencia de calor o puede ser la ruta de transferencia de calor principal.

Las implementaciones de refrigeración líquida pueden incluir múltiples conjuntos de paletas o collarines instalados en un solo árbol para refrigerar un número de componentes generadores de calor o mejorar la refrigeración de un componente. Si el aceite se usa como fluido refrigerante, también puede usarse para lubricar los cojinetes. Los conjuntos de paletas pueden construirse de metales buenos conductores de calor (tales como el cobre y el aluminio) o de plásticos térmicamente conductores. El fluido usado para la refrigeración podría ser aceite, agua, o un fluido de transferencia de calor.

Tal como se usa en las reivindicaciones, cuando se dice que un elemento está "unido a" otro elemento, incluye el caso de que exista uno o más elementos intermedios entre los elementos, así como el caso en el que los elementos están en contacto directo.

No todas las características descritas anteriormente y que aparecen en algunas de las siguientes reivindicaciones son necesarias para la práctica de la invención. Solo se requieren las características mencionadas en una reivindicación determinada para practicar la invención descrita en esa reivindicación. Las características se han dejado deliberadamente fuera de las reivindicaciones con el fin de describir la invención en una amplitud coherente con la contribución de los inventores. Por ejemplo, aunque en algunas implementaciones, se usan paletas intercaladas para transferir el calor, tales paletas intercaladas no se requieren para practicar la invención de otras reivindicaciones. Aunque en algunas implementaciones, el refrigerante líquido se hace circular a través de las paletas, el refrigerante líquido no se requiere para practicar la invención de otras reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Aparato que comprende:

- 5 un miembro giratorio;
 uno o más componentes generadores de calor que incluyen un cojinete que soporta el miembro giratorio;
 un aparato de refrigeración configurado para transferir calor desde y refrigerar los uno o más componentes generadores de calor; comprendiendo además el aparato:
- 10 una caja (14) que encierra el miembro giratorio (12) en un vacío parcial mantenido por la caja;
 un primer elemento de transferencia de calor que comprende una primera pluralidad de paletas (66) dentro de la caja y unidas al miembro giratorio (12) de tal manera que la primera pluralidad de paletas girarán con el miembro giratorio en relación a la caja;
 un segundo elemento de transferencia de calor que comprende una segunda pluralidad de paletas (62)
- 15 dentro de la caja fijada con relación a la caja (14) de tal manera que las primeras paletas se mueven con respecto a las segundas paletas, definiendo las segundas paletas (62) unos huecos (64) en los que se extienden las primeras paletas (66) de tal manera que las primeras y las segundas paletas estén intercaladas, y
- 20 en el que las primeras y las segundas paletas (66, 62) están situadas adyacentes al cojinete (18, 20) que soporta el miembro giratorio (12),
 el cojinete (18, 20) tiene una pista interior (30, 32) y una pista exterior (26, 28),
 las primeras paletas (66) y la pista interior (30, 32) están unidas al miembro giratorio (12) de tal manera que el calor fluye por conducción desde la pista interior (30, 32) a las primeras paletas (66) y desde el miembro
- 25 giratorio (12) a las primeras paletas (66),
 la pista exterior (30, 28) está unida a la caja (14), y
 la pista interior (30, 32), el miembro giratorio (12), las primeras paletas (66) y las segundas paletas (62) están dimensionados y dispuestos de tal manera que el calor de la pista interior del cojinete fluye por conducción sólida desde la pista interior (30, 32) al miembro giratorio (12) y a las primeras paletas (66), por conducción
- 30 sólida desde el miembro giratorio a las primeras paletas, y principalmente por conducción gaseosa desde las primeras paletas (66) a las segundas paletas (62), y por conducción sólida desde las segundas paletas (62) al exterior de la caja (14).
- 35 2. El aparato según la reivindicación 1, en el que el gas dentro de la caja (14) tiene una mayor conductividad térmica que el aire.
3. El aparato según la reivindicación 1, en el que la separación entre las primeras paletas (66) y las segundas paletas (62) es mayor de 0,025 mm, pero menor de 10 mm.
- 40 4. El aparato de la reivindicación 1, en el que la separación entre las primeras paletas y las segundas paletas es mayor de 0,5 mm pero menor de 1 mm.
5. El aparato de la reivindicación 1, en el que
- 45 el eje de rotación alrededor del cual gira el miembro giratorio (12) define una dirección axial,
 las primeras paletas (66) son elementos cilíndricos que se extienden en una primera dirección a lo largo de la dirección axial desde una primera base unida al miembro giratorio,
 las segundas paletas son elementos cilíndricos que se extienden en una segunda dirección a lo largo de la
- 50 dirección axial, opuesta a la primera dirección, desde una segunda base unida a la caja (14), y
 los huecos (64) entre las segundas paletas (62) son canales cilíndricos conformados y colocados para recibir las primeras paletas cilíndricas (66).
6. El aparato de la reivindicación 1, en el que
- 55 el eje de rotación alrededor del cual gira el miembro giratorio (12) define una dirección axial,
 las primeras y las segundas paletas son unos elementos planos que se extienden en direcciones radiales perpendiculares a la dirección axial, y
 los huecos entre las segundas paletas son canales planos conformados y situados para recibir las primeras paletas planas.
- 60 7. El aparato de la reivindicación 1, en donde el aparato comprende al menos dos cojinetes (18, 20), cada uno con sus propios elementos de transferencia de calor primero y segundo tal como se han descrito.
- 65 8. El aparato de la reivindicación 1, en el que el miembro giratorio (12) es un volante de inercia y el volante de inercia y la caja son parte de un estabilizador de balanceo giroscópico (10) para una embarcación.

