

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 011 837**

51 Int. Cl.:

**F04D 29/66** (2006.01)

**F04D 29/40** (2006.01)

**F01D 9/04** (2006.01)

**F04D 29/44** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.03.2018 PCT/US2018/020880**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.09.2018 WO18161069**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.03.2018 E 18761518 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2024 EP 3589822**

54 Título: **Método y disposición para minimizar el ruido y la excitación de estructuras debido a modos acústicos de cavidad**

30 Prioridad:

**03.03.2017 US 201762466774 P**  
**05.05.2017 US 201762501852 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**08.04.2025**

73 Titular/es:

**ELLIOTT COMPANY (100.00%)**  
**901 North Fourth Street**  
**Jeannette, PA 15644, US**

72 Inventor/es:

**KUSHNER, FRANCIS**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 3 011 837 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**

Método y disposición para minimizar el ruido y la excitación de estructuras debido a modos acústicos de cavidad

**5 Referencia cruzada a solicitudes relacionadas**

La presente solicitud reivindica el beneficio de la solicitud de patente provisional estadounidense con n.º de serie 62/466.774 y 62/501.852, presentadas el 3 de marzo de 2017 y el 5 de mayo de 2017, respectivamente.

**10 Antecedentes de la invención**

**Campo de la invención**

15 La presente divulgación se refiere, en general a turbomáquinas y otros mecanismos y, más particularmente, a disposiciones de elementos en forma de pala para cavidades dentro de una turbomáquina adaptados para reducir la excitación del disco del rotor usando una desintonización intencional.

**Descripción de la técnica relacionada**

20 Las turbomáquinas, tales como compresores de flujo centrífugo, compresores de flujo axial y turbinas pueden utilizarse en diferentes industrias. Los compresores y turbinas de flujo centrífugo, en particular, tienen un uso generalizado en las centrales eléctricas, aplicaciones en motores a reacción, turbinas de gas así como aplicaciones automotrices. Los compresores y turbinas de flujo centrífugo también se usan comúnmente en aplicaciones industriales a gran escala, tales como plantas de separación de aire y expansores de gas caliente utilizados en la industria de refinería de petróleo. Los compresores centrífugos se utilizan además en aplicaciones industriales a gran escala, tales como refinerías y plantas químicas.

30 Con referencia a la figura 1, se ilustra una turbomáquina de flujo centrífugo de etapas múltiples 10 de acuerdo con un diseño convencional. En algunas aplicaciones, se puede utilizar una sola etapa. En otras aplicaciones, se pueden utilizar múltiples etapas. Dicha turbomáquina 10 generalmente incluye un árbol 20 soportado dentro de un receptáculo 30 por un par de cojinetes 40. La turbomáquina 10 mostrada en la figura 1 incluye una pluralidad de etapas para aumentar progresivamente la presión de fluido del fluido de trabajo. Cada etapa está dispuesta sucesivamente a lo largo del eje longitudinal de la turbomáquina 10 y todas las etapas pueden o no tener componentes similares que operen según el mismo principio.

35 Con referencia continuada a la figura 1, un propulsor 50 incluye una pluralidad de palas giratorias 60 dispuestas circunferencialmente y unidas a un buje de propulsor 70 que a su vez está unido al árbol 20. Las palas 60 puede unirse opcionalmente a un disco de cubierta 65. Una pluralidad de propulsores 50 pueden estar separados en múltiples etapas a lo largo de la longitud axial del árbol 20. Las palas giratorias 60 están acopladas de manera fija al buje del propulsor 70 de tal manera que las palas giratorias 60 junto con el buje del propulsor 70 giran con la rotación del árbol 20. Las palas giratorias 60 rotan aguas abajo de una pluralidad de álabes o estatores estacionarios 80 unidos a una carcasa tubular estacionaria. El fluido de trabajo, tal como una mezcla de gases, entra y sale de la turbomáquina 10 en la dirección axial del árbol 20. La energía del fluido de trabajo provoca un movimiento relativo de las palas giratorias 60 con respecto a los estatores 80. En un compresor centrífugo, el área de sección transversal entre las palas giratorias 45 60 dentro del propulsor 50 disminuye desde un extremo de entrada hasta un extremo de descarga, de modo que el fluido de trabajo se comprime a medida que pasa a través del propulsor 50.

50 Con referencia a la figura 2, el fluido de trabajo, tal como una mezcla de gases, se mueve desde un extremo de entrada 90 hasta un extremo de salida 100 de la turbomáquina 10. Una fila de estatores 80 proporcionada en el extremo de entrada 90 canaliza el fluido de trabajo hacia una fila de palas giratorias 60 proporcionada en el extremo de salida 100 de la turbomáquina 10. Los estatores 80 se extienden dentro de la carcasa para canalizar el fluido de trabajo a las palas giratorias 60. Los estatores 80 están separados circunferencialmente con el mismo espaciado entre los puntales individuales alrededor del perímetro de la carcasa. Se proporciona un difusor 110 en la salida de las palas giratorias 60 para homogeneizar el flujo de fluido que sale de las palas giratorias 60. El difusor 110 opcionalmente tiene una pluralidad de álabes difusores 120 que se extiende dentro de una carcasa. Las palas difusoras 120 están separados circunferencialmente, normalmente con el mismo espacio entre las palas difusoras 120 individuales alrededor del perímetro de la carcasa del difusor. En una turbomáquina de múltiples etapas 10, se proporcionan una pluralidad de álabes de canal de retorno 125 en el extremo de salida 100 de una etapa de compresión de fluido para canalizar el fluido de trabajo a las palas giratorias 60 de la siguiente etapa sucesiva. En una realización de este tipo, los álabes de canal de retorno 125 proporcionan la función de los estatores 80 desde la primera etapa de la turbomáquina 10. El último propulsor en una turbomáquina de múltiples etapas normalmente solo tiene un difusor, que puede proporcionarse con o sin los álabes difusores. El último difusor canaliza el flujo de fluido de trabajo a una carcasa de descarga (voluta) que tiene un reborde de salida para conectarse a la tubería de descarga. En una realización de una sola etapa, la turbomáquina 10 incluye estatores 80 en el extremo de entrada 90 y difusor 110 en el extremo de salida 65 100.

Una preocupación importante en el diseño de turbomáquinas es controlar la vibración de las palas giratorias y el buje en todo el intervalo operativo de la turbomáquina. Las palas y discos giratorios en la turbomaquinaria se excitan en vibraciones resonantes por a) las estelas del puntal del estator y/o del álabe aguas arriba y la interacción potencial del flujo con los puntales y los álabes aguas abajo, b) otras faltas de homogeneidad en la corriente de flujo formada por una distribución de presión circunferencial no uniforme, c) pulsaciones acústicas, ya sea a la frecuencia de paso de la pala giratoria y/o d) desprendimiento de vórtices desde álabes estacionarios, lo que provoca a su vez una resonancia acústica coincidente del gas dentro de la carcasa. Por ejemplo, los modos Tyler/Sofrin pueden producirse debido a las ondas sonoras a la frecuencia de paso de la pala que se reflejan en los álabes dando modos de giro. (Referencia Tyler, J. M. y Sofrin, T. G., 1962, "Axial Flow Compressor Noise Studies", SAE Transactions, Vol. 70, pág. 309-332.)

Las pulsaciones acústicas en el modo de giro a su vez pueden coincidir con la forma del modo y la frecuencia del modo acústico de la cavidad en los lados del propulsor, y también coincidir con el modo de la estructura del propulsor. Esto se denomina triple coincidencia. Las pulsaciones acústicas se reflejan de manera diferente fuera de los puntales del estator más alejados del propulsor y reducen la amplitud efectiva de los modos de giro. Por ejemplo, en un propulsor que tiene 15 palas giratorias y 20 puntales de estator, hay un modo de giro de 5 diámetros a una frecuencia de paso de pala 15 veces la velocidad del rotor. Si el modo estructural de 5 diámetros es igual a 20 veces la velocidad de rotación, la excitación de la pala se puede reducir colocando la mitad de los puntales del estator aguas abajo aproximadamente la mitad de una longitud de onda acústica, ya que las reflexiones de onda darían como resultado la cancelación de fase. Un ejemplo de dicha disposición se divulga en la patente estadounidense 9.581.034.

