

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 578 631**

51 Int. Cl.:

C22C 19/05 (2006.01)

C22F 1/10 (2006.01)

G21C 15/25 (2006.01)

G21D 1/00 (2006.01)

C22F 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2009 E 09833321 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.05.2016 EP 2383355**

54 Título: **Soporte de bomba de chorro y método para producir el mismo**

30 Prioridad:

15.12.2008 JP 2008318820

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

28.07.2016

73 Titular/es:

**KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA (100.0%)
1-1 Shibaura 1-chome Minato-ku
Tokyo 105-8001, JP**

72 Inventor/es:

**KATAYAMA YOSHINORI;
TSUBOTA MOTOJI;
SAITO YUUJI;
MORI HAJIME y
TANAKA NORIHIKO**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 578 631 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

Soporte de bomba de chorro y método para producir el mismo

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un soporte de bomba de chorro usado en una bomba de chorro para hacer circular a la fuerza agua a alta temperatura y a alta presión (refrigerante) en un reactor de agua en ebullición (BWR), y un método para producir el soporte de bomba de chorro. Además, la presente invención se refiere a un soporte de bomba de chorro fabricado de una aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada excelente en propiedades anti-agrietamiento por corrosión bajo tensión y que tiene un módulo de alta elasticidad y una resistencia a altas temperaturas producidos por dicho método.

15 **Antecedentes de la técnica**

En general, algunos reactores de agua en ebullición comprenden un sistema de recirculación externo para alimentar a la fuerza un refrigerante en un núcleo de reactor. Una bomba de chorro conectada al sistema de recirculación externo está dispuesta en un recipiente a presión de reactor (RPV). Una pluralidad de conjuntos de bombas de chorro están dispuestos en una parte de conducto descendente anular entre el recipiente a presión de reactor y una cubierta de núcleo