9. El aparato de la reivindicación 1, en el que el miembro giratorio (12) es un volante de inercia y el volante de inercia y la caja son parte de un sistema de almacenamiento de energía de volante de inercia.
- 5 10. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además un disipador de calor al que el calor fluye desde las segundas paletas.
11. El aparato de la reivindicación 10, en el que el disipador de calor comprende unas aletas refrigeradas por aire en el exterior de la caja.
- 10 12. El aparato de la reivindicación 1, en el que el gas dentro de la caja (14) y entre los elementos de transferencia primero y segundo tiene un camino libre medio molecular en el vacío parcial igual a o menor que la distancia entre las primeras y las segundas paletas (66, 62).
- 15 13. El aparato de la reivindicación 1, que comprende una pluralidad de conjuntos de primeras y segundas paletas (66, 62).
14. El aparato de la reivindicación 2, en el que la transferencia de calor entre los elementos de transferencia de calor primero y segundo es principalmente por conducción gaseosa usando un gas de helio o un gas de hidrógeno.
- 20 15. El aparato de la reivindicación 1, en el que el componente generador de calor comprende uno o más motores eléctricos (16).

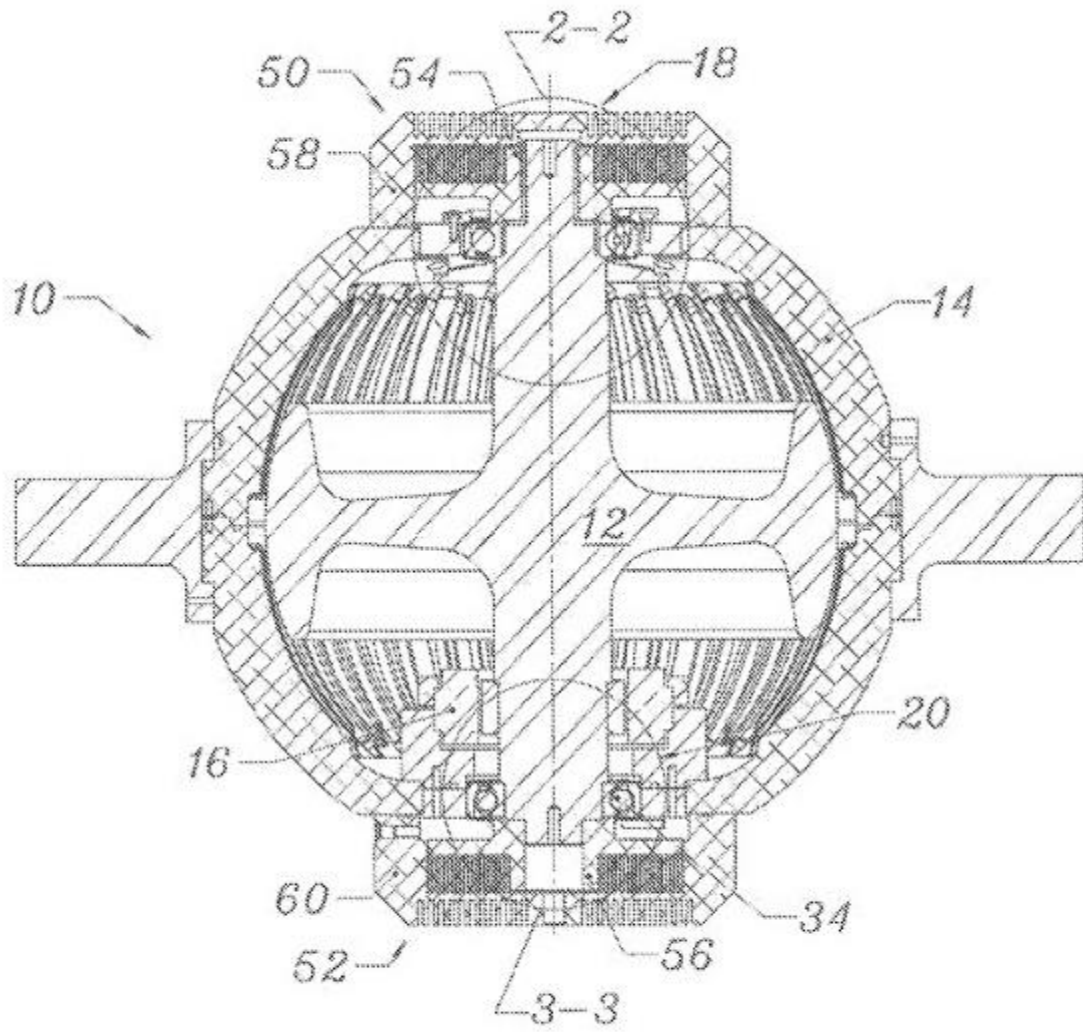


FIG. 1

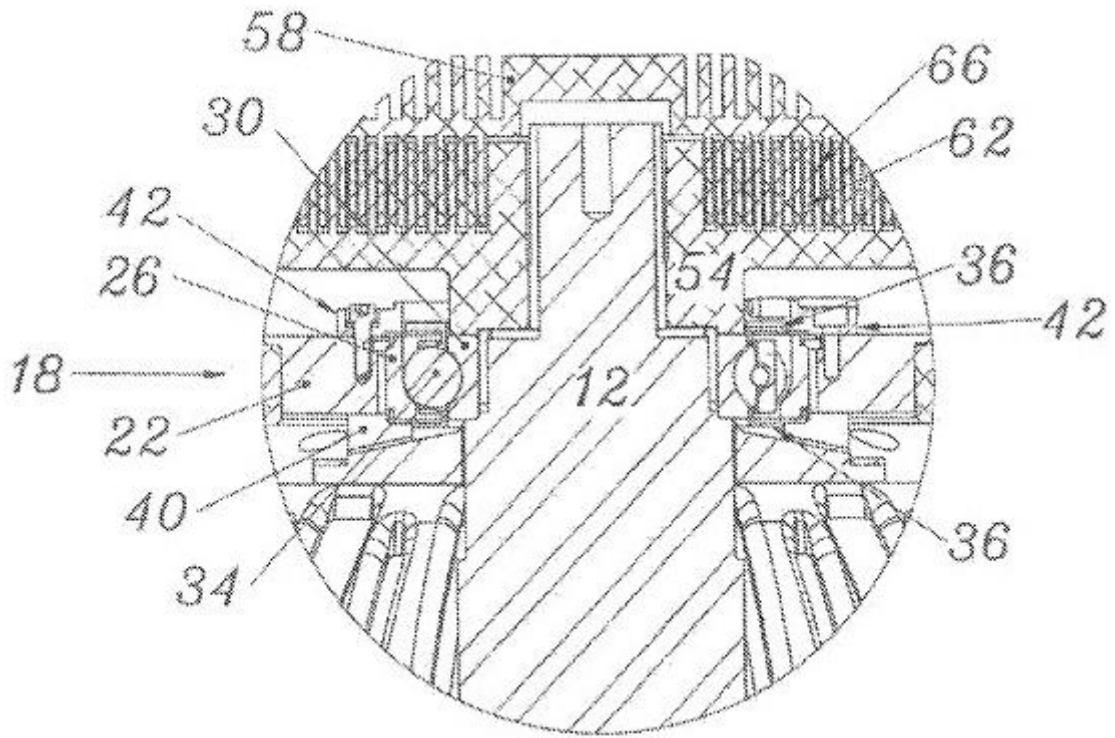


FIG. 2

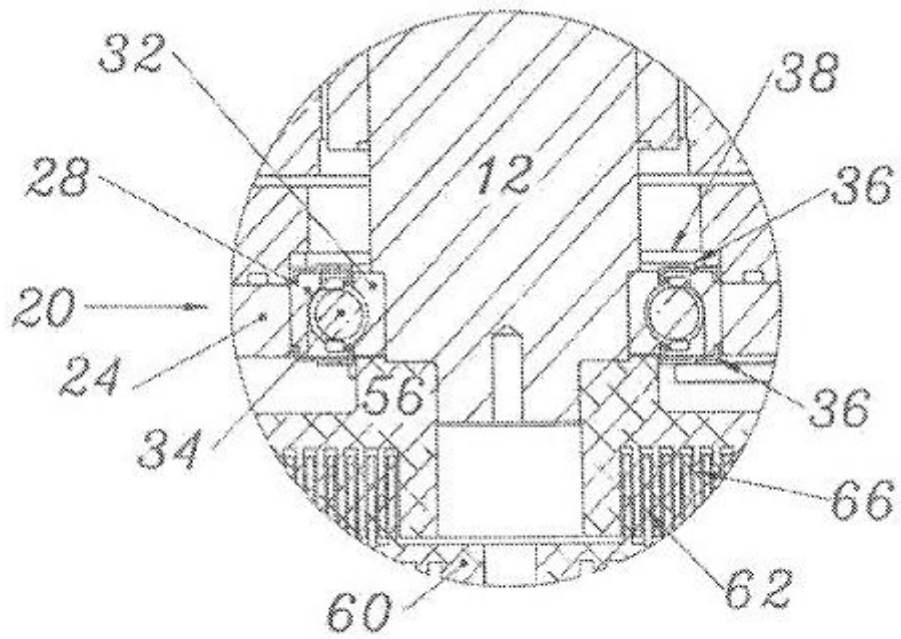