Estas excitaciones provocan estrés cíclico, lo que resulta en una fatiga de ciclo potencialmente alta y fallas en los propulsores, ya sea en las palas giratorias, el buje o la cubierta. El propulsor puede excitarse a una gran amplitud cuando una frecuencia modal corresponde a la frecuencia de rotación del árbol multiplicada por el número armónico de la falta de homogeneidad del flujo vista por las palas. Normalmente, el número de resonancias con una amplitud lo suficientemente grande como para provocar una fatiga de ciclo alto es limitado. Dado que la tasa de daño por fatiga se produce solo si se infringe la resistencia a la fatiga infinita del material, una reducción modesta en la amplitud de vibración a menudo eliminará la fatiga de alto ciclo como el factor limitante para la vida útil de la pala y el disco.

Si no se puede evitar una resonancia crítica, una práctica actual para superar estos problemas es evitar la operación a la frecuencia resonante cambiando la velocidad rápidamente cuando se encuentra una resonancia, minimizando de ese modo el número de ciclos de fatiga que acumula una pala durante la operación. Si se minimiza el número de ciclos de vibración, entonces el fallo de la pala se controla mediante mecanismos distintos de las estelas aguas abajo, pulsaciones acústicas, faltas de homogeneidad de flujo o desprendimiento de vórtices. Sin embargo, esta práctica impone límites indeseables en el funcionamiento de la turbomaquinaria.

Otro enfoque actual es reducir las variaciones espaciales en el campo de flujo inyectando directamente fluido en estelas de baja velocidad detrás de obstrucciones (Rao, N. M., Feng, J., Burdisso, R. A y Ng, W. F., "Active Flow Control to Reduce Fan Blade Vibration and Noise", 5.ª Conferencia AIAA/CEAS Aeroacoustic, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 10-12 de mayo de 1999). Este enfoque requiere el uso de fluido del compresor o de una fuente de fluido externo adicional en cantidades relativamente grandes. El uso de fluido de compresor tiene un impacto perjudicial en el rendimiento. La adición de un suministro de fluido separado añade peso y requiere potencia adicional. Ambos métodos tienen impactos perjudiciales en el rendimiento de la turbomaquinaria. También, el relleno de estela no aborda la excitación modal debido a las ondas de proa de las obstrucciones de flujo aguas abajo.

En los últimos años, se ha descubierto que, además de la excitación de flujo no uniforme, tal como de las estelas del estator, la pulsación de presión acústica puede ser una preocupación al menos para los propulsores de compresor centrífugo de alta presión. Esto se ha denominado "triple coincidencia" y explica fallas raras y probablemente una razón, al menos parcialmente, por algunas fallas anteriores no documentadas. La resonancia de interacción del disco con palas se puede evitar para los propulsores centrífugos según sea necesario, dependiendo del modo vibratorio implicado, la amortiguación disponible y el nivel de excitación potencial. Especialmente para las etapas que tienen álabes en el difusor cerca de las puntas del propulsor, la preocupación por la fatiga de ciclo alto es muy grande ya que ciertos números de álabes combinados con un número de palas giratorias pueden dar una fase correcta para excitar un modo de alta respuesta. Una interacción similar pero más compleja es con modos acústicos transversales que tienen un número específico de diámetros nodales. En este caso, modos de gas acústico en cavidades a los lados de los propulsores, las pulsaciones acústicas giratorias coincidentes en la frecuencia de paso de la pala de propulsor denominadas modos de Tyler/Sofrin, y un modo de propulsor estructural coincidente dan la triple coincidencia que provoca una respuesta resonante del propulsor mayor, además de un ruido mayor. La preocupación por esta coincidencia a menudo es difícil de evaluar y corregir a menos que haya un fallo conocido para modificar el número de álabes o palas. Esta coincidencia puede sumarse a la respuesta directa de las estelas aguas arriba o de las pulsaciones de flujo que interactúan con el álabe difusor aguas abajo. Las dimensiones de las cavidades laterales del propulsor son axisimétricas y se establecen por aerodinámica, de modo que los radios exterior e interior definen modos transversales con pequeños cambios dimensionales radiales disponibles. A menudo, se puede utilizar un compromiso menor del rendimiento aerodinámico para cambiar los diseños y evitar resonancias graves, por ejemplo números de álabes y palas, cambiar la respuesta de un modo de diámetro coincidente o tener un modo menos sensible diferente para mitigar la preocupación. Además de la turbomaquinaria, por ejemplo compresores y bombas, los métodos descritos podrían utilizarse para cualquier cavidad que tenga formas de modo diametral, o posiblemente otros patrones de frecuencias de pulsación de presión. Esta modificación o modificaciones pueden mitigar, si no eliminar, la

preocupación por cualquier mecanismo que tenga problemas de vibración estructural y/o ruido ambiental.

En el documento US 2014/020975 A1 se divulga una voluta para una turbomáquina radial. La turbomáquina incluye un compresor radial o una turbina radial. La voluta tiene una cavidad sustancialmente anular que está delimitada al menos por una primera superficie lateral radial. Al menos una ranura circunferencial sustancialmente anular está formada en la superficie lateral.

En el documento US 2013/025967 A1 se divulga un revestimiento acústico para atenuar el ruido en maquinaria rotatoria. El revestimiento acústico puede incluir una pluralidad de celdas acopladas entre sí para formar una matriz de celdas anular, estando hecha la pluralidad de celdas de un material no metálico, por ejemplo, plásticos, polímeros, termoplásticos o termoestables. Cada celda del revestimiento acústico puede tener forma hexagonal de modo que la matriz de celda anular forme una estructura de panal.

En el documento EP 0 280 205 A2 se divulga un compresor radial con un difusor de palas conectado aguas abajo del propulsor. En el compresor radial, los choques de compresión que se producen delante de las palas en un anillo de paleta de guía radial deben estabilizarse. Para conseguir esto, las palas del anillo de paleta de guía radial se fabrican con dos longitudes y ranuras alternas diferentes, que están conectados a una cámara de depósito trasera, que están dispuestas de tal manera que las ranuras se colocan al menos aproximadamente en ángulo recto delante de las palas cortas y se extienden hasta el lado de los bordes de ataque de las palas largas más cercanas.

### Sumario de la invención

La solución reivindicada se especifica mediante una disposición de acuerdo con la reivindicación 1, y mediante una cavidad de acuerdo con la reivindicación 15. La reivindicación dependiente especifica realizaciones de la misma. En un aspecto de la divulgación, una disposición para desintonizar intencionalmente una cavidad formada adyacente a un buje de propulsor y otra cavidad formada cuando hay una cubierta de propulsor en una turbomáquina que tiene modos acústicos de "n" diámetros incluye al menos dos elementos de pala definidos dentro de un perímetro de una pared de la carcasa en un lado de buje del propulsor, en donde el lado de buje del propulsor se coloca opuesto a un lado de cubierta del propulsor. Los elementos de pala están posicionados para desintonizar las cavidades para minimizar las pulsaciones acústicas en las cavidades. Los al menos dos elementos de pala se colocan adyacentes al propulsor.

