

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 026**

51 Int. Cl.:

F01D 5/18 (2006.01)

F01D 9/04 (2006.01)

F02C 7/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.07.2014 PCT/US2014/048494**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.04.2015 WO15057288**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.07.2014 E 14752689 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.09.2017 EP 3058178**

54 Título: **Motor de turbina de gas con refrigeración por metal líquido**

30 Prioridad:

18.10.2013 US 201314056992

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

27.11.2017

73 Titular/es:

**FLORIDA TURBINE TECHNOLOGIES, INC.
(100.0%)
1701 Military Trail, Suite 110
Jupiter, Florida 33458, US**

72 Inventor/es:

**BROSTMAYER, JOSEPH D.;
APPLEBY JR., JOHN W. y
JONES, RUSSELL**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 644 026 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

Motor de turbina de gas con refrigeración por metal líquido

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere en general a un motor de turbina de gas y, más específicamente, a un circuito de refrigeración de metal líquido, de bucle cerrado para la turbina de un motor de turbina de gas industrial.

Antecedentes de la invención

10 Los motores de turbina de gas incluyen, por lo general, un compresor para comprimir el aire que se hace pasar a una cámara de combustión y se quema con un combustible para producir un flujo de gas caliente. Este flujo de gas caliente se hace pasar a través de una turbina que incluye normalmente tres de los cuatro niveles de los álabes del estator y de las palas del rotor para extraer energía de la corriente de gas caliente para accionar el compresor y, en el caso de una turbina de gas industrial motor (IGT), un generador eléctrico.

15 El rendimiento del motor se puede aumentar haciendo pasar un flujo de gas de mayor temperatura en la turbina. Una temperatura normal de entrada de turbina para un motor es 3000 °F (1.648,89 °C), que es lo suficientemente alta como para fundir las primeras superficies aerodinámicas de los niveles. Para que las partes de la turbina soporten este ambiente de temperatura extrema, las superficies aerodinámicas se refrigeran mediante el paso de aire de refrigeración a través de un circuito de refrigeración complejo formado dentro de las superficies aerodinámicas. El aire comprimido que ha hecho pasar a través de las superficies aerodinámicas para la refrigeración se purga del compresor. Alrededor del 20 % de la salida del compresor se utiliza para la refrigeración de las diversas superficies aerodinámicas de la turbina. Sin embargo, puesto que el aire de refrigeración no realiza ningún trabajo en el motor, esto es energía perdida.

20 Es conocido purgar una porción del aire comprimido producido en la sección del compresor de un motor de turbina de gas para su uso como medio de refrigeración en la porción de turbina del motor. El aire comprimido se puede inyectar en el flujo de gas de combustión para proporcionar una película aislante sobre las superficies de la turbina, o se puede hacer pasar a través de pasos de refrigeración interiores formados en las partes de turbina calientes en un sistema de refrigeración cerrado. Un ejemplo de un dispositivo de la técnica anterior se ilustra en la Patente de Estados Unidos n.º. 5.782.076, concedida a Huber *et al.* el 21 de julio de 1998. Un sistema de refrigeración de bucle cerrado se utiliza para mejorar la eficacia de refrigeración del motor de modo que no se requiere aire comprimido procedente del compresor. La patente de Estados Unidos n.º. 6.295.803 expedida a Bancalari el 2 de octubre de 2001 divulga un motor de turbina de gas que tiene un circuito de refrigeración de bucle cerrado para transferir calor de la sección de turbina caliente al aire comprimido producido por la sección del compresor. El sistema de refrigeración de bucle cerrado incluye un intercambiador de calor dispuesto en la trayectoria de flujo del aire comprimido entre la salida de la sección de compresor y la entrada de la cámara de combustión. Un fluido de refrigeración se puede impulsar por una bomba situada fuera de la carcasa del motor o una bomba montada sobre el eje del rotor. El circuito de refrigeración puede incluir un orificio para hacer que el fluido de refrigeración cambie de un estado líquido a un estado gaseoso, lo que aumenta la capacidad de transferencia de calor del circuito de refrigeración. La patente de Bancalari divulga que el fluido de refrigeración puede ser vapor, aire, glicol, metales líquidos, u otro medio de refrigeración.

35 Los solicitantes de la presente invención han descubierto que los metales líquidos son muy adecuadas como fluidos de refrigeración para este tipo de sistema de refrigeración de turbina de bucle cerrado; sin embargo, la mayoría de los metales líquidos reaccionan muy fuertemente con los materiales metálicos que se utilizan en la turbina, tales como los metales que componen los álabes y palas. Por ejemplo, los motores modernos incluyen normalmente palas del rotor de turbina y álabes del estator fabricados de aleaciones basadas en hierro, níquel columbio, y/o cobalto. El bismuto, un buen metal líquido para procedimientos de transferencia de calor, reaccionará rápidamente con aleaciones basadas en níquel o cobalto de tal manera que ambos materiales sean destruidos en minutos. Por tanto, lo que se necesita es una combinación de materiales para la turbina y el metal líquido que no reaccionen entre sí.

Sumario de la invención

50 La presente invención proporciona ventajosamente un circuito de refrigeración de bucle cerrado para un motor de turbina de gas como se define en la reivindicación 1, en el que las superficies aerodinámicas de la turbina y las partes del circuito de refrigeración se componen de un material que no reacciona con un fluido de refrigeración de metal líquido. Una de tales combinaciones puede ser molibdeno (Mo), aleaciones de molibdeno, o aleaciones de tántalo (Ta) utilizadas como el metal de la superficie aerodinámica, siendo el fluido de refrigeración de metal líquido bismuto, plomo, o una combinación de los mismos, incluyendo una combinación de bismuto y/o plomo con indio (In). El fluido de refrigeración de metal líquido se puede hacer pasar a través de una parte del motor que está expuesta al flujo de gas a alta temperatura, tales como álabes del estator o paneles de cámaras de combustión, para proporcionar refrigeración para estas partes. Por ejemplo, los álabes del estator de la turbina pueden componerse de una súper-aleación basada en níquel, y pueden incluir un paso de refrigeración en su interior que se alinea con o define por un inserto o revestimiento sobre las superficies internas del paso de refrigeración que se fabrica a partir

de tántalo (Ta) y/o molibdeno, y en el que un fluido de refrigeración de metal líquido de bismuto (Bi) se puede utilizar para refrigerar los álabes del estator. Los álabes del estator se pueden formar a partir de una aleación basada en níquel estándar (Ni) o de molibdeno u otro metal. El bismuto líquido tiene una reactividad limitada con el tántalo o molibdeno a las muy altas temperaturas a las que un fluido de refrigeración estaría expuesto en una turbina de un motor de turbina de gas. Por ejemplo, los canales revestidos con molibdeno pueden separar el metal líquido de la aleación basada en níquel. Es decir, los canales revestidos pueden segregar el flujo de fluido corrosivo y evitar que ataque los materiales metálicos de los álabes.

En otra realización de la presente invención, un álabe del estator de la turbina se puede fabricar a partir de un material metálico normal tal como aleaciones de metales féreos, aleaciones de níquel o aleaciones de cobalto (Co), y un inserto o revestimiento fabricado a partir de molibdeno o tántalo se puede haber situado en el interior para proteger el material de álabe exterior de reaccionar con un metal líquido, tal como bismuto, plomo (Pb), indio, o mezclas de aleaciones de los mismos. El inserto o revestimiento puede separar el metal líquido del material de álabe principal y permitir que el calor sea conducido del material de álabe principal al refrigerante de metal líquido que se hace fluir a través del inserto. Otros recubrimientos para el material de álabe pueden incluir un recubrimiento de óxido, o una fina capa de vidrio, carburo de silicio o nitruro de silicio.

Un tubo de transporte de metal líquido se puede conectar a una abertura formada en el álabe para llevar el refrigerante de metal líquido dentro y fuera del álabe. La conexión puede incluir una superficie de ajuste cónica compresiva con un asiento de molibdeno para el recubrimiento de molibdeno o capa formada en el tubo y el álabe para evitar la exposición de molibdeno al oxígeno en el aire. El accesorio de ajuste puede incluir una junta de disco de platino compatible (Pt) para permitir la expansión térmica entre el accesorio de ajuste y la abertura de álabes de modo que se mantiene un montaje hermético, seguro para evitar la contaminación de oxígeno del molibdeno.

El álabe se puede formar moldeando una aleación basada en níquel alrededor de un canal de refrigeración de metal líquido de molibdeno preformado. Accesorios de ajuste, tales como accesorios de ajuste cónicos se pueden formar, a continuación, en las aberturas de los pasos de metal líquido dentro de los álabes para u conexión a las tuberías o tubos de metal líquido exteriores. En otra realización, el álabe se puede formar moldeando una aleación basada en níquel y, a continuación, formar pasos roscados en su interior para la inserción de tubos de molibdeno encapsulados con níquel para transportar el metal líquido.

En otra realización, un álabe del estator se puede formar moldeando una aleación basada en níquel alrededor de un revestimiento del canal de refrigeración de molibdeno para el transporte del metal líquido, en el que el álabe incluye canales de refrigeración de metal líquido y canales de refrigeración de aire de refrigeración en la sección de borde de salida fina del álabe con orificios de descarga de aire de refrigeración del borde de salida para que el aire de refrigeración se pueda utilizar para refrigerar las secciones finas y descargarse después del álabe. Una capa fina de sodio situada entre la superficie aerodinámica y el canal de refrigerante de metal líquido que mantiene un medio de transferencia de calor incluso cuando la expansión térmica de la superficie aerodinámica con respecto al canal de refrigerante de metal líquido cambia la separación.

Breve descripción de los dibujos

Una comprensión más completa de la presente invención, y de las ventajas concomitantes y características de la misma, se entenderá más fácilmente haciendo referencia a la siguiente descripción detallada cuando se considera junto con los dibujos adjuntos en los que:

- la Figura 1 muestra una vista esquemática de una primera realización de un circuito de refrigeración de bucle cerrado para un motor de turbina de gas de acuerdo con la presente invención;
- la Figura 2 muestra una vista esquemática de una segunda realización de un circuito de refrigeración de bucle cerrado para un motor de turbina de gas de acuerdo con la presente invención;
- la Figura 3 muestra una vista esquemática de una tercera realización de un circuito de refrigeración de bucle cerrado para un motor de turbina de gas de acuerdo con la presente invención;
- la Figura 4 muestra una vista esquemática de un circuito de refrigeración de metal líquido de bucle cerrado utilizado en un intercambiador de calor expuesto a un flujo de fluido a alta temperatura de acuerdo con la presente invención;
- la Figura 5 muestra una vista en sección transversal de un álabe del estator de la turbina con un inserto de metal asegurado en su interior para la refrigeración del álabe utilizando un metal líquido;
- la Figura 6 muestra una vista en sección transversal de una primera realización de un tubo de refrigeración de metal líquido;
- la Figura 7 muestra una vista en sección transversal de una segunda realización de un tubo de refrigeración de metal líquido;
- la Figura 8 muestra una vista en perspectiva de una pala de turbina con pasos de refrigeración de metal líquido;
- la Figura 9 muestra una vista en sección transversal de un diseño de conexión del tubo de refrigeración de metal líquido;
- la Figura 10 muestra una vista en primer plano de una sección del tubo mostrada en la Figura 9;
- la Figura 11 muestra una vista en sección transversal de una primera realización de una interfaz entre dos metales utilizados en un tubo de refrigeración;

la Figura 12 muestra una vista en sección transversal de una tercera realización de una interfaz entre dos metales utilizados en un tubo de refrigeración;

la Figura 13 muestra una representación de una primera realización de un procedimiento para formar proyecciones a partir de uno de los materiales utilizados en una refrigeración de metal líquido;