FIG. 3

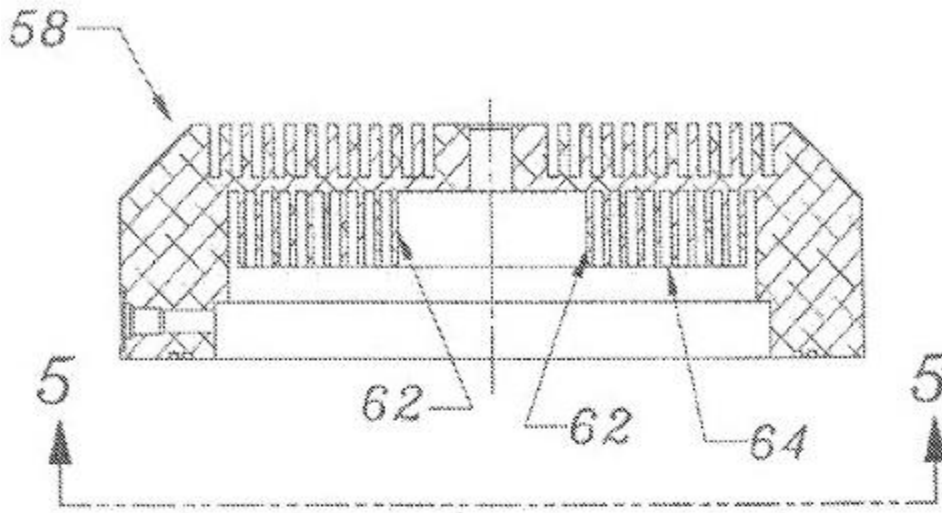


FIG. 4

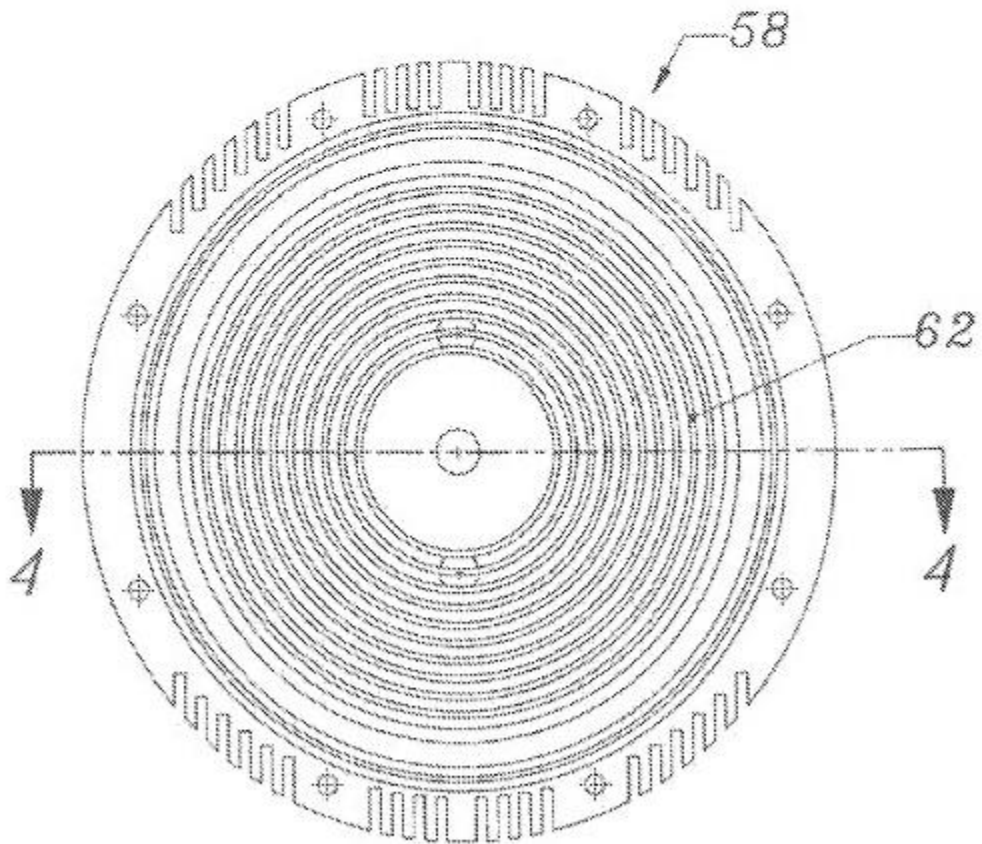


FIG. 5

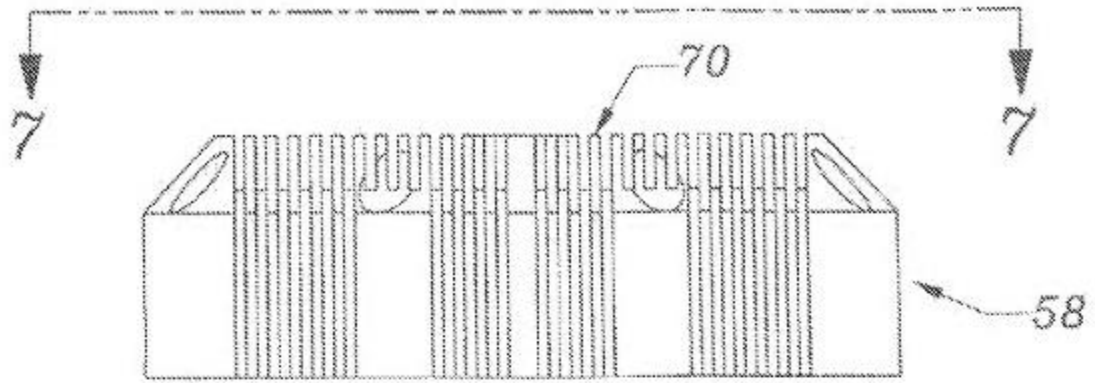


FIG. 6

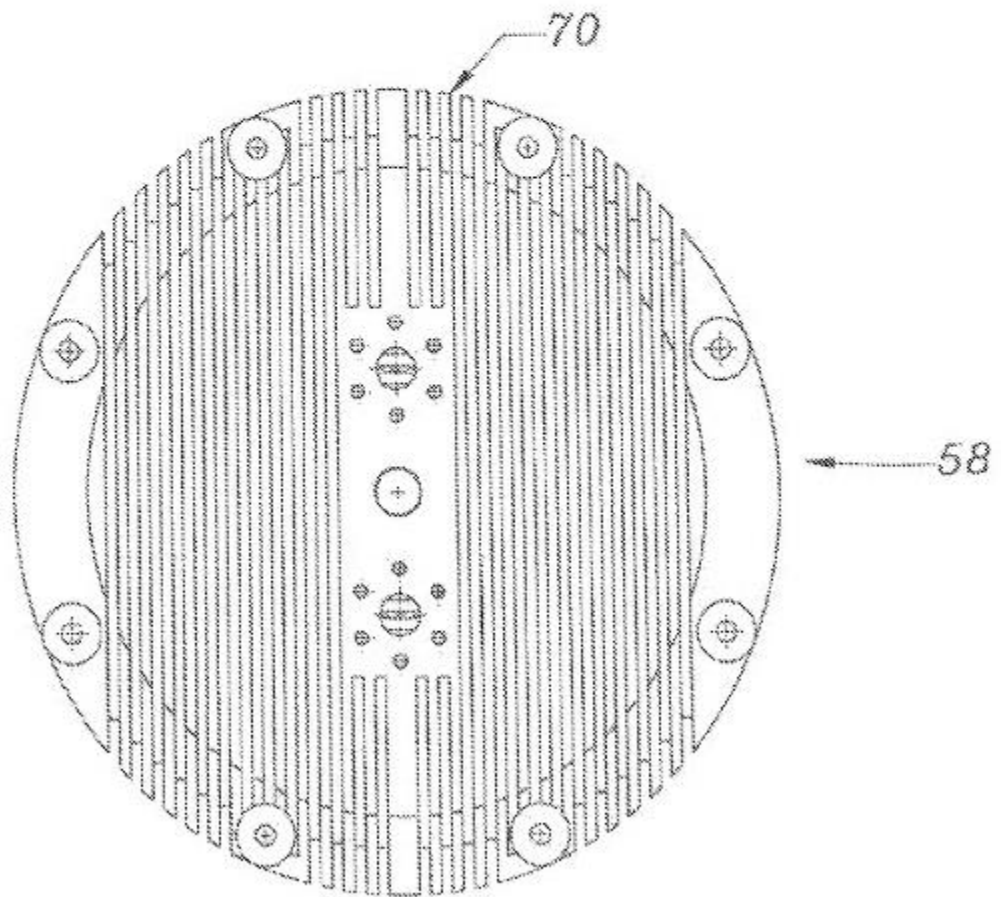


FIG. 7

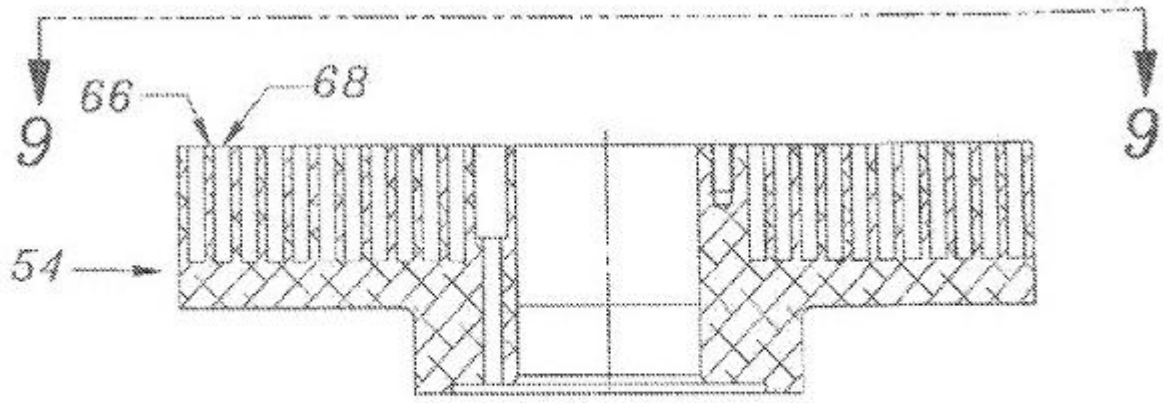


FIG. 8