En otro aspecto, se pueden definir dos veces "n" elementos de pala en la pared de la carcasa, en donde "n" es el modo de cavidad de diámetro n que se va a desintonizar. Los elementos de pala pueden ser ranuras o crestas definidas en la pared de la carcasa. Por ejemplo, de un modo de diámetro n donde "n" = 5, se pueden definir al menos 20 elementos de pala en la pared de la carcasa. Diez elementos de pala pueden tener una profundidad mayor que los otros diez elementos de pala adyacentes. Diez elementos de pala pueden tener una anchura mayor que los otros diez elementos de pala adyacentes. Los elementos de pala pueden estar espaciados equidistantes entre sí. Los elementos de pala también pueden definirse en la pared de la carcasa en el lado de cubierta del propulsor.

En otro aspecto, una turbomáquina incluye una carcasa que tiene un extremo de entrada opuesto a un extremo de salida a lo largo de un eje longitudinal de la carcasa, un conjunto de árbol provisto dentro de la carcasa, el conjunto de árbol que se extiende desde el extremo de entrada hasta el extremo de salida, un rotor que tiene una pluralidad de propulsores giratorios que se extienden radialmente hacia fuera desde el conjunto de árbol, y al menos dos elementos de pala definidos dentro de un perímetro de la carcasa adyacente a uno de los propulsores. Los elementos de pala se colocan para desintonizar al menos una cavidad adyacente al propulsor para minimizar las pulsaciones acústicas en la cavidad para un modo de n diámetros, en donde los elementos de pala se colocan adyacentes al propulsor.

En otro aspecto, los elementos de pala pueden ser ranuras o crestas definidas en la pared de la carcasa. Se pueden definir al menos diez elementos de pala en la pared de la carcasa. Cinco elementos de pala pueden tener una profundidad mayor que los otros cinco elementos de pala. Cinco elementos de pala pueden tener una anchura mayor que los otros cinco elementos de pala. Los elementos de pala pueden estar espaciados equidistantes entre sí. Los elementos de pala pueden definirse en la pared de la carcasa en un lado de buje del propulsor. Los elementos de pala pueden definirse en la pared de la carcasa en un lado de cubierta del propulsor. Al menos dieciséis elementos de pala pueden definirse en la pared de la carcasa con un patrón de desintonización armónica específico.

En otro aspecto, se pueden definir hasta uno menos de cuatro veces "n" elementos de pala en la pared de la carcasa, donde "n" es el modo de cavidad de n diámetros que se va a desintonizar. Los elementos de pala pueden definirse en la pared de la carcasa en un lado de buje del propulsor. Los elementos de pala pueden definirse en la pared de la carcasa en un lado de cubierta del propulsor. Los elementos de pala pueden variar en un patrón lineal de tamaño mínimo a máximo alrededor de la circunferencia para desintonizar las cavidades para minimizar las pulsaciones acústicas en la cavidad. En otro aspecto, el número de elementos de pala se puede seleccionar de dos hasta uno menos de  $2 \times "n"$ . Por ejemplo, si el modo es un modo de 5 diámetros, entonces  $(2n-1)$  o nueve elementos de pala pueden seleccionarse para mitigar o eliminar el modo de 5 diámetros dentro del área que contiene los elementos de palas. En caso necesario, los nueve álabes aún pueden estar desintonizados para dar un patrón armónico de  $2 \times "n"$  u otro patrón desintonizado para reducir el ruido y/o la vibración del propulsor.

Estas y otras propiedades y características de la turbomáquina, así como los métodos de operación y funciones de los elementos relacionados de las estructuras y la combinación de partes y economías de fabricación, serán más

evidentes al considerar la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas con referencia a los dibujos adjuntos, formando todos ellos parte de la presente memoria descriptiva, en el que los números de referencia iguales designan partes correspondientes en las diversas figuras. Expresamente, ha de entenderse, sin embargo, que los dibujos se dan solo con fines de ilustración y descripción, y que no están concebidos como una definición de los límites de la invención. Como se usa en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones, la forma singular de "un", "el" y "la" incluyen referencias en plural a no ser que el contexto lo defina claramente de otra forma.

**Breve descripción de los dibujos**

- 10 La figura 1 es una vista en perspectiva parcial recortada de una turbomáquina de flujo centrífugo de etapas múltiples de acuerdo con una realización de la técnica anterior;
- la figura 2 es una vista en sección transversal esquemática de la turbomáquina mostrada en la figura 1;
- la figura 3 es una vista en sección transversal esquemática de una turbomáquina de una etapa de acuerdo con la presente divulgación;
- 15 la figura 4 es una vista en perspectiva frontal de un propulsor y un disco de cubierta de acuerdo con la presente divulgación;
- la figura 5 es una vista en perspectiva trasera del propulsor y el disco de cubierta de la figura 4;
- la figura 6 es una vista en sección transversal de la pared de la carcasa de la figura 3 que muestra una configuración de los elementos en forma de pala de acuerdo con un aspecto de la divulgación;
- 20 la figura 7 es una vista frontal de la pared de la carcasa de la figura 3 que muestra otra configuración de los elementos en forma de pala de acuerdo con un aspecto de la divulgación;
- la figura 8 es una vista frontal de una pared de la carcasa que incluye una disposición de diez ranuras; y
- la figura 9 es una vista frontal de una pared de la carcasa que incluye una disposición de veinte ranuras.

**25 Descripción de la divulgación**

A efectos de la descripción, en lo sucesivo en el presente documento, los términos "superior", "inferior", "derecha", "izquierdo/a", "vertical", "horizontal", "superior", "parte inferior", "lateral", "longitudinal", y sus derivados se relacionarán con la invención reivindicada tal como está orientada en las figuras de los dibujos.

30 Como se ha descrito anteriormente, las palas giratorias o propulsores 60 en una turbomáquina convencional 10 se excitan en vibraciones resonantes por a) las estelas del puntal del estator y/o del álabe aguas arriba y la interacción potencial del flujo con los puntales y los álabes aguas abajo, b) otras faltas de homogeneidad en la corriente de flujo formada por una distribución de presión circunferencial no uniforme, c) pulsaciones acústicas a la frecuencia de paso de la pala giratoria, múltiplos de la frecuencia de paso de la pala y/o del desprendimiento de vórtices de los puntales o álabes, lo que provoca a su vez una resonancia acústica coincidente del gas dentro de la carcasa. Las palas giratorias o propulsores 60 pueden excitarse a una gran amplitud cuando una frecuencia modal de pala corresponde a la frecuencia de rotación del árbol multiplicada por el número armónico de la falta de homogeneidad de flujo observada por la pala giratoria o propulsor 60.

40 La presente divulgación se refiere a un método de reducción del ruido de la cavidad para reducir la huella acústica, así como la excitación potencial de discos con palas adyacentes o propulsores de pulsaciones de presión acústica. El método considera las cavidades adyacentes al propulsor como discos rellenos de gas equivalentes con condiciones límite en los lados y extremos de las cavidades. Los modos acústicos dentro de las cavidades se ven afectados por el flujo arremolinado del gas dentro de las cavidades, de manera diferente en el lado de cubierta frente al lado de buje de la turbomáquina. Al agregar elementos en forma de pala para reemplazar los límites lisos básicos de las cavidades, un disco efectivo con palas se puede modificar con una desintonización intencional para reducir en gran medida la respuesta de los modos vibratorios del gas en las cavidades.