5 la Figura 14 muestra una representación de una segunda realización de un procedimiento para formar proyecciones a partir de uno de los materiales utilizados en un tubo de refrigeración de metal líquido;

la Figura 15 muestra una vista en sección transversal de un álabe con una fundición de tubo de refrigeración de metal líquido dentro de un material de álabe;

10 la Figura 16 muestra una vista en sección transversal de un álabe con un tubo de refrigeración de metal líquido, teniendo el tubo de refrigeración conexiones de tubo exteriores;

la Figura 17 muestra una vista en perspectiva de un álabe con un circuito de refrigeración de metal líquido y un circuito de refrigeración de aire comprimido;

la Figura 18 muestra una vista en sección transversal a lo largo de una dirección de la envergadura de una primera realización de un circuito de refrigeración de álabes;

15 la Figura 19 muestra una vista en sección transversal a lo largo de una dirección de la envergadura de una segunda realización de un circuito de refrigeración de álabes;

la Figura 20 muestra una vista en perspectiva de una pieza de refrigeración de metal líquido que se utiliza para formar un álabe refrigerado;

20 la Figura 21 muestra una pieza de paso de refrigeración de metal líquido individual que se puede utilizar para formar un álabe refrigerado;

la Figura 22 muestra una primera etapa en un procedimiento de formación de un álabe que tiene pasos de refrigeración de metal líquido en su interior;

la Figura 23 muestra una segunda etapa en un procedimiento de formación de un álabe que tiene pasos de refrigeración de metal líquido en su interior;

25 la Figura 24 muestra una tercera etapa en un procedimiento de formación de un álabe que tiene pasos de refrigeración de metal líquido en su interior;

la Figura 25 muestra una vista en sección transversal de una conexión de fluido de gas purgado que se puede utilizar en un sistema de refrigeración de metal líquido de bucle cerrado; y

30 la Figura 26 muestra una vista en sección transversal de un álabe del estator y del tubo de refrigeración de metal líquido rodeado por una cámara de sodio líquido.

Descripción detallada de la invención

Con referencia a continuación a las Figuras 1 y 2, se muestran vistas en sección transversal de un sistema de refrigeración de bucle cerrado para un motor de turbina de gas. El sistema de bucle cerrado puede incluir un compresor 11 conectado de forma giratoria por un eje 12 de rotor a una turbina 13, una cámara 14 de combustión
35 situada entre el compresor 11 y una turbina 13, dos niveles de álabes 15 del estator y palas 16 del rotor, un intercambiador 17 de calor, una bomba 18 de fluido de refrigeración, y conductos 19 de fluido de refrigeración que forman un paso de fluido de refrigeración de bucle cerrado con los álabes 15 del estator refrigerados.

El intercambiador 17 de calor se puede situar en el interior del núcleo del motor como en la patente de Bancalari o se puede situar fuera como se muestra, por ejemplo, en la Figura 1. El intercambiador 17 de calor puede transferir
40 calor de los álabes 15 del estator al aire comprimido que entra en la cámara 14 de combustión. El aire comprimido descargado desde el compresor 11 se puede hacer pasar a través del intercambiador 17 de calor y después en la cámara 14 de combustión. El circuito de refrigeración de bucle cerrado puede incluir una trayectoria de flujo de fluido desde la bomba 18 y en el circuito de refrigeración de uno o más niveles de álabes 15 del estator, a través del intercambiador 17 de calor, y después de nuevo en la bomba 18. El sistema mostrado en la Figura 1 puede ser
45 generalmente el mismo sistema que el mostrado en la Figura 2, pero álabes 15 del estator y palas 16 del rotor adicionales se muestran en la Figura 1 para su ilustración.

Los álabes 15 del estator que tiene pasos de refrigeración interiores pueden componerse de un material que no reacciona con el fluido de refrigeración de metal líquido. En una realización, los álabes 15 del estator se pueden fabricar de aleaciones ferrosas, aleaciones de níquel, y/o aleaciones de cobalto. En consecuencia, el fluido de refrigeración de metal líquido puede ser bismuto o plomo, una combinación de bismuto y plomo, o una combinación
50 de bismuto y/o plomo e indio, y el revestimiento o tubería se puede formar de molibdeno o tántalo para evitar una reacción entre el fluido de refrigeración de metal líquido y el material de álabe. El álabe 15 del estator con el paso de fluido de refrigeración interior se puede considerar un intercambiador de calor. El intercambiador de calor, por ejemplo, o bien el intercambiador 17 de calor que se muestra en las Figuras 1-3 o el álabe 15 del estator con el paso
55 de fluido de refrigeración interior, se expone a la temperatura más alta en el circuito de refrigeración de líquido. Por ejemplo, la temperatura exterior de gas caliente puede ser de aproximadamente 1371 °C (2500 °F) mientras que el álabe 15 del estator tiene una temperatura de metal de aproximadamente 815 °C (1500 °F) y el fluido de refrigeración de metal líquido tiene una temperatura de aproximadamente 538 °C (1000 °F). El molibdeno se puede utilizar con bismuto como el fluido de refrigeración si el fluido de refrigeración se puede purgar del sistema de
60 refrigeración antes de la parada del motor o antes de la refrigeración de las piezas del motor. A medida que el bismuto líquido se enfría, se expande tras la solidificación, lo que puede hacer que las partes huecas en la que se hace fluir el metal líquido se agrieten o rompan. Las pruebas de laboratorio han confirmado que el bismuto líquido tiene una reactividad limitada con el molibdeno y sus aleaciones, especialmente a temperaturas elevadas

coherentes con la operación del motor de turbina de gas. El bismuto líquido sería muy adecuados para su uso como un fluido de refrigeración de metal líquido, pero reacciona con dureza con materiales modernos utilizados en superficies aerodinámicas de motores de turbina de gas que se basan normalmente en níquel, cobalto, o hierro. El molibdeno es un material resistente a la alta temperatura en ausencia de oxígeno, pero no se utiliza en superficies aerodinámicas puesto que este material no se puede convertir en una forma de superficie aerodinámica debido a su alta temperatura de fusión.

En una realización en la que se utiliza bismuto como el fluido de refrigeración de metal líquido, el álabe 15 del estator de la turbina se puede fabricar a partir de una aleación o súper-aleación basada en níquel estándar, pero con el paso de fluido de refrigeración estando revestido o recubierto con tántalo y/o molibdeno o con un inserto fabricado a partir de tántalo y/o molibdeno. El bismuto metálico líquido no reacciona con el tántalo y/o molibdeno, y proporciona la refrigeración adecuada para el álabe 15. La capacidad de refrigeración mejorada del bismuto líquido puede proporcionar suficiente refrigeración extra para que las aleaciones o súper-aleaciones basadas en níquel estándar puedan todavía utilizarse, incluso con la mayor temperatura de corriente de gas.

A medida que el flujo de gas caliente de la cámara 14 de combustión entra en la turbina y se hace pasar alrededor de los álabes 15 del estator, el fluido de refrigeración de metal líquido se puede bombear a través del circuito de refrigeración de bucle cerrado para transferir el calor lejos de los álabes 15 y en el fluido de refrigeración. El fluido de refrigeración caliente puede después hacerse pasar a través del intercambiador 17 de calor para agregar calor adicional al aire comprimido que entra en la cámara 14 de combustión. Debido a este sistema, el aire comprimido procedente del compresor 11 puede no ser necesario para la refrigeración de los álabes del estator del primer nivel o los álabes del estator del segundo nivel si estos se refrigeran también por el fluido de refrigeración de metal líquido. Las palas 16 del rotor del primer nivel se pueden refrigerar todavía con el aire comprimido procedente del compresor 11 como se hace en la técnica anterior. La temperatura del aire comprimido descargado del compresor 11 es normalmente aproximadamente 593 °C (1100 °F), que es alta para un fluido de refrigeración, especialmente para los álabes del primer nivel. Por lo tanto, con el circuito de refrigeración de la presente invención, el aire comprimido del compresor 11 que se utiliza para la refrigeración no es necesario y, por lo tanto, la pérdida de eficacia del sistema por el uso de aire comprimido de purga procedente del compresor no se desperdicia (es decir, la eficacia del sistema aumenta). Los conductos 19 de fluido refrigerante de metal líquido se pueden fabricar o revestirse con molibdeno o tántalo para proporcionar una superficie no reactiva para el refrigerante de metal líquido, tal como bismuto.

Haciendo referencia a continuación a la FIGURA 3, se muestra una vista esquemática de una tercera realización de un circuito de refrigeración de bucle cerrado para un motor de turbina de gas. El circuito de refrigeración de metal líquido de bucle cerrado puede incluir una configuración en la que una porción del aire de salida del compresor se hace pasar a través del intercambiador 17 de calor antes de entrar en la cámara 14 de combustión. Como se muestra en las Figuras 1 y 2, todo el aire de salida del compresor se puede hacer pasar a través del intercambiador 17 de calor lo que puede producir aproximadamente una pérdida de presión del 4 % (delta pérdida P) debido a la caída de presión del intercambiador de calor. En la realización de la Figura 3, una porción del aire de salida del compresor 11 se puede hacer pasar directamente a la cámara 14 de combustión, mientras que el aire de salida del compresor restante se puede hacer pasar a través del intercambiador 17 de calor para recoger el calor del fluido de metal líquido que pasa a través del intercambiador 17 de calor. El aire de salida del compresor caliente puede después hacerse pasar en la cámara 14 de combustión para ser fusionado con el aire de salida del compresor no calentado y quemarse dentro de la cámara 14 de combustión. La cantidad de aire que se hace pasar a la salida del compresor a través del intercambiador 17 de calor (representada como "x" en la Figura 2) puede ser entre aproximadamente el 15 % y aproximadamente el 30 %. Un compresor 21 accionado por un motor 22 puede aumentar la presión del aire de salida del compresor 11 que desemboca en el intercambiador 17 de calor en aproximadamente un 5 % delta P para reducir el trabajo del compresor para la mayoría de la descarga del compresor 11.