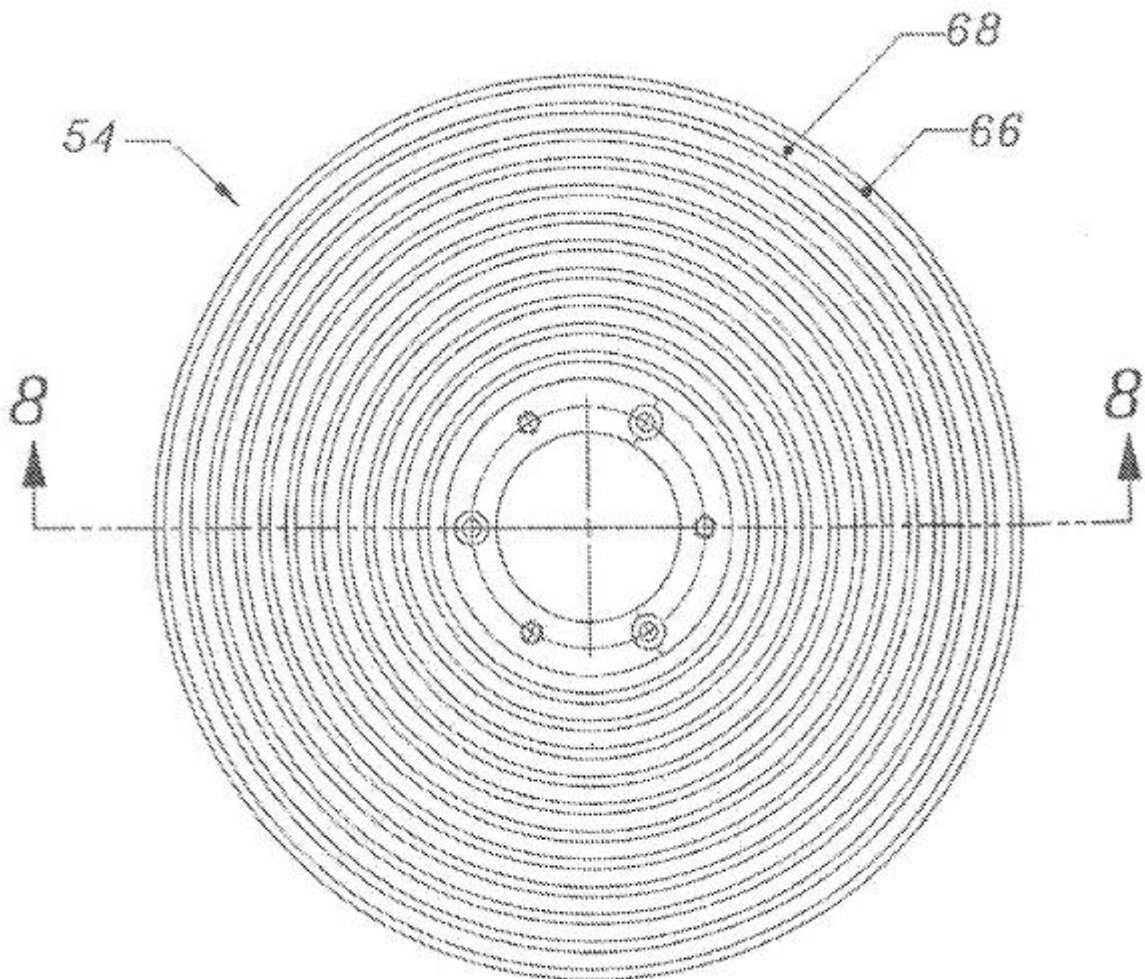


FIG. 9

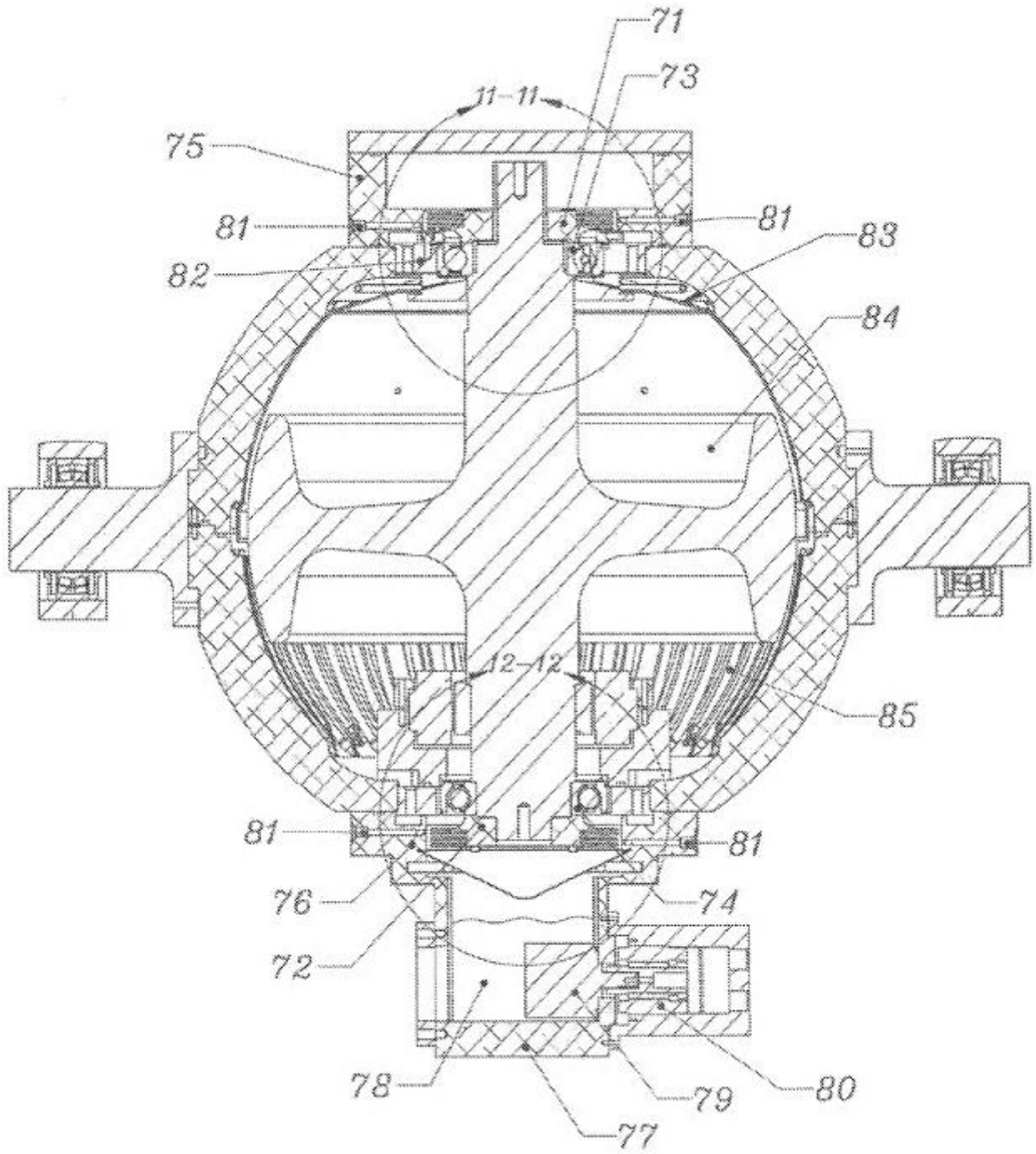


FIG. 10

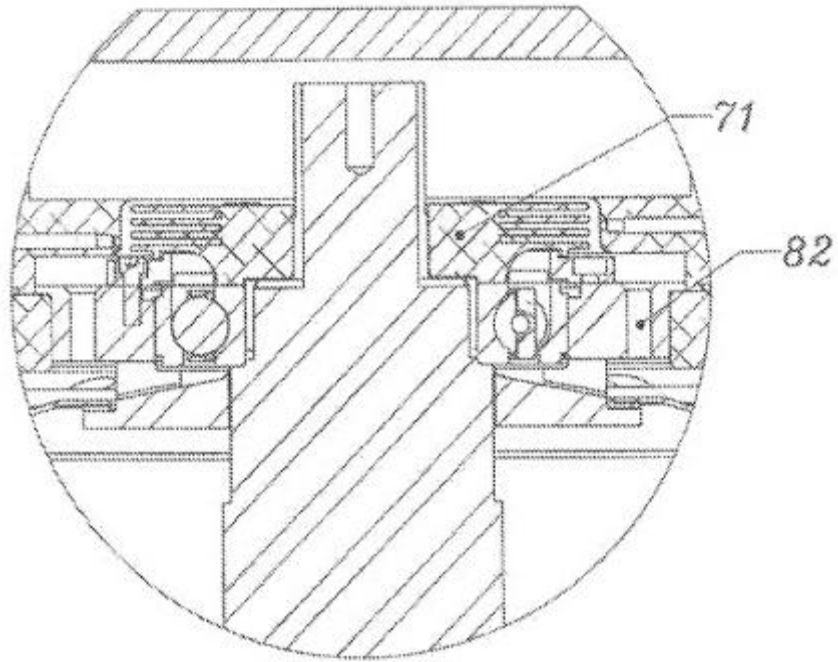


FIG. 11

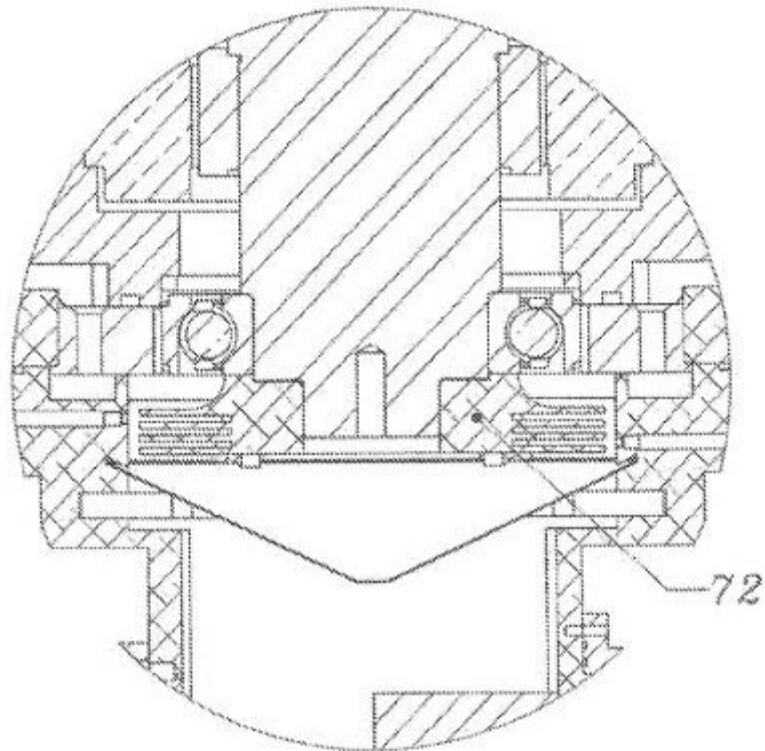


FIG. 12

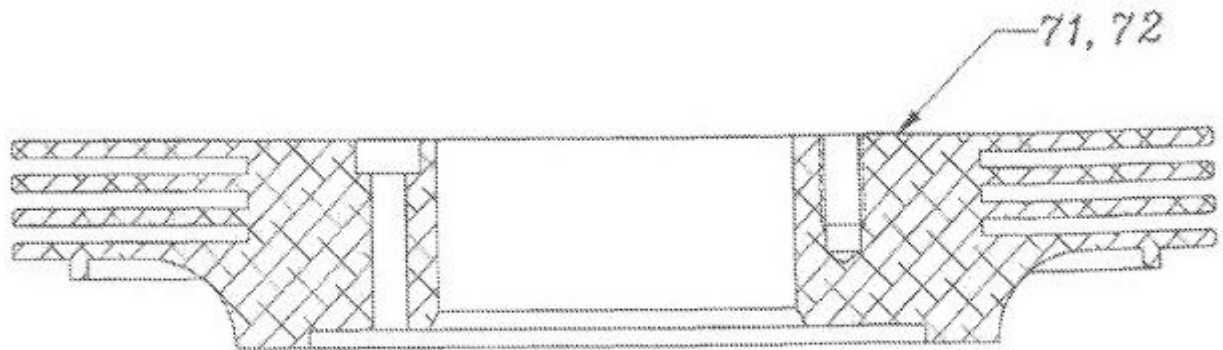
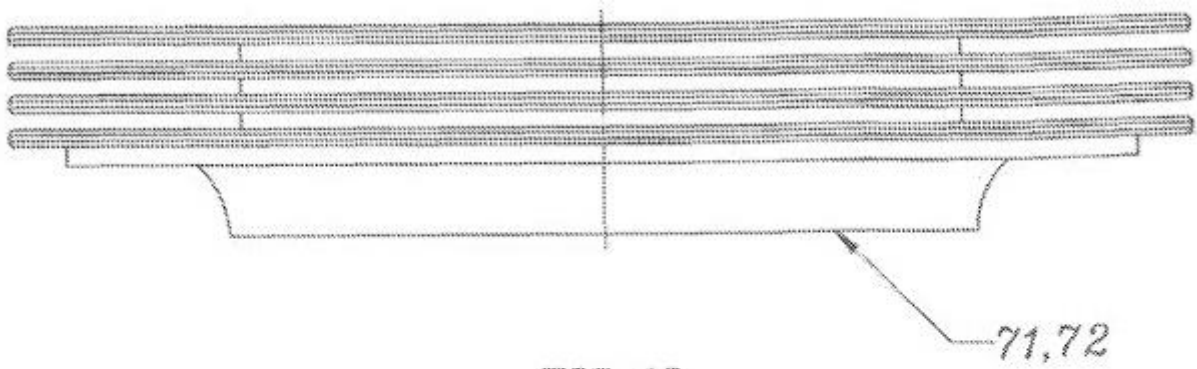


FIG. 14