50 Con referencia a la figura 3, un propulsor 100 está alojado dentro de una carcasa 102 dentro de una turbomáquina, tal como la turbomáquina 10 mostrada en las figuras 1 y 2. La figura 3 ilustra una única etapa de una turbomáquina; sin embargo, un experto en la materia entenderá que los componentes específicos ilustrados en la figura 3 se puede adaptar fácilmente para su uso en turbomáquinas de múltiples etapas, tal como un compresor de flujo centrífugo de múltiples etapas. Una pluralidad de propulsores 100 puede estar separada en múltiples etapas a lo largo de la longitud axial del árbol. El propulsor 100 está configurado para girar alrededor del árbol durante el funcionamiento de la turbomáquina. En un aspecto, el propulsor 100 está acoplado de manera fija al árbol de forma que el propulsor 100 gira con la rotación del árbol. La carcasa 102 puede extenderse alrededor de un lado de cubierta 104 del propulsor 100 y un lado de buje 106 del propulsor 100. También se contempla que no se proporcione una cubierta con la turbomáquina, proporcionando de ese modo una configuración de propulsor "abierto". Una primera cavidad 108 se define en el lado de cubierta 104 del propulsor 100 y una segunda cavidad 110 se define en el lado de buje 106 del propulsor 100. En un aspecto, las cavidades 108, 110 se consideran equivalentes a discos llenos de gas provistos en los lados del propulsor 100. En un aspecto, al menos una cavidad 108, 110 se modifica de modo que los límites superficiales del gas contenido dentro de la cavidad 108, 110 tengan elementos en forma de pala 112, 114. En otro aspecto, ambas cavidades 108, 110 se modifican de modo que los límites superficiales del gas contenido dentro de las cavidades 108, 110 tienen elementos en forma de pala 112, 114 (también denominados "elementos de pala"). En un aspecto, los elementos en forma de pala 112, 114 son elementos en forma de pala no axisimétricos.

Con referencia a la figura 3, en un aspecto, los elementos en forma de pala 112, 114 son ranuras y/o crestas espaciadas alrededor de la circunferencia de las cavidades 108, 110. En otro aspecto, los elementos en forma de pala 112, 114 pueden ser nervaduras que se extienden hacia el interior de la cavidad. En otro aspecto, un proceso de mecanizado produce una longitud similar a una onda (también denominada forma de pico) que se espacia y posteriormente se modifica para dar un número deseado de elementos desintonizados efectivos en las cavidades 108, 110 para reducir en gran medida la respuesta de los modos vibratorios del gas en las cavidades 108, 110. El número de elementos en forma de pala 112, 114 se puede elegir para aplicar variaciones deseadas para reducir una respuesta de un modo o modos de diámetro particulares. Cuando se hace referencia a un modo de diámetro, debe entenderse que significa una configuración de pulsaciones de alta presión acústica separadas por áreas que tienen pulsaciones de baja presión acústica. Por ejemplo, un modo acústico de 5 diámetros tendría cinco áreas con pulsaciones de presión acústica alta alternando con cinco áreas que tienen pulsaciones de presión acústica baja. Por lo tanto, con referencia a la figura 8, cinco de los elementos en forma de pala 112 pueden tener una pulsación de presión acústica alta y los elementos en forma de pala adyacentes 112 pueden tener pulsaciones de presión acústica baja. Por ejemplo, un modo acústico de 5 diámetros de los gases dentro de las cavidades 108, 110 podría resonar con 15 veces la velocidad operativa, la frecuencia de paso de la pala giratoria del propulsor. Los modos de giro para la frecuencia de paso de la pala podrían tener cinco lóbulos debido a 15 propulsores que interactúan con 20 álabes de entrada 80 o 20 álabes difusores 120. Con un modo acústico giratorio a la frecuencia  $\omega$  con patrones "n", puede haber una variación de presión en la dirección circunferencial que es continua y se repite cada  $2\pi$  radianes, como se define por la geometría cilíndrica. Esta distribución de presión gira en  $(\omega / n)$  y genera, en cada punto estacionario, una presión fluctuante a la frecuencia  $\omega$ . El patrón barre las paredes del anillo de la cavidad a una velocidad  $(r \times \omega / n)$ , en la que r es el radio de la cavidad. Una o ambas de las cavidades 108, 110 en el lado de cubierta 104 y el lado de buje 106 podrían tener 10 elementos en forma de pala 112, 114 a la misma distancia, tales como ranuras y/o crestas, mecanizadas en las paredes verticales de la carcasa 102. También se contempla que pueden usarse grados alternativos de separación entre los elementos en forma de pala 112, 114. Entonces se puede seleccionar una desintonización intencional para dar, por ejemplo, un patrón de desintonización de 10 diámetros para reducir en gran medida la respuesta de los modos vibratorios del gas en las cavidades 108, 110. En un aspecto, para proporcionar la desintonización intencional, un patrón con 20 elementos en forma de pala 112, 114, tales como ranuras y/o crestas, daría un patrón de 10 diámetros o, como alternativa, podría tener cada segunda ranura en el patrón dos veces más profunda y/o ancha que la ranura adyacente, tal y como se muestra en las figuras 6 y 7. Debe entenderse que la configuración de los elementos en forma de pala 112 mostrados en las figuras 6 y 7 también se pueden usar para los elementos en forma de pala 114 en el lado de buje 106 del propulsor 100. En otro aspecto, la configuración de los elementos en forma de pala 112 en el lado de cubierta 104 del propulsor 100 podría ser diferente de la configuración de los elementos en forma de pala 114 en el lado de buje 106 del propulsor 100. En otro aspecto, un patrón podría tener 20 elementos en forma de pala 112, 114, tales como ranuras, crestas y/o formas de pico. Usando estos patrones de elementos en forma de pala 112, 114, se reducen las pulsaciones acústicas y se minimiza la respuesta del propulsor a 20 veces la velocidad.

En caso necesario, el número de elementos en forma de pala 112, 114 para desintonizar puede elegirse dependiendo de si el armónico de los álabes estacionarios es mayor o menor que el armónico de las palas giratorias. En un ejemplo en el que el armónico de los álabes es mayor que el armónico de las palas que pasan con  $2 \times "n"$  elementos en forma de pala 112, 114, los modos de giro debido a la interacción con la frecuencia de paso de la pala giratoria rotarán en una dirección opuesta a la de los álabes estacionarios y cancelarán algunas de las pulsaciones. Por ejemplo, si el modo de 5 diámetros se debe a la diferencia de 20 álabes estacionarios y 15 palas giratorias, entonces se utilizarían 10 elementos en forma de pala 112, 114 de modo que los modos de giro estarían en una dirección opuesta a los de los 20 álabes estacionarios. Las pulsaciones acústicas debidas a los elementos en forma de pala 112, 114 contrarrestarían las provocadas por los álabes. En un ejemplo donde el número de álabes estacionarios es menor que el número de palas giratorias, se utilizarían cuatro veces "n" elementos en forma de pala 112, 114. Por ejemplo, si el modo de 5 diámetros se debe a la diferencia de 10 álabes estacionarios y 15 palas giratorias, 20 elementos en forma de pala 112, 114 se utilizarían de modo que los modos de giro giraran en direcciones opuestas a los de las diez álabes estacionarios. Las pulsaciones acústicas debidas a los elementos en forma de pala 112, 114 contrarrestarían las provocadas por los álabes. A modo de ejemplo de la presente divulgación, como se muestra en la figura 8, los elementos en forma de pala 112 pueden fresarse en los diafragmas aguas arriba y aguas abajo en la superficie de la cavidad entre el diafragma y el propulsor. En este ejemplo, diez elementos en forma de pala 112 están espaciados por igual alrededor de la circunferencia. En este ejemplo, cinco elementos en forma de pala 112 más grandes están separados 72 grados entre sí. Los elementos en forma de pala 112 más pequeños están espaciados por igual entre cada uno de los elementos en forma de pala 112 más grandes. Cada elemento en forma de pala 112 puede tener una longitud de 3,175 cm (1,25 pulgadas) ubicado en un radio interior de 12,3825 cm (4,875 pulgadas). Los elementos en forma de pala 112 más grandes pueden tener 1,27 cm (0,5 pulgadas) de ancho y 0,635 cm (0,25 pulgadas) de profundidad. Los elementos en forma de pala 112 más pequeños pueden tener 0,635 cm (0,25 pulgadas) de ancho y 0,3175 cm (0,125 pulgadas) de profundidad. La figura 9 una disposición similar de elementos en forma de pala 112. Sin embargo, esta disposición incluye veinte elementos en forma de pala 112, incluyendo diez elementos en forma de pala 112 más grandes y diez elementos en forma de pala 112 más pequeños. También debe entenderse que los elementos en forma de pala 114 pueden disponerse en disposiciones similares a las descritas anteriormente.