Los sistemas mostrados en las Figuras 1-3 se pueden utilizar para refrigerar un álabe 15 del estator (álabes del estator de primer o segundo nivel) dentro de la turbina 13 del motor. Sin embargo, otras partes del motor que están expuestas al flujo de gas a alta temperatura pueden también refrigerarse utilizando un circuito de refrigeración de metal líquido de bucle cerrado de la presente invención, en el que el intercambiador 17 de calor se puede fabricar a partir de un material que no reaccionará con el fluido de refrigeración de metal líquido. Por ejemplo, la cámara 14 de combustión puede incluir un revestimiento basado en níquel o basado en cobalto expuesto al calor del flujo de gas, revestimiento que puede incluir un paso del intercambiador de calor interior fabricado a partir de un material tal como molibdeno que tiene un paso de refrigeración de fluido de metal líquido, a través de que un metal líquido (por ejemplo, bismuto o plomo, o combinaciones de bismuto y plomo y, opcionalmente, indio) se puede hacer pasar para proporcionar la refrigeración del panel de la cámara de combustión. Los conductos 19 de fluido de refrigeración conectadas al intercambiador 17 de calor se pueden fabricar del mismo material resistente a las altas temperaturas, tales como molibdeno o tántalo, si la temperatura del refrigerante de metal líquido es lo suficientemente alta como para justificar el uso del mismo material. El intercambiador 17 de calor puede estar expuesto a una alta temperatura y, por lo tanto, se pueden fabricar a partir de un material tal como el molibdeno o tántalo que no reaccionará con el metal líquido del fluido de refrigeración tal como bismuto o plomo. Los conductos de refrigerante de metal líquido 19 pueden formarse a partir de o revestirse con molibdeno o tántalo para proporcionar una superficie no reactiva para el refrigerante de metal líquido, tal como bismuto o plomo. La temperatura del refrigerante de metal líquido tal como bismuto puede variar solamente aproximadamente 93 °C (200 °F) a lo largo de la totalidad de los conductos 19 de

refrigeración de metal líquido debido al alto nivel de capacidad de transferencia de calor que estos refrigerantes de metal líquido pueden proporcionar.

El bismuto puede ser el fluido de refrigeración de metal líquido más adecuado para las altas temperaturas requeridas para su uso en un motor de turbina de gas. El tántalo es un metal refractario con un punto de fusión alto de 2996 °C (5425 °F) y una alta resistencia a la corrosión. En las pruebas, el bismuto líquido mostró una reacción limitada con el tántalo a temperaturas bastante superiores a 649 °C (1200 °F). Si los pasos de refrigeración de metal líquido dentro del álabe y tubería o tubos que conectan el álabe al intercambiador de calor se componen de un material tal como molibdeno que puede soportar altas temperaturas y que no reacciona con el fluido de refrigeración de metal líquido (tal, como el bismuto), entonces el molibdeno debe protegerse de quedar expuesto al aire debido a que el contenido de oxígeno dentro del aire reaccionará con, es decir, oxidará, el molibdeno. Por lo tanto, el molibdeno se puede recubrir con un material que no reacciona con el oxígeno, pero que será capaz de soportar las altas temperaturas para su uso en el motor de turbina de gas. Por ejemplo, el paso de refrigeración de metal líquido de molibdeno se puede cubrir por chapado de níquel (por ejemplo, de súper-aleaciones basadas en níquel) u otro recubrimiento o fundición por unión resistente a la oxidación de aleaciones basadas en acero, níquel o cobalto, incluyendo acero inoxidable. Además, un forro o unión de alta presión isostática (HIP) del molibdeno se puede utilizar. Con esta estructura, el paso de molibdeno puede transportar fluidos corrosivos a temperaturas muy altas (en relación con un motor de turbina de gas) sin ataque corrosivo.

Una unión formada entre el molibdeno y, por ejemplo, acero inoxidable o aleación basada en níquel debe tener una conexión robusta para resistir la formación de grietas. Esto puede conseguirse utilizando varios procedimientos, que incluyen chapado, preparación de la superficie, o encapsulación por fundición. En la Figura 18, el chapado del componente de molibdeno inicial con un recubrimiento de unión de níquel, de aluminuro, o MCrAlY u otro material adecuado puede garantizar la estimulación de la carcasa o chapado por encapsulación adicional. Además, la superficie exterior del molibdeno se puede tratar con un agente de rugosidad para promover una interfaz de unión mecánica.

Un sistema ejemplar en el que el intercambiador de calor que tiene el circuito de refrigeración de metal líquido de bucle cerrado de la presente invención se puede utilizar es un receptor de concentración de energía solar, que se puede utilizar para producir energía eléctrica a partir de los rayos solares. En un sistema de este tipo, la luz de la energía solar se puede reflejar por espejos y concentrarse en un área pequeña de tal manera que una alta temperatura se puede aplicar a un fluido. Como una realización no limitativa, un sistema de este tipo se muestra en la Figura 4. El concentrador solar puede incluir un primer intercambiador 31 de calor con un circuito de fluido de refrigeración de bucle cerrado en su interior para absorber el calor de los rayos solares concentrados y transmitir el calor al fluido de refrigeración de metal líquido. El fluido de refrigeración de metal líquido caliente puede después hacerse pasar a través de un segundo intercambiador 32 de calor que se utiliza para transferir calor desde el fluido de metal líquido al aire o agua para producir un flujo de gas caliente a medida que el aire caliente se evapora del agua calentada. Este flujo de gas caliente se hace pasar después a través de una turbina para accionar un generador y producir energía eléctrica. En el sistema mostrado en la Figura 4, el primer intercambiador 31 de calor se puede revestir con un material que no reaccionará con el fluido de refrigeración de metal líquido, tal como molibdeno y/o tántalo, mientras que el metal líquido puede ser bismuto, plomo, o combinaciones de los mismos, incluyendo combinaciones con indio. El segundo intercambiador 32 de calor puede no estar expuesto a una alta temperatura como el primer intercambiador 31 de calor, y por lo tanto se puede fabricar a partir de un material ferroso convencional. Además, el segundo intercambiador 32 de calor se puede utilizar para calentar un segundo fluido, tal como agua para producir vapor o aire para su uso en una turbina de vapor. Una bomba 18 de fluido de refrigeración de metal líquido se puede utilizar también en la realización mostrada en la Figura 4 para bombear el fluido de refrigeración a través del sistema de bucle cerrado.

Haciendo referencia a continuación a la Figura 5, un álabe 15 del estator se puede fabricar de un material de superficie aerodinámica normal de la turbina, tal como aleaciones ferrosas, aleaciones de níquel, o aleaciones de cobalto, pero puede incluir un inserto o revestimiento 34 dentro del paso de flujo de refrigeración que se hace de un material que puede tener reactividad limitada con un refrigerante de metal líquido utilizado para la refrigeración del álabe. La Figura 5 muestra un álabe 15 del estator con un cuerpo 33 principal fabricado a partir de un material tal como una aleación de níquel con un inserto 34 o un recubrimiento de un material tal como el molibdeno o tántalo para proteger el material del cuerpo 33 principal de un material de metal de refrigeración líquido, tal como bismuto. El inserto 34 se puede fabricar a partir de, por ejemplo, molibdeno y/o tántalo, y se puede asegurar dentro del cuerpo 3 principal de superficie aerodinámica sin unirse a la superficie aerodinámica, pero permitiendo todavía que el calor sea conducido del metal de los álabes al refrigerante de metal líquido a través del inserto 34. Por ejemplo, el refrigerante de metal líquido puede ser bismuto o plomo, o de aleaciones de mezclas de los mismos, incluyendo mezclas con indio. El bismuto es un material raro que se expande cuando se solidifica (similar al agua), y la adición de plomo al bismuto en cantidades adecuadas puede limitar la expansión cuando se solidifica la aleación de refrigerante de metal líquido. El uso de molibdeno y/o tántalo en el inserto puede tener una reactividad limitada con el refrigerante de metal líquido en el intervalo de temperatura para un álabe 15 del estator de la turbina refigurada. El álabe 15 del estator con el inserto de refrigeración de metal líquido se puede utilizar en una superficie aerodinámica no giratoria, tal como el álabe 15 del estator, y no en una pala 16 del rotor debido a las altas fuerzas centrífugas que intervienen, y a la dificultad de sellar las partes giratorias.

En lugar de incluir un inserto 34, el paso dentro del álabe 33 puede estar recubierto con un material tal como tántalo y/o molibdeno. Como alternativa, un recubrimiento de óxido, un recubrimiento de carburo de silicio, un recubrimiento de nitruro de silicio, o una capa fina de vidrio se pueden utilizar. Por ejemplo, una configuración que incluye una capa fina de vidrio puede optimizar la conductividad térmica, permitiendo de este modo la transferencia de calor afectiva para el metal líquido al tiempo que proporciona protección al metal de base.

Haciendo referencia a continuación a las Figuras 6 y 7, se muestran tubos de refrigeración metal líquido. Una conexión entre los cuerpos de los pasos de metal líquido puede ser una interfaz de ajuste cónica compresiva en la que el molibdeno de una pieza se asienta en el molibdeno de la pieza de conexión, y el material de encapsulación (por ejemplo, una aleación basada en níquel) de la una sola pieza se asienta con el mismo material de la pieza de conexión. Una junta cónica de platino se puede colocar entre los dos asientos de níquel de manera que compensará cualquier rugosidad de los asientos por el sello de platino relativamente más suave que tiene también una alta resistencia a la temperatura. El asiento de molibdeno a molibdeno puede sellar el líquido, y el sello de platino en la interfaz de níquel puede crear simultáneamente un sello hermético en consecuencia.

La Figura 6 muestra un tubo 40 de refrigeración de metal líquido con la sección 42 interior de molibdeno que tiene un paso 44 a través del que el refrigerante de metal líquido puede fluir. La sección 42 interior de molibdeno se puede encapsular por un material resistente a la oxidación, tal como una aleación basada en níquel, que se utiliza como material para los álabes 15 del estator de la turbina y las palas 16 del rotor. La interfaz entre la pieza 42 de molibdeno y la pieza 46 de aleación basada en níquel puede ser una conexión roscada. Por ejemplo, un álabe 15 se puede formar con un número de pasos 44, teniendo cada paso 44 orificios 48 roscados formados en la superficie de modo que las piezas 42 de molibdeno individuales se puedan enroscar en su lugar dentro del álabe 15. La Figura 8 muestra el álabe 15 con cuatro pasos 48 roscados en los que cuatro piezas 42 de molibdeno separadas se pueden fijar dentro. Sin embargo, la interfaz se puede formar sin roscar si otro procedimiento de unión, tal como soldadura fuerte, es lo suficientemente fuerte para mantener las dos piezas juntas. La pieza 46 de aleación basada en níquel puede formar la estructura de álabes.

La Figura 7 muestra otra realización en la que la pieza 42 de molibdeno puede incluir proyecciones 50 que se extienden hacia afuera que forman aletas de refrigeración para transferir calor de la pieza 46 de aleación basada en níquel al interior de la pieza 42 de molibdeno. En la realización mostrada en la Figura 7, la pieza 46 de aleación basada en níquel se puede fundir sobre la pieza 42 de molibdeno.

Haciendo referencia a continuación a las Figuras 9 y 10, se muestra una vista en sección transversal de una conexión de tubo de refrigeración de metal líquido. Específicamente, la Figura 9 muestra una conexión entre un álabe 15 y una tubería o tubo 42 exterior en cuyos canales el metal líquido entra y sale del álabe 15. La pieza 42 de molibdeno se puede encapsular por la pieza 46 de aleación basada en níquel para formar un paso 44 de refrigeración de metal líquido dentro del álabe 15. La tubería o tubo 52 exterior se puede formar también con una pieza 54 interior de molibdeno encapsulada por una pieza 56 exterior de aleación basada en níquel. Una abertura roscada se puede formar con un asiento 58 cónico en la parte inferior, como se muestra en el área rodeada por un círculo en la Figura 9 y la correspondiente vista de primer plano en la Figura 10. Esto puede permitir que la tubería o tubo 52 exterior se asiente de forma segura para en el paso 44 de metal líquido de los álabes. El molibdeno 42, 54 en las dos piezas se puede asentar una contra otra de modo que una trayectoria cerrada compuesta de molibdeno se forma por el flujo de líquido a través del mismo metal. Es decir, una vez que la tubería 52 exterior se asienta contra el tubo 40 de refrigeración del álabe, el paso 44 del tubo 40 de refrigeración del álabe se puede extender en la tubería 52 exterior de manera que el metal líquido puede fluir fácilmente desde el álabe 15 hasta la tubería 52 exterior. Por ejemplo, la tubería o tubo 52 exterior se puede roscar en la abertura roscada del álabe 15. La Figura 10 muestra una junta 60 cónica de platino que se puede utilizar entre la interfaz de níquel-níquel de los asientos 58 cónicos de la tubería 52 exterior y el molibdeno 42 del tubo 40 de refrigeración del álabe para evitar que se forme cualquier entre los componentes de níquel a través del que podría acceder el aire (que contiene oxígeno) al molibdeno. El platino tiene una temperatura de fusión muy alta y es lo suficientemente blando para comprimirse entre los dos asientos y expandirse cuando se produce cualquier movimiento entre los dos asientos que pudiera permitir el paso de aire al interior de la interfaz.

Haciendo referencia a continuación a las Figuras 11-14, se muestran interfaces entre dos metales en un tubo de refrigeración y procedimientos para formar la interfaz. La capa 42 de molibdeno se puede asegurar a la capa 46 de base de aleación basada en níquel a través de un número de procedimientos. Por ejemplo, la Figura 11 muestra un procedimiento en el que la pieza 42 de molibdeno se puede enroscar en la pieza 46 de aleación basada en níquel debido a la interfaz 48 de rosca de tornillo formada en ambas piezas. En esta realización, la pieza 46 de aleación basada en níquel puede fundirse antes de fijar la pieza 42 de molibdeno a la misma. La Figura 12 muestra un número de ranuras 62 de cola de milano formada en la superficie exterior de la pieza 42 de molibdeno con la pieza 46 de aleación basada en níquel proyectándose sobre la pieza 42 de molibdeno.

Las ranuras formadas en la pieza 42 de molibdeno pueden mecanizarse en la superficie cortando ranuras en ángulo, como se muestra en la Figura 13. La Figura 14 muestra otro procedimiento en el que las ranuras se pueden formar por corte (como con un procedimiento de EDM) para formar ranuras rectas con una parte superior plana y lados planos para formar los pasos 64. A continuación, un dispositivo tal como un rodillo se puede utilizar para aplanar las partes superiores planas de los pasos 64 de modo que una proyección 66 más corta pero más ancha se forme con

ranuras 62 en forma de cola de milano entre las proyecciones 66 aplanadas. Las ranuras 62 en forma de cola de milano pueden proporcionar una estructura de unión más fuerte para retener la aleación basada en níquel sobre la superficie de molibdeno.

5 Haciendo referencia a continuación a las Figuras 15 y 16, se muestran vistas en sección transversal de los tubos de refrigeración de metales líquidos emitidos dentro de un material de álabe. El álabe 15 del estator con los canales de refrigeración de metal líquido se puede formar moldeando la estructura 46 de álabe de aleación basada en níquel en la tubería o tubo 42 de refrigeración de metal líquido de molibdeno. La Figura 15 muestra un tubo 42 de refrigeración de metal líquido de molibdeno que tiene una forma de U con los dientes u otros rebordes en la superficie exterior para formar una superficie de unión para la aleación 46 basada en níquel fundida. Un patrón de cera se puede formar sobre el tubo 42 de molibdeno para representar la forma del álabe 15 para uso en un procedimiento de fundición de precisión. El patrón de cera puede después utilizarse para la fundición de precisión de la aleación 46 basada en níquel alrededor del tubo 42 de molibdeno para formar el álabe 15. Los extremos 68 del tubo 42 de molibdeno pueden después cortarse para formar aberturas más amplias para las roscas que forman un extremo de unión roscada para la fijación de los tubos 52 de molibdeno exteriores al álabe 15 como se muestra en las Figuras 9 y 16. Los tubos 52 exteriores pueden incluir la pieza 56 de aleación basada en níquel fundida sobre la pieza 54 interior de molibdeno. Los tubos 52 exteriores pueden llevar el refrigerante de metal líquido a través de la trayectoria de metal líquido cerrada a través del circuito de refrigeración y del intercambiador 17 de calor. La interfaz del asiento de molibdeno puede ser similar a la mostrada y descrita en las Figuras 9 y 10 y puede incluir el sello cónico de platino para evitar que el oxígeno reaccione con el molibdeno.

20 Haciendo referencia a continuación a las Figuras 17-19, álabes con un circuito de refrigeración de metal líquido y circuito de refrigeración de aire comprimido se muestran. La Figura 17 muestra un álabe 15 del estator con un primer circuito de refrigeración para un refrigerante de metal líquido y un segundo circuito de refrigeración para un segundo fluido de refrigeración, tal como aire. El primer y segundo circuitos de refrigeración se pueden separar. El álabe 15 puede incluir pasos 40 de refrigeración de metal líquido como se ha descrito anteriormente para el paso de un refrigerante de metal líquido para refrigerar el álabe 15 en el que los pasos se pueden formar de molibdeno encapsulado por una aleación basada en níquel que forma la estructura 15 del álabe. Los pasos 40 de refrigeración de metal líquido se pueden formar dentro de la superficie aerodinámica que tiene un espesor o anchura suficiente para dar cabida a los pasos 40. La Figura 18 muestra una vista en sección transversal de la superficie aerodinámica del álabe 15 con cuatro pasos 40 de refrigeración de metal líquido, estando los pasos 40 de refrigeración separados entre una región 70 de borde de ataque del álabe 15 hacia una región 72 de borde de salida estrecha del álabe 15. El primer circuito de refrigeración puede comprender los pasos 40 de refrigeración de metal líquido, mientras que el segundo circuito de refrigeración puede comprender un canal 74 de suministro de aire de refrigeración y una pluralidad de orificios 76 de salida. El canal 74 de suministro de aire de refrigeración se puede extender a lo largo de la región 72 de borde de salida para suministrar aire de refrigeración a una serie de orificios 76 de salida que se abren en el borde 72 de salida para descargar el aire de refrigeración desde la superficie aerodinámica y refrigerar la región 72 de borde de salida. El circuito de aire de refrigeración se puede utilizar en la sección de la superficie aerodinámica que es demasiado estrecha para adaptar los pasos 40 de refrigeración de metal líquido más grandes. La Figura 19 muestra una superficie aerodinámica en el que un circuito de aire de refrigeración se utiliza también en la región 70 de borde de ataque. Un segundo canal 74 de suministro de aire de refrigeración se puede utilizar para suministrar aire de refrigeración a una disposición de tipo de ducha de orificios 76 de refrigeración de película separados a lo largo de la región 70 de borde de ataque para descargar una capa de aire de refrigeración de película y refrigerar el borde 70 de ataque del álabe 15.

45 Haciendo referencia a continuación a las Figuras 20 y 21, se muestran piezas de paso de refrigeración de metal líquido. La Figura 20 muestra una realización en la que el álabe 15 se puede formar a partir de canales 42 de refrigeración de metal líquido de molibdeno con la aleación 46 basada en níquel fundida alrededor de los mismos. Por ejemplo, la pieza 42 de molibdeno puede incluir cuatro pasos 40 de refrigeración de metal líquido en el interior y una serie de rebordes o aletas 78 de refrigeración que se extienden hacia fuera desde la superficie exterior a lo largo de la superficie aerodinámica en un sentido horario. Las aletas 78 pueden aumentar la velocidad de transferencia de calor de la aleación 46 basada en níquel fundida alrededor de las aletas 78 al refrigerante de metal líquido que pasa a través de los pasos 44 de refrigeración. En la realización mostrada en la Figura 20, las piezas 42 de molibdeno de los tubos 40 de refrigeración se pueden formar juntas como una sola pieza.

55 La Figura 21 muestra otro procedimiento de formación del álabe 15 en el que cada paso 40 de refrigeración de metal líquido se puede formar a partir de una pieza 42 de molibdeno separada que tiene las aletas 78 que se extienden hacia el exterior. Cada pieza 42 se puede apilar junta en un molde para formar la pieza de molibdeno completa que se muestra en la Figura 20. La aleación 46 basada en níquel se puede fundir alrededor de las múltiples piezas 42 de molibdeno para formar el álabe 15 de material compuesto con los pasos 44 de refrigeración de molibdeno formados dentro de la superficie 15 aerodinámica de aleación basada en níquel. Las aberturas más amplias con los hilos de roscas se pueden formar a continuación, por lo que los tubos 52 de refrigeración de metal líquido exteriores se pueden asegurar a los pasos 44 de álabe.

60 Haciendo referencia a continuación a las Figuras 22-24, se muestra un procedimiento de formación de un álabe que tiene pasos de refrigeración de metal líquido en su interior. Por ejemplo, las Figuras 22-24 muestran un procedimiento de formación del álabe 15 del estator de material compuesto con molibdeno 42 encapsulado por la

aleación 46 basada en níquel. La pieza 42 de molibdeno sin los pasos de refrigeración se puede asegurar dentro de un molde y la aleación 46 basada en níquel se puede fundir a su alrededor como se muestra en la Figura 22. Cuando se solidifica, los pasos 44 de refrigeración de metal líquido se pueden formar dentro de la pieza 42 de molibdeno por un procedimiento tal como mecanizado por descarga eléctrica (EDM), tal como se muestra en la

5 Figura 23. A continuación, aberturas más amplias y roscadas se pueden formar en los extremos de los pasos 44 de refrigeración (como se muestra en la Figura 24) de manera que los tubos 52 de refrigeración exteriores se pueden enroscar en los pasos 44 de refrigeración de álabes. Los asientos se pueden formar en los extremos de los pasos 44 de refrigeración de molibdeno de modo que se formará un sello para evitar que el oxígeno entre en contacto con el material de molibdeno. Como se ha descrito anteriormente, sellos cónicos de platino se pueden utilizar para

10 mantener un sellado incluso cuando un ligero desplazamiento o movimiento de los asientos ocurre, lo que de otra manera formaría un pequeño espacio para que el oxígeno alcance el molibdeno.

Como también se ha descrito anteriormente, el molibdeno se puede utilizar para los pasos 44 de refrigeración de metal líquido y una aleación 46 basada en níquel se puede utilizar para fundirse sobre el molibdeno para encapsular el molibdeno y formar la forma del álabe. Sin embargo, otros materiales se pueden utilizar en lugar de la aleación

15 basada en níquel sin apartarse del alcance de la invención. El molibdeno se puede utilizar debido a su alta resistencia al calor. El molibdeno, sin embargo, puede oxidarse por el oxígeno, y por lo tanto debe ser encapsulado por otro material que no reaccione con el oxígeno y que también sea resistente a las altas temperaturas encontradas en una turbina de un motor de turbina de gas. Como alternativa, otros materiales refractarios, tales como tungsteno o columbio se pueden utilizar en lugar del molibdeno.