En otro aspecto, incluyendo los elementos en forma de pala 112, 114 dentro de una de las cavidades 108, 110, la preocupación por los modos circulares se elimina al tener un número diferente de elementos en forma de pala 112,

114 que las palas giratorias en el disco adyacente. Incluso los modos de 1 diámetro que son menos preocupantes estructuralmente podrían tener elementos en forma de pala 112, 114 para reducir las pulsaciones acústicas. En otros aspectos, las pulsaciones de frecuencia de paso de la pala en los lados de los discos excitan modos de placa con alto movimiento cerca del diámetro exterior del disco. En este aspecto, los elementos en forma de pala 112, 114 dentro de las cavidades 108, 110 están separados y modificados dependiendo de los ángulos de fase relativos de las pulsaciones acústicas frente al modo de placa.

Las modificaciones a una o ambas de las cavidades 108, 110 pueden estar separadas para reducir la respuesta de los discos a uno o más modos de gas, pero las modificaciones también pueden ser además de la desintonización estructural del disco con palas como se usa en la técnica anterior para tener una fiabilidad aún mayor. En particular, junto con los elementos en forma de pala 112, 114 proporcionados en la carcasa 102, elementos similares en forma de pala, tales como ranuras, crestas y/o protuberancias en forma de festón, podría proporcionarse en el disco o cubierta 65 del propulsor 100 orientado hacia las cavidades 108, 110 para reducir aún más la respuesta. Como alternativa, estos podrían servir como elementos en forma de pala que desintonizan las cavidades llenas de fluido adyacentes. Debe entenderse que el término "fluido" utilizado a lo largo de esta descripción abarca gases, líquidos y mezclas de gas/líquido. Los modos acústicos se verían afectados por los cambios en el flujo de remolino del gas dentro de las cavidades, de manera diferente en el lado de cubierta frente al lado de buje de la turbomáquina. Las modificaciones de la cavidad podrían usar mecanizado directo y/o soldadura para formar el elemento en forma de pala 112, 114 en la carcasa 102 o utilizar insertos que pueden instalarse y reemplazarse en las cavidades 108, 110 si es necesario. Los elementos en forma de pala 112, 114 pueden desgastarse durante el uso de la turbomáquina y puede ser necesario reformarlos o redefinirlos. También se contempla que se podrían añadir a las cavidades 108, 110 elementos en forma de pala adicionales para tener otra función dentro de las cavidades 108, 110, tal como reducir el remolino de flujo en los sellos de la turbomáquina, reduciendo la carga de empuje o reduciendo el punto de flujo cuando la pérdida del compresor o turbomáquina comienza en la punta del propulsor o la entrada del difusor.

En otros aspectos, además de los propulsores del compresor, la disposición de elementos en forma de pala puede usarse para desintonizar cualquier cavidad o anillo que tenga formas de modo diametral u otra frecuencia de pulsación de presión de patrón, excitado por diversas fuentes, mitigando la preocupación relacionada con las estructuras, incluyendo componentes giratorios y estacionarios, y/o problemas de ruido ambiental. Las bombas de manejo de líquidos similares, los compresores axiales, los ventiladores, así como las turbinas de vapor o de gas, son turbomáquinas que podrían utilizar este método divulgado. Otras posibles aplicaciones para la disposición de elementos en forma de pala desintonizada para reducir la respuesta de los modos acústicos incluyen el manejo de fluidos, incluidos los mecanismos de aire, tales como motores, maquinaria, celdas de combustible, tuberías, conductos, difusores, boquillas, válvulas, silenciadores, amortiguadores, sellos, intercambiadores de calor, fuselajes, neumáticos y ruedas, cohetes, cámaras de combustión, vehículos, altavoces y ventanas de doble panel.

Con referencia a las figuras 4 y 5, los elementos en forma de pala 112 están definidos en una pared de diafragma 118 adyacente a un disco de cubierta 120 en el lado de cubierta del propulsor 100 en la turbomáquina. En un aspecto, dos diagramas 122a, 122b definen cavidades para recibir el propulsor 100. Los elementos en forma de pala 112 pueden definirse en la pared de diafragma 118 de uno o ambos diafragmas 122a, 122b. Uno o más elementos en forma de pala 116 están espaciados circunferencialmente alrededor de la pared de diafragma 118. En otro aspecto, 20 elementos en forma de pala 112 están definidos en cada diafragma 122a, 122b a los lados del propulsor 100. En un aspecto, los elementos en forma de pala 112 están separados 18 grados entre sí. Como algunos modos acústicos están acoplados entre sí, ambas cavidades y/o los lados del propulsor podrían tener elementos en forma de pala que están ubicados fuera de fase entre sí para proporcionar una desintonización adicional.

Si bien varios aspectos de la turbomáquina y los elementos en forma de pala se muestran en las figuras adjuntas y se describen en detalle anteriormente en el presente documento, otros aspectos serán evidentes para, y fácilmente realizados por, los expertos en la materia sin apartarse del alcance de las reivindicaciones. En consecuencia, la descripción anterior está concebida para ser ilustrativa más que restrictiva. La invención descrita anteriormente en el presente documento se define mediante las reivindicaciones adjuntas y todos los cambios a la invención que caen dentro del significado de las reivindicaciones deben quedar incluidos dentro de su alcance.

REIVINDICACIONES

1. Una disposición para desintonizar intencionalmente una cavidad formada adyacente a un buje de propulsor y otra cavidad formada cuando se proporciona una cubierta de propulsor en una turbomáquina que tiene modos acústicos de "n" diámetros, estando la disposición caracterizada por
- 5 al menos dos elementos de pala (114) definidos dentro de un perímetro de una pared de la carcasa en un lado de buje (106) del propulsor (100), en donde el lado de buje (106) del propulsor (100) está opuesto a un lado de cubierta (104) del propulsor (100),
- 10 en donde los elementos de pala (114) están situados para desintonizar las cavidades (108, 110) para minimizar las pulsaciones acústicas en las cavidades (108, 110), en donde los al menos dos elementos de pala (114) se situados adyacentes al propulsor (100).
2. La disposición de acuerdo con la reivindicación 1, en donde los elementos de pala (114) son ranuras o crestas definidas en la pared de la carcasa.
- 15 3. La disposición de acuerdo con la reivindicación 2, en donde al menos diez elementos de pala (114) están definidos en la pared de la carcasa con un patrón de desintonización armónica específico.
- 20 4. La disposición de acuerdo con la reivindicación 3, en donde dos veces "n" elementos de pala (114) tienen una profundidad mayor que los otros dos veces "n" elementos de pala o dos veces "n" elementos de pala (112) tienen una anchura mayor que los otros dos veces "n" elementos de pala (114).
- 25 5. La disposición de acuerdo con la reivindicación 2, en donde los elementos de pala (114) están espaciados equidistantes entre sí.
6. La disposición de acuerdo con la reivindicación 1, en donde otros elementos de pala (112) también están definidos en la pared de la carcasa en el lado de cubierta (104) del propulsor.
- 30 7. La disposición de acuerdo con la reivindicación 2, en donde al menos ocho elementos de pala (114) están definidos en la pared de la carcasa con un patrón de desintonización armónica predeterminado con un patrón de desintonización armónica específico.
- 35 8. La disposición de acuerdo con la reivindicación 1, en donde  $(2n-1)$  elementos de pala (114) están definidos en una o más de las cavidades (108, 110) con o sin un patrón de desintonización o en donde los elementos de pala (114) están definidos en una o más de las cavidades (108, 110) para desintonizar un modo acústico con fase opuesta al modo estructural del elemento giratorio.
- 40 9. La disposición de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además: una carcasa (102) que tiene un extremo de entrada opuesto a un extremo de salida a lo largo de un eje longitudinal de la carcasa (102); un conjunto de árbol provisto dentro de la carcasa (102), el conjunto de árbol que se extiende desde el extremo de entrada hasta el extremo de salida; y un rotor que tiene una pluralidad de propulsores giratorios (100) con o sin cubiertas que se extienden radialmente hacia fuera desde el conjunto de árbol.
- 50 10. La disposición de acuerdo con la reivindicación 9, en donde los elementos de pala (114) son ranuras o crestas definidas en la pared de la carcasa, en particular, se definen al menos cuatro veces "n" elementos de pala (112) en la pared de la carcasa.
- 55 11. La disposición de acuerdo con la reivindicación 10, en donde dos veces "n" elementos de pala (114) tienen una profundidad mayor que los otros dos veces "n" elementos de pala o dos veces "n" elementos de pala (114) tienen una anchura mayor que los otros dos veces "n" elementos de pala (114).
- 60 12. La disposición de acuerdo con la reivindicación 10, en donde los elementos de pala (114) están espaciados equidistantes entre sí.
13. La disposición de acuerdo con la reivindicación 9, en donde otros elementos de pala (112) están definidos en la pared de la carcasa en un lado de cubierta (104) del propulsor (100) o los elementos de pala (112, 114) se proporcionan en al menos uno de en fase y fuera de fase entre sí en la pared
- 65