Haciendo referencia a continuación a la Figura 25, se muestra una vista en sección transversal de una conexión de fluido de gas purgado que se puede utilizar en un sistema de refrigeración de metal de bucle cerrado. Específicamente, la Figura 25 muestra una conexión entre dos tubos 42 y 54 de molibdeno que pueden llevar un refrigerante de metal líquido, tales como bismuto, en el que una cámara 80 de purga se puede formar alrededor de la conexión. Por ejemplo, la conexión puede ser entre una capa 42 interior de molibdeno del tubo de refrigeración y la capa 54 interior de molibdeno de un tubo 52 exterior. La cámara 80 de purga se puede rellenar con un gas tal como argón (Ar) o nitrógeno (N) para evitar que el oxígeno reaccione con el molibdeno. Las capas 42, 54 interiores de molibdeno (o, por ejemplo, tántalo o tungsteno) de los tubos 40, 52 puede rodearse por porciones 46, 56 resistentes a la oxidación exteriores fabricadas, por ejemplo, de acero inoxidable o de aleación basada en níquel para evitar que el oxígeno reaccione con el tubo de molibdeno. El tubo 40 de refrigeración y el tubo 52 exterior pueden tener, cada uno, extremos inclinados o en ángulo para formar un ajuste hermético. Los hilos 48 se pueden utilizar en ambos extremos de los tubos 40, 52 para conectar los extremos entre sí. Una pestaña 82 superior y una pestaña 84 inferior se pueden fijar a las porciones 46, 56 de aleación basada en níquel y pueden encerrar la cámara 80 de purga, junto con un conjunto 86 de sello de fuelle y rellenarse con un gas inerte de purga, tal como argón o nitrógeno que no reacciona con el molibdeno. Una fuente de gas de purga presurizado se puede conectar a la

20 cámara 80 de purga a través de un puerto 88 de llenado de gas inerte. Un puerto 90 de detección de presión puede también abrirse al exterior para conectar un sensor de presión que detecta la presión del gas inerte de purga. El conjunto 86 de fuelle flexible se puede formar, por ejemplo, de acero inoxidable o una aleación basada en níquel y puede permitir la expansión térmica del tubo 46, 56 de acero inoxidable o de aleación basada en níquel con respecto al tubo 42, 54 de molibdeno mientras se mantiene una presión de gas de purga adecuada dentro de la cámara 80.

Haciendo referencia a continuación a la Figura 26, se muestra una vista en sección transversal de un álabe del estator y el tubo de refrigeración de metal líquido rodeado por una cámara de sodio líquido. La porción 42 interior de molibdeno del tubo 40 de refrigeración de metal líquido y la porción 54 interior de molibdeno del tubo 52 exterior se pueden encerrar por porciones 46, 56 resistentes a la oxidación (compuestas de, por ejemplo, acero inoxidable o aleación basada en níquel) para proteger el molibdeno de la oxidación. Por ejemplo, la Figura 16 muestra un álabe

25 15 del estator con los tubos 40 de refrigerante que entran y salen del álabe 15. Los extremos del tubo 40 de refrigeración de metal líquido y del tubo 52 exterior pueden estar en ángulo para formar un ajuste hermético cuando se enroscan entre sí. Un conector 92 y un conjunto 94 de fuelle pueden formar una cámara 96 de fuelle que contiene un metal líquido tal como sodio que se utiliza para transferir calor desde la pared 46 de álabe caliente hasta el tubo 42 de molibdeno. La Figura 26 muestra un pequeño hueco 98 que se puede llenar con el sodio líquido formado entre la pared 46 de álabe y el tubo 42 de molibdeno. Una segunda cámara 100 de fuelle se puede formar por un segundo conjunto 102 de fuelle encerrado por un alojamiento 104 con un resorte 106 de carga que fuerza el sodio líquido a llenar el hueco 98 de manera que no se forme ningún vacío cuando el material 46 de la pared de álabe se expande más allá de los tubos 42 de molibdeno cuando el álabe 15 se expone a un gas caliente durante la operación del motor. Un anillo 108 de retención se puede soldar a una pared 110 de extremo del álabe 15 y al conjunto 94 de fuelle lo que asegura un extremo del conjunto 94 de fuelle a la pared 110 de extremo. Otra de soldadura 112 puede asegurar el extremo superior del conjunto 94 de fuelle al conector 92. Un paso 114 se puede formar en el conector 92 para llenar la cámara 96 de fuelle con el sodio líquido. En esta realización del circuito de refrigeración de metal líquido para un álabe del estator en un motor de turbina de gas industrial con tubos de molibdeno, el metal líquido puede ser bismuto.

Además de los usos en motores de turbina de gas, el circuito de refrigeración de metal líquido de la presente invención se puede utilizar en otros dispositivos. Por ejemplo, una planta de energía nuclear con un generador de vapor también podría hacer uso de un circuito de refrigeración de metal líquido. Además, un colector y planta de energía solar podrían también hacer uso de un circuito de refrigeración de metal líquido para proporcionar

refrigeración o para extraer calor para su uso en otra parte del sistema.

REIVINDICACIONES

1. Un motor de turbina de gas industrial para la producción de energía eléctrica, que comprende:
- 5 un compresor (11) para suministrar aire comprimido a una cámara (14) de combustión;
una turbina (13) conectada de forma giratoria al compresor, estando la turbina situada para recibir una corriente
de gas caliente producida en la cámara de combustión; una serie de álabes (15) del estator de la primera etapa
dentro de la turbina, estando la serie de álabes del estator de la primera etapa formada a partir de un metal de
base;
- 10 un paso (19) de fluido de refrigeración formado dentro de la serie de álabes del estator de la primera etapa,
un refrigerante de metal líquido que pasa a través del paso de fluido de refrigeración de la serie de álabes del
estator de la primera etapa para proporcionar refrigeración a la serie de álabes del estator de la primera etapa,
caracterizado porque el refrigerante de metal líquido reacciona con el metal de base de la serie de álabes del
estator de la primera etapa;
- 15 y **porque** el motor comprende además un revestimiento dentro del paso de fluido de refrigeración de la serie de
álabes del estator de la primera etapa para evitar que el refrigerante de metal reaccione con el metal de base de
la serie de álabes del estator de la primera etapa, estando formado el revestimiento a partir de un material que no
reacciona con el metal de base de la serie de álabes del estator de la primera etapa ni con el refrigerante de
metal líquido.
2. El motor de turbina de gas industrial de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el refrigerante de metal líquido
es bismuto o plomo.
- 20 3. El motor de turbina de gas industrial de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el refrigerante de metal líquido
es una combinación de bismuto y plomo.
4. El motor de turbina de gas industrial de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el refrigerante de metal líquido
es una combinación de bismuto, plomo, e indio.
- 25 5. El motor de turbina de gas industrial de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el metal de base de la serie de
álabes del estator de la primera etapa es una de una aleación de metal ferroso, una aleación de níquel y una
aleación de cobalto.
6. El motor de turbina de gas de la reivindicación 1, en el que el material de revestimiento es molibdeno o tántalo.
- 30 7. Un motor de turbina de gas industrial de acuerdo con en la reivindicación 1, en el que el paso (19) de refrigeración
comprende conductos de fluido de refrigeración que forman un paso de fluido de refrigeración de bucle cerrado,
estando un revestimiento asegurado dentro del paso de refrigeración para evitar que el refrigerante de metal líquido
reacciones con el metal de base del álabe del estator.