de la carcasa y/o al menos uno de en fase y fuera de fase en los lados del buje del propulsor y una cubierta.

14. La disposición de acuerdo con la reivindicación 10, en donde al menos ocho elementos de pala (114) están definidos en la pared de la carcasa con un patrón de desintonización armónica específico.

5

15. Una cavidad en un mecanismo o dispositivo de manejo de gas o líquido que comprende la disposición de acuerdo con la reivindicación 1.

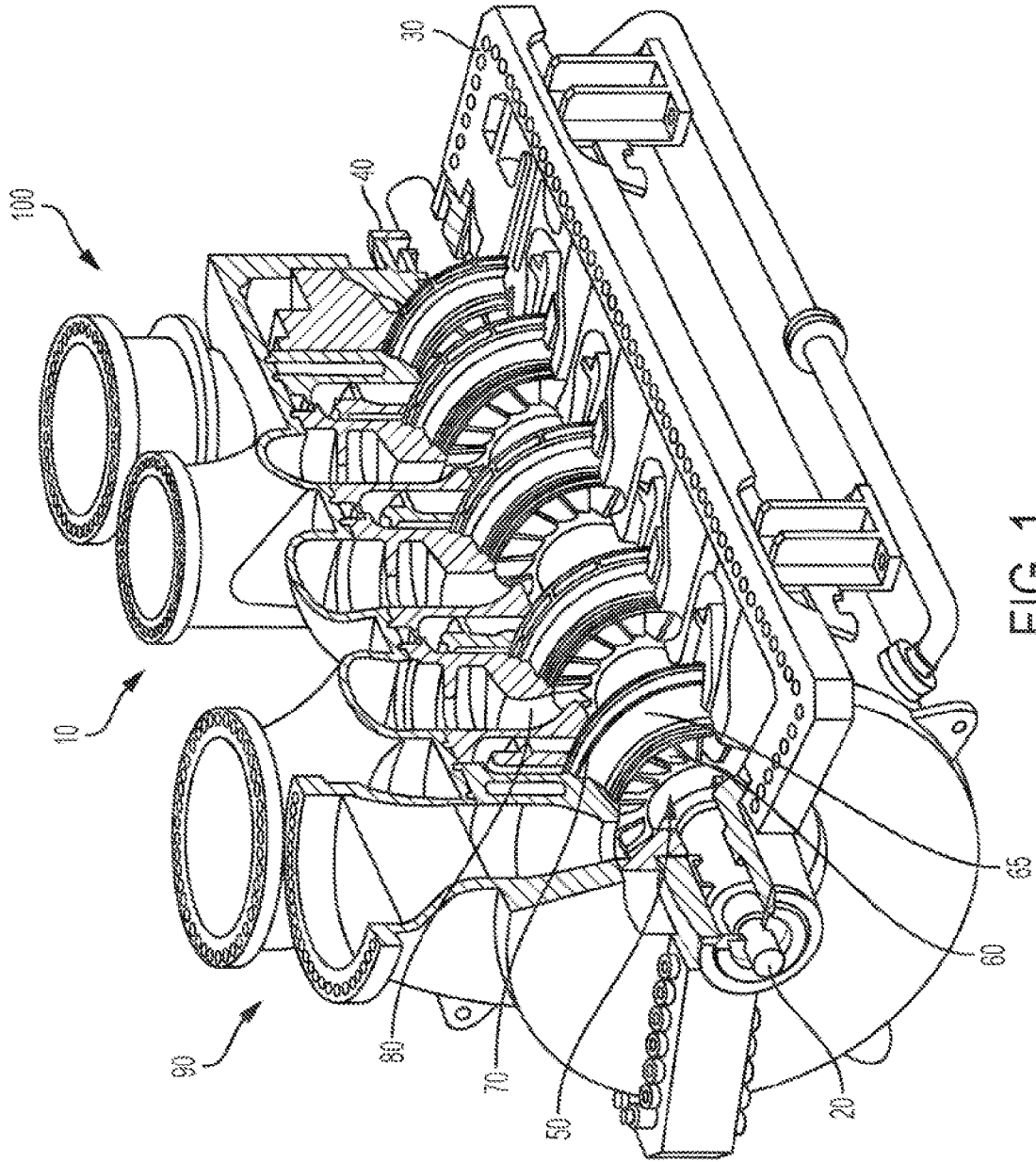


FIG.1  
TÉCNICA ANTERIOR

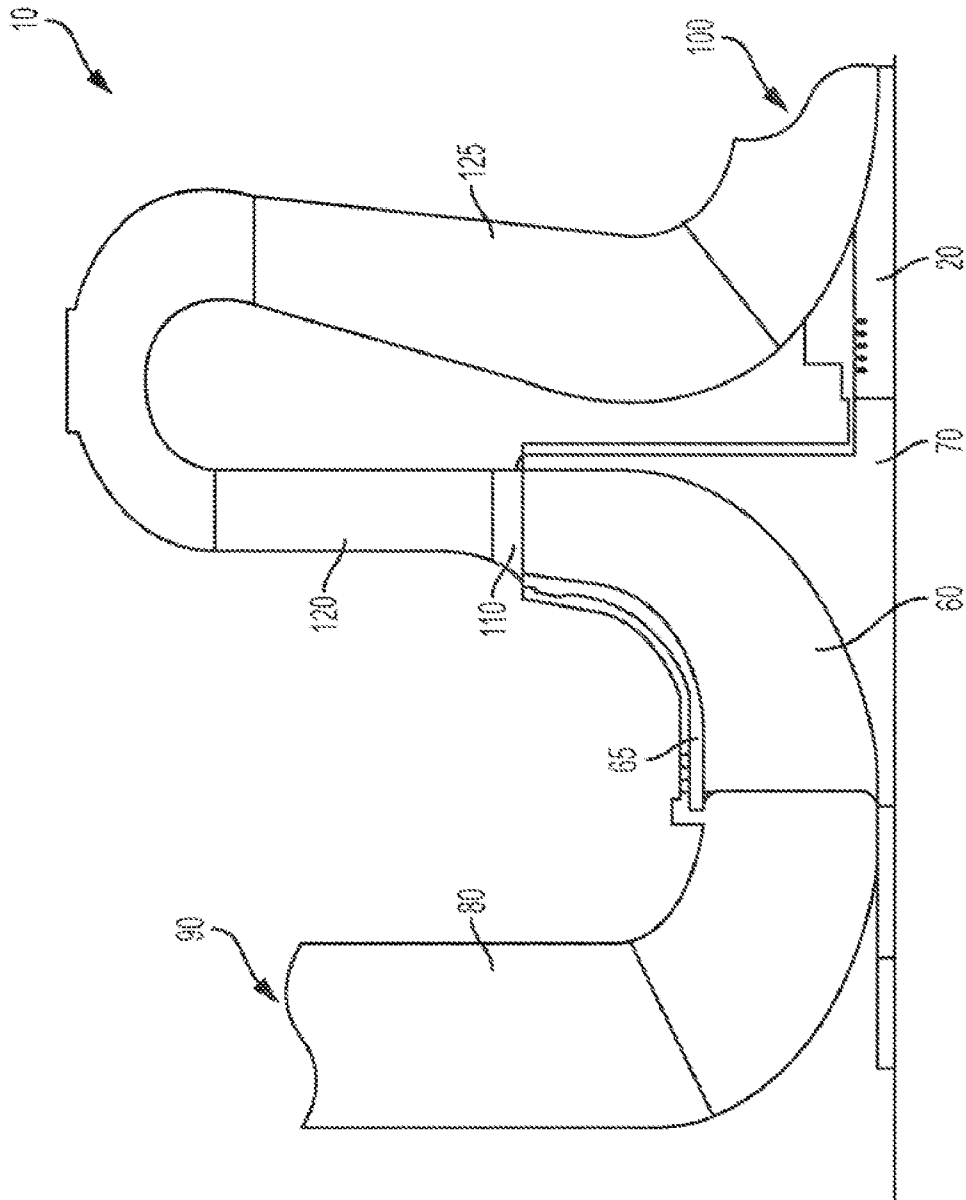


FIG. 2  
TÉCNICA ANTERIOR

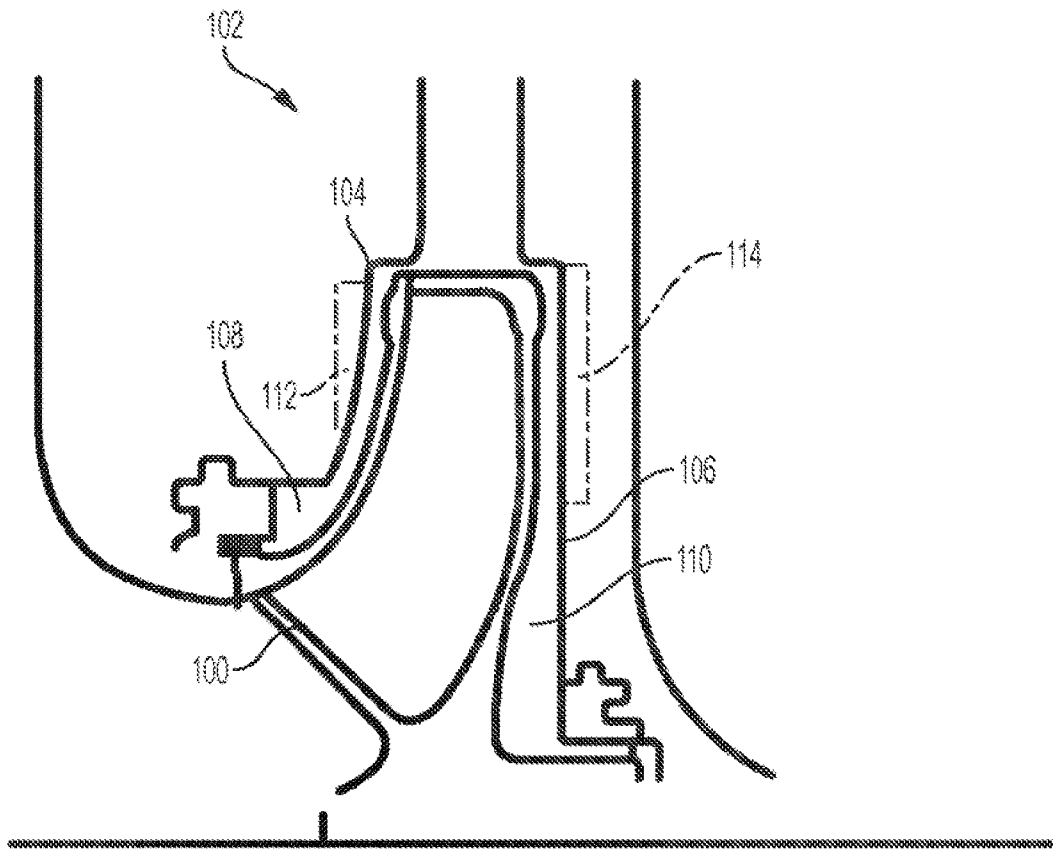


FIG. 3

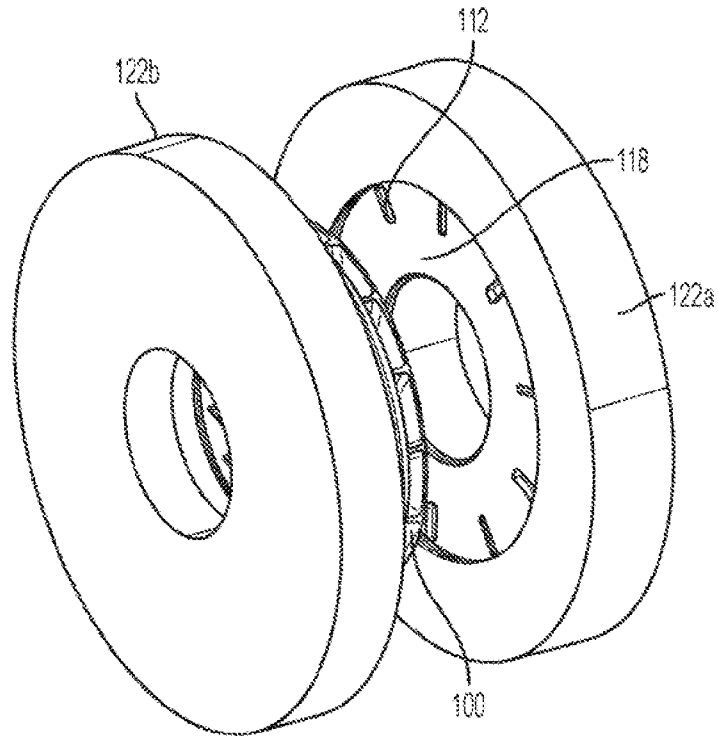


FIG. 4

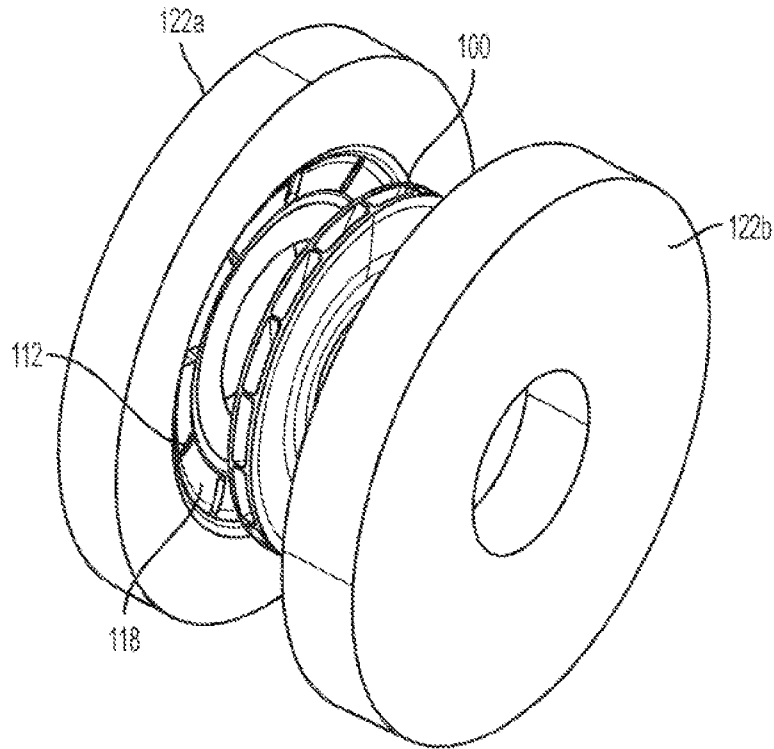


FIG. 5

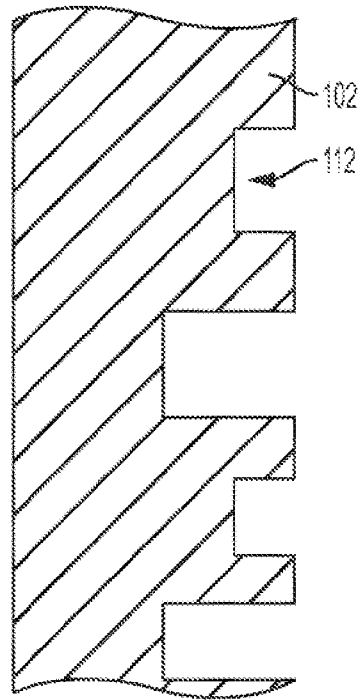


FIG. 6

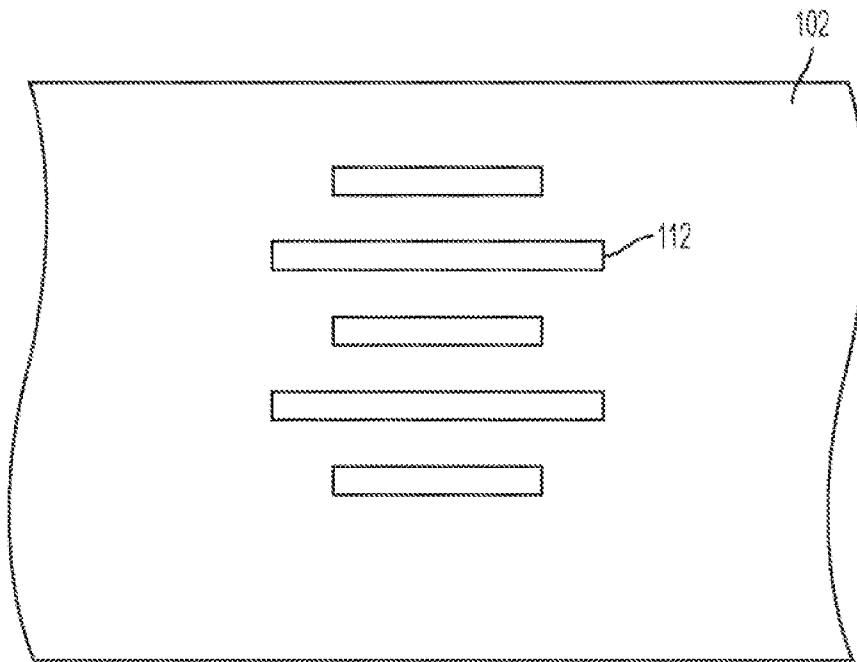


FIG. 7

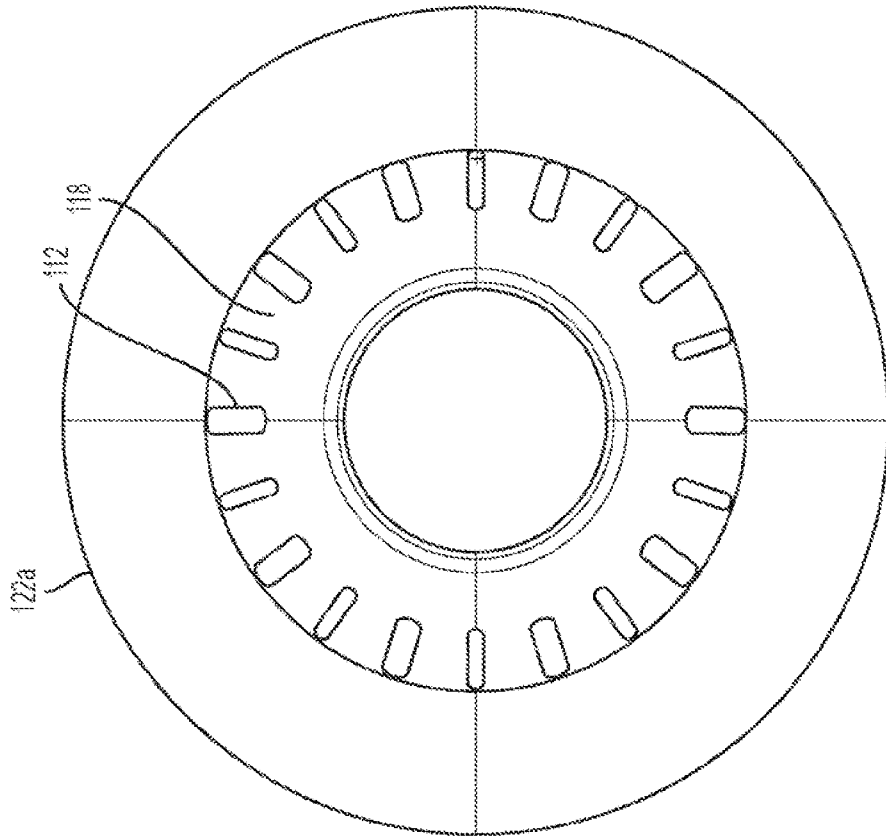


FIG. 9

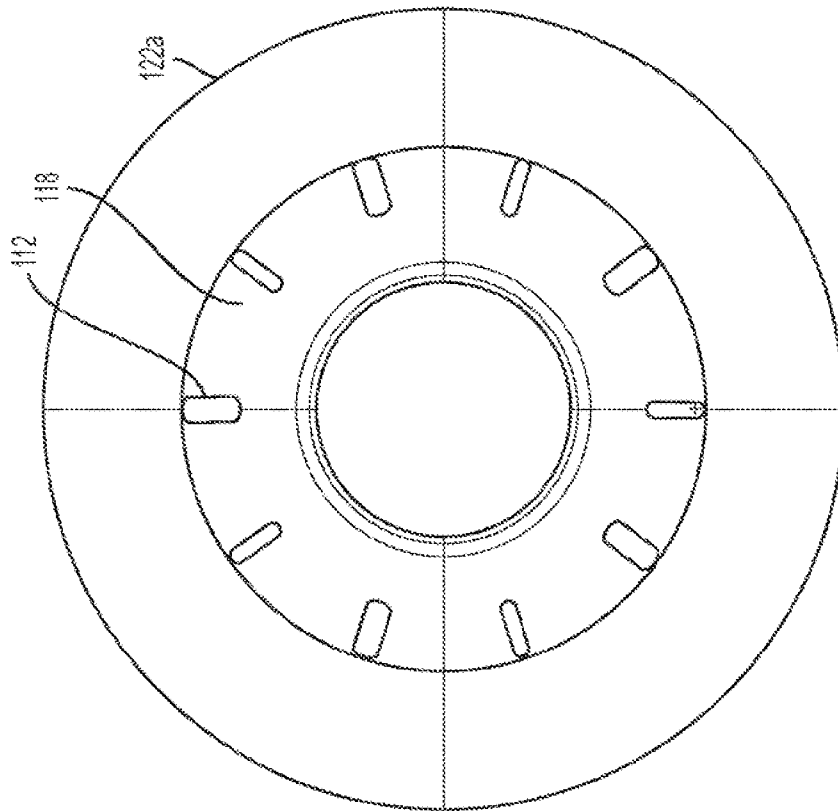


FIG. 8