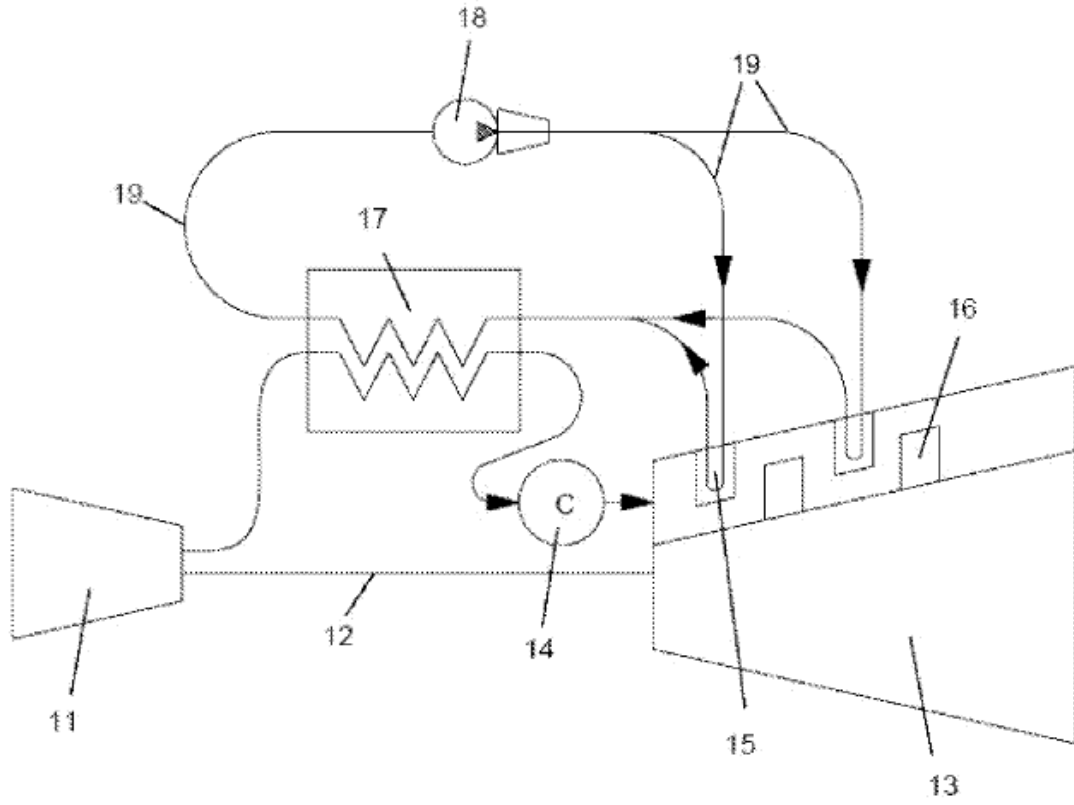


FIG. 1

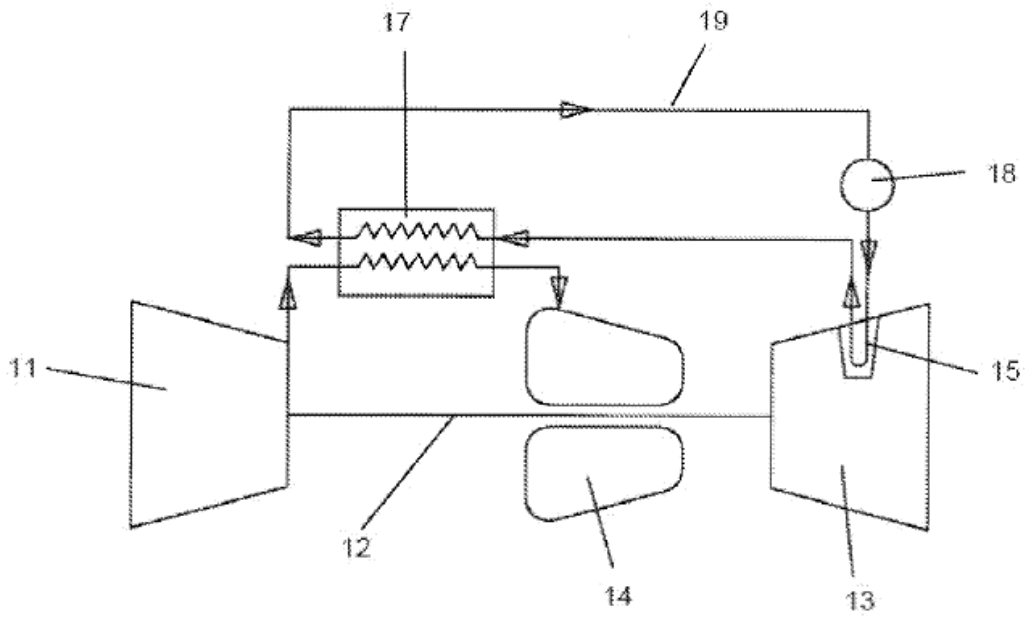


FIG. 2

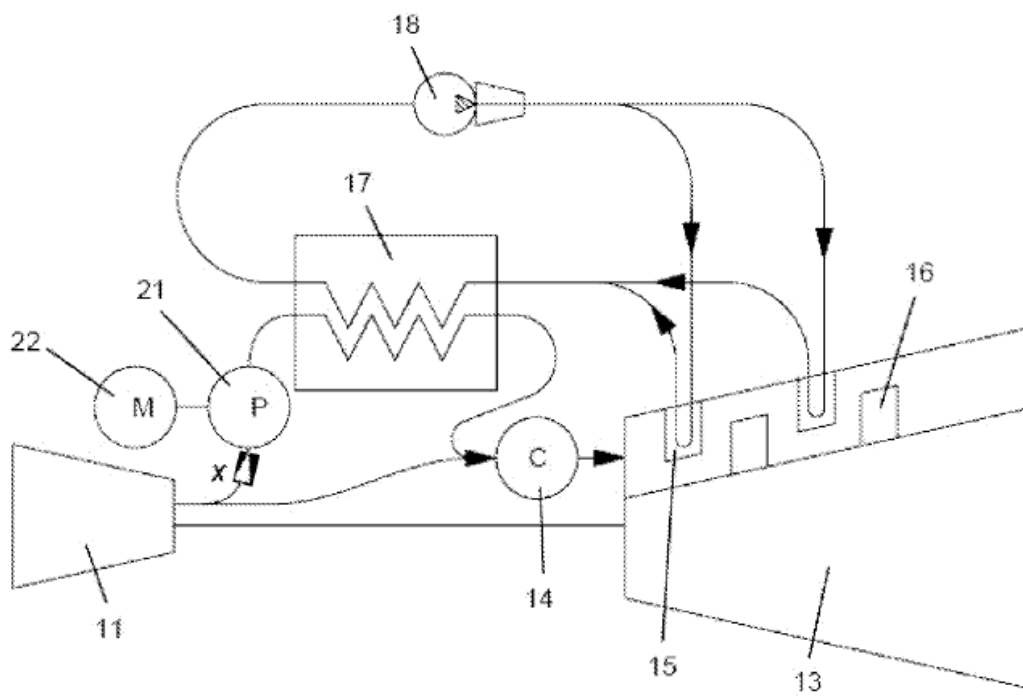


FIG. 3

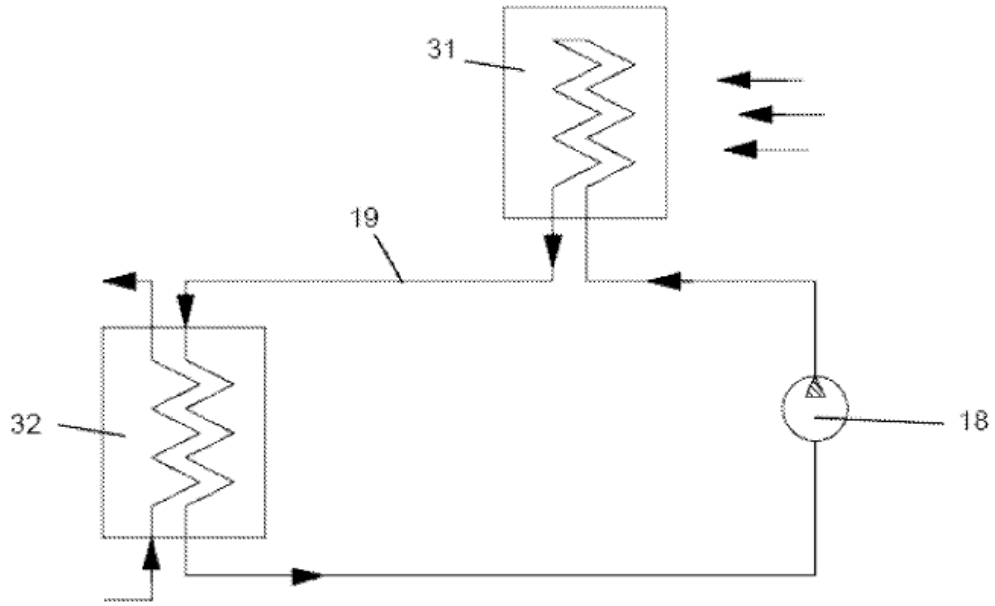


FIG. 4

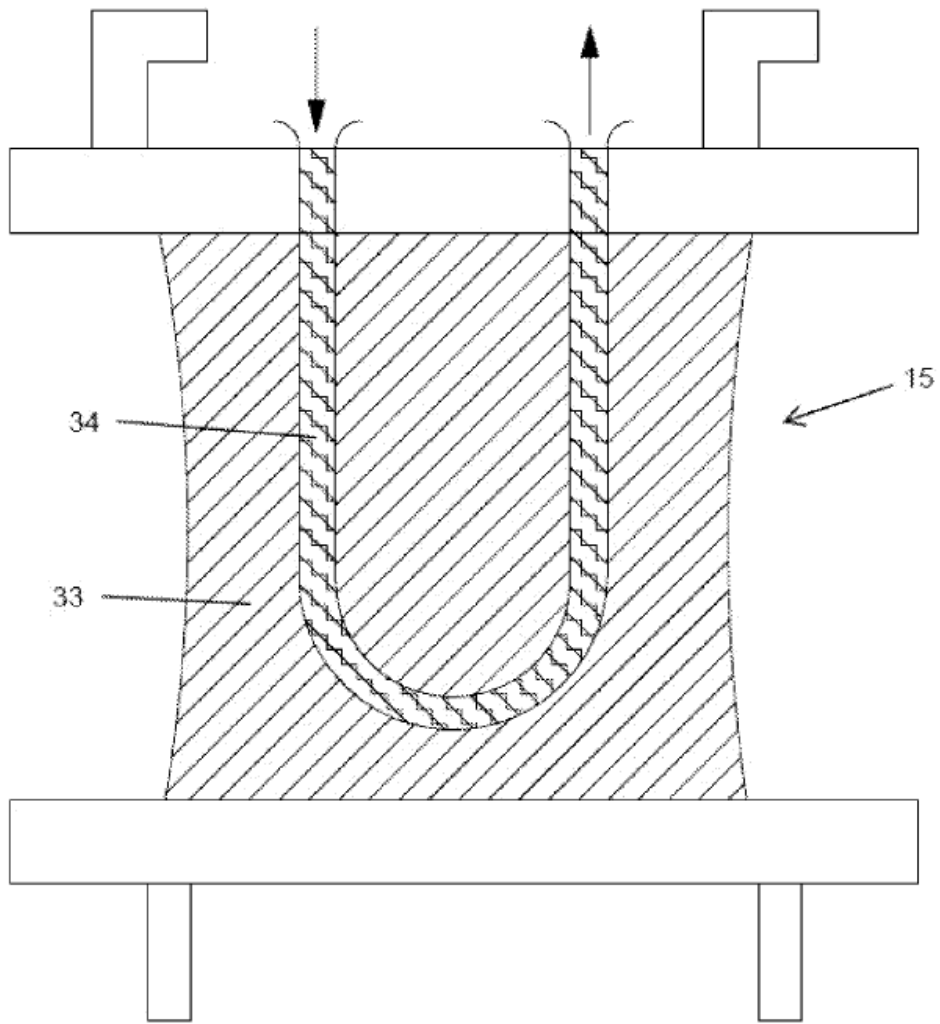


FIG. 5

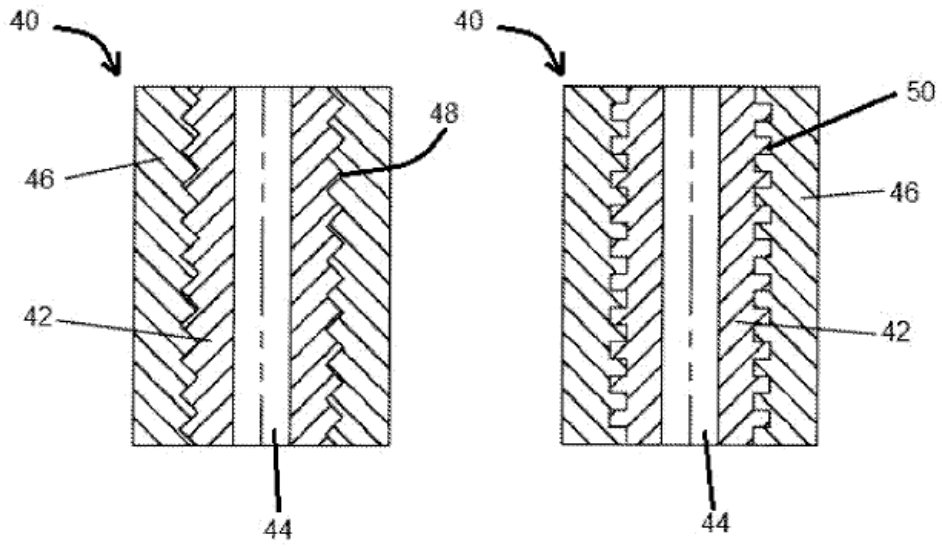


FIG. 6

FIG. 7

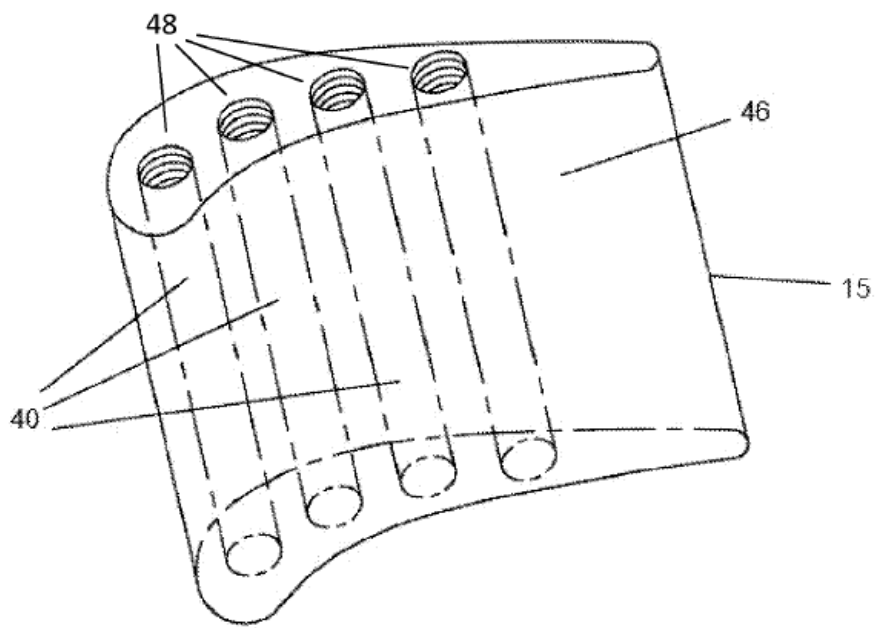
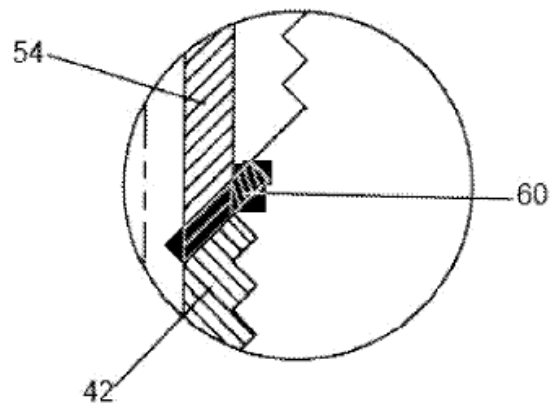
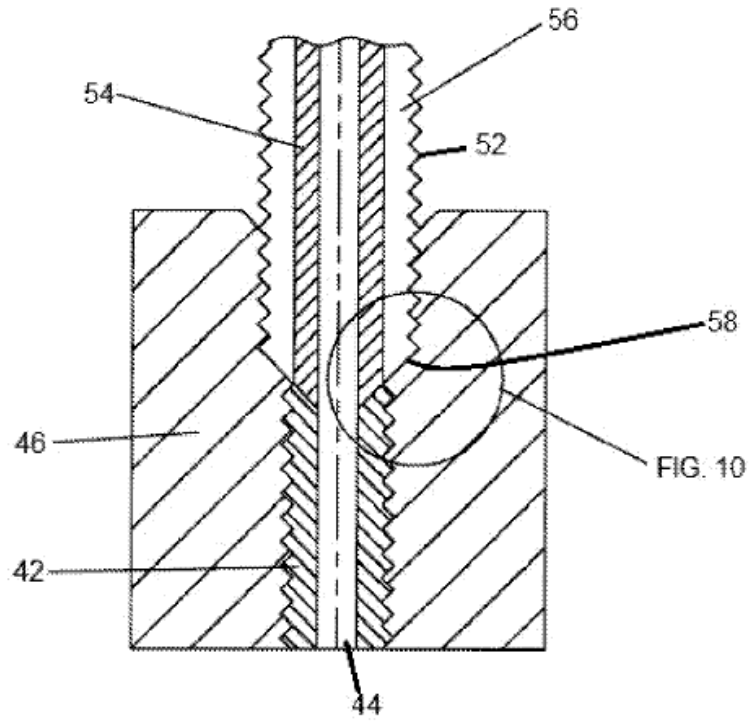


FIG. 8



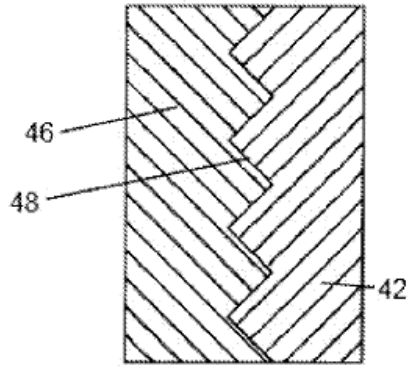


FIG. 11

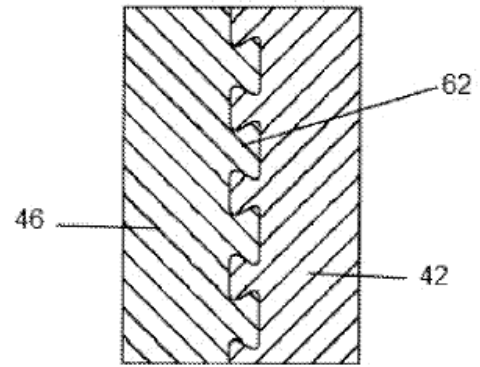


FIG. 12

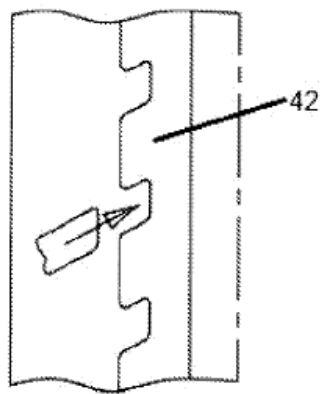


FIG. 13

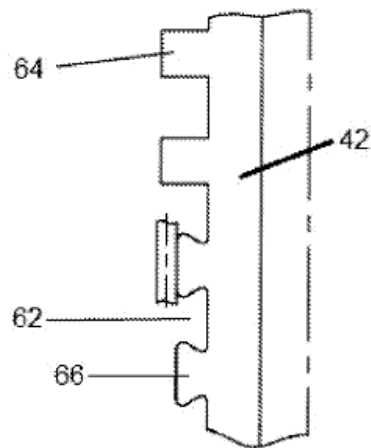


FIG. 14

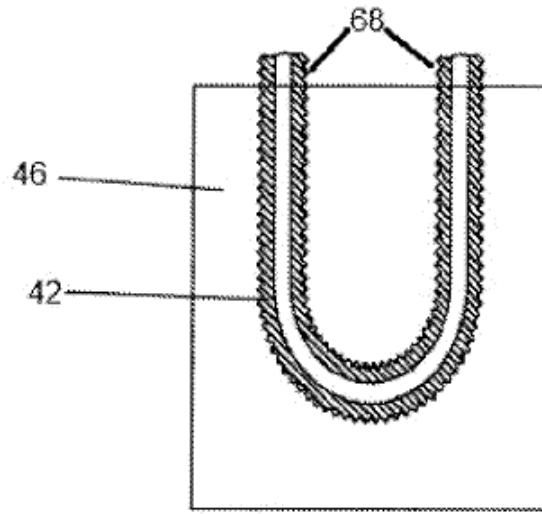


FIG. 15

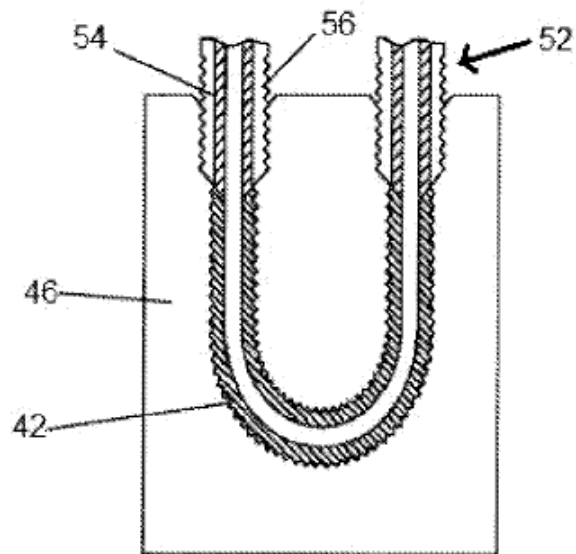


FIG. 16

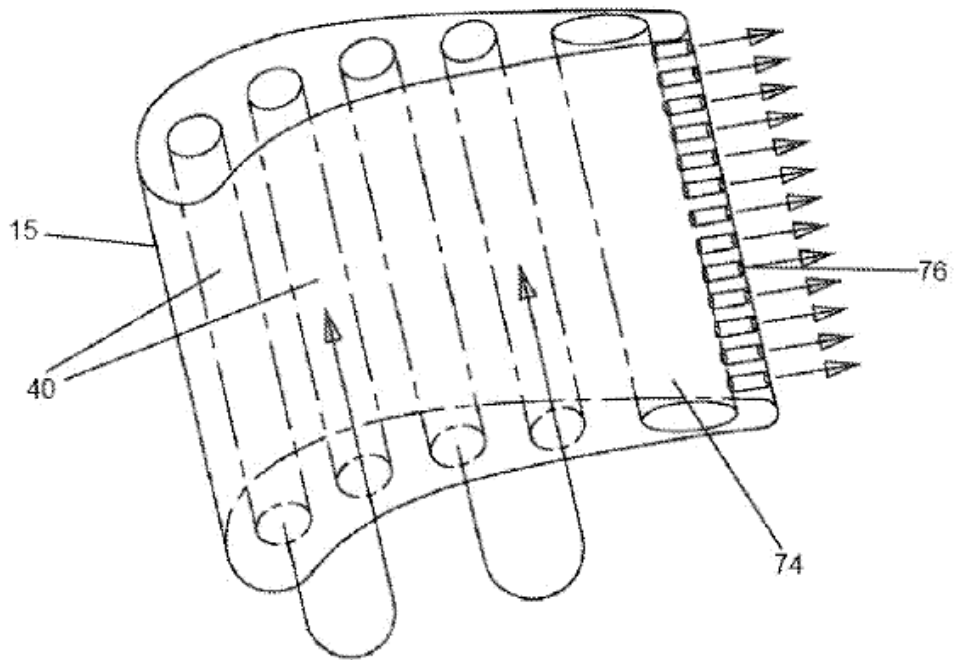


FIG. 17

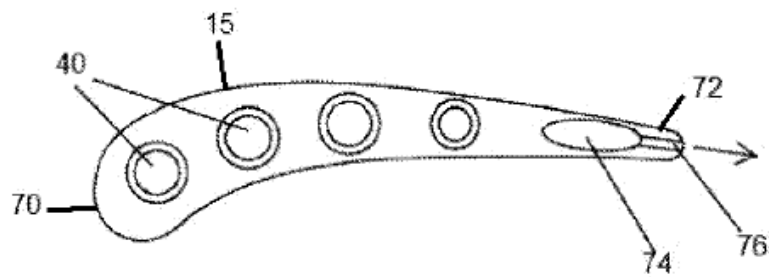


FIG. 18

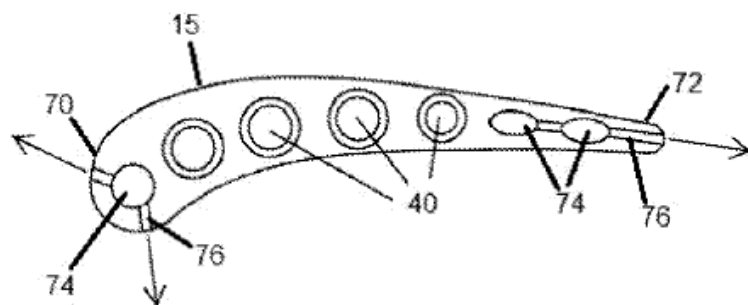


FIG. 19

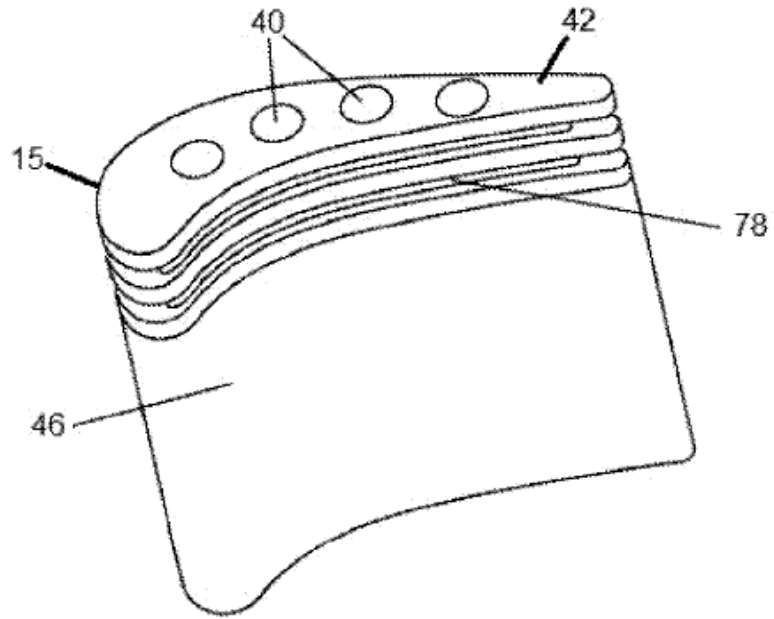


FIG. 20

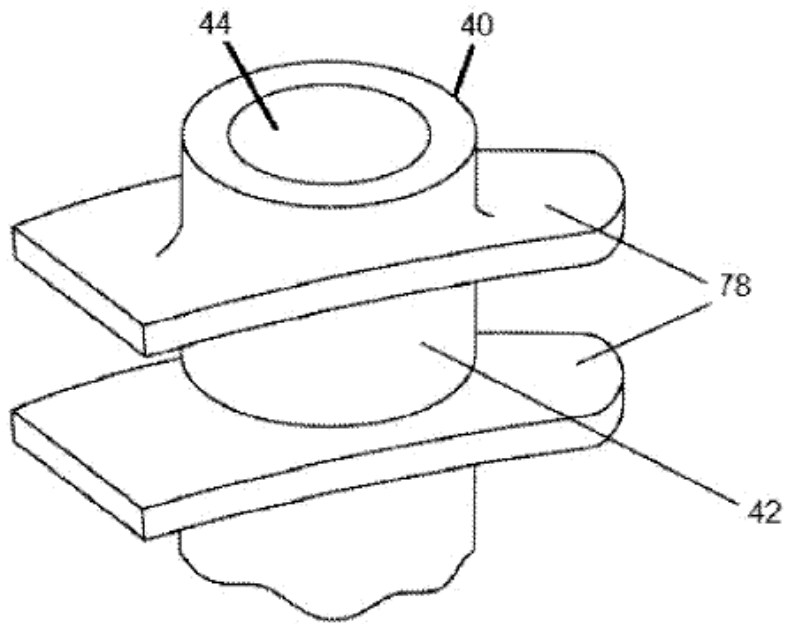


FIG. 21

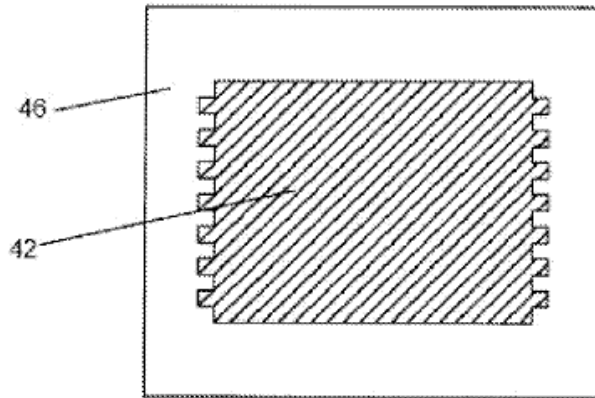


FIG. 22

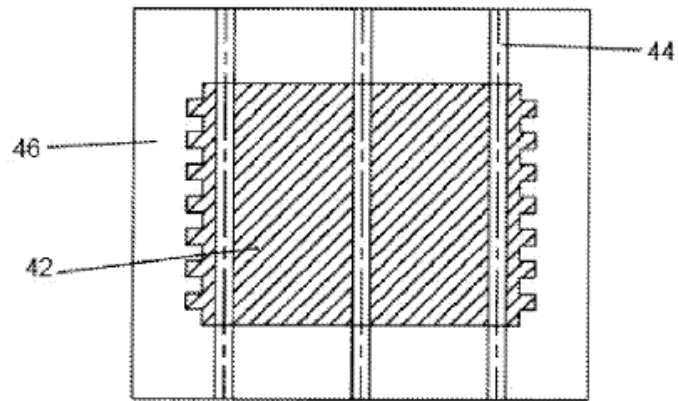


FIG. 23

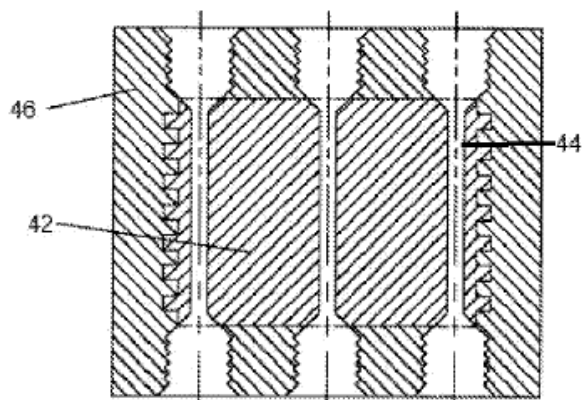
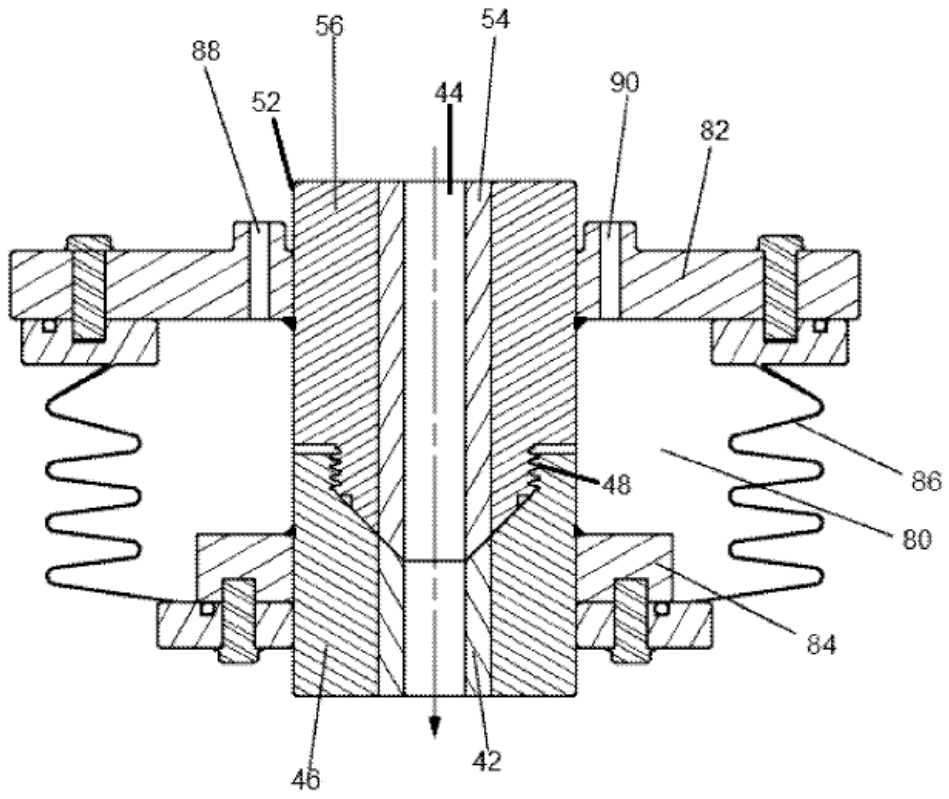


FIG. 24



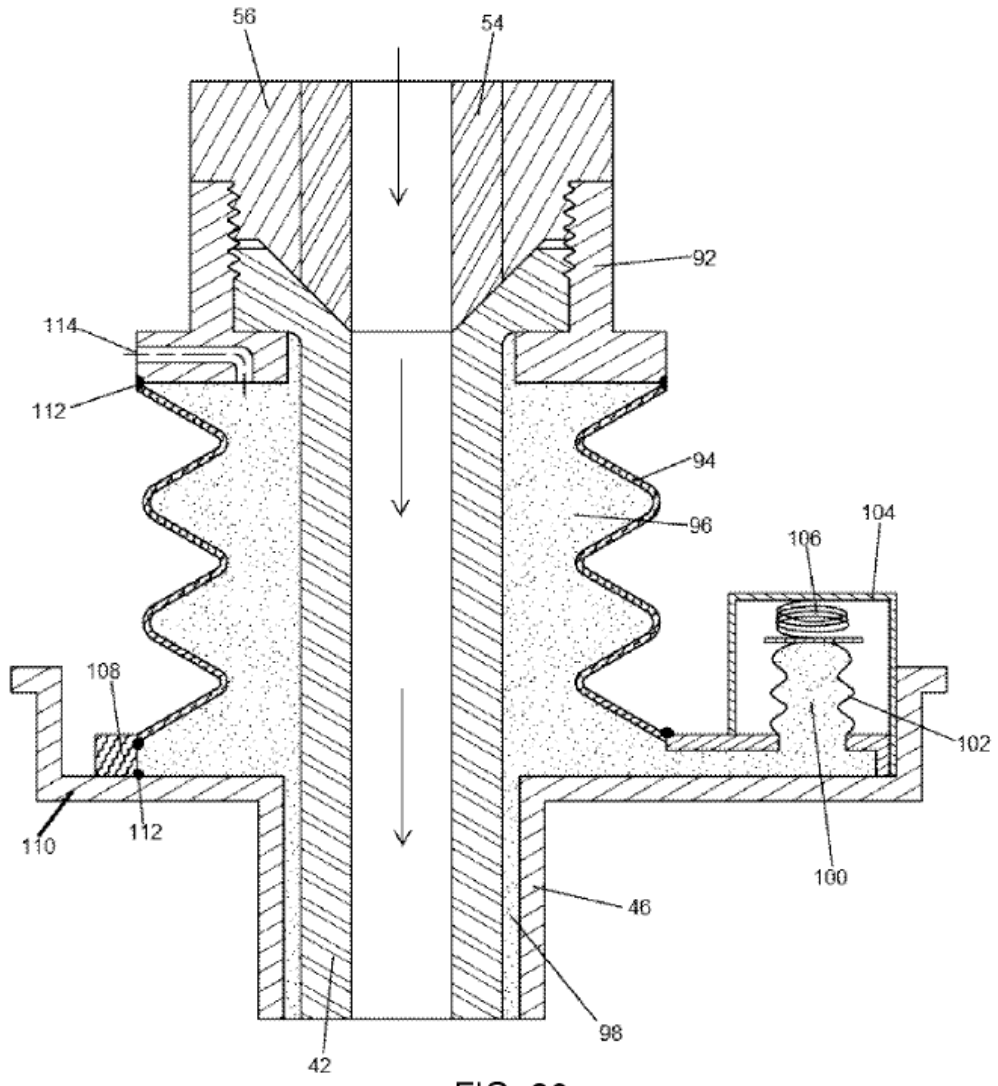


FIG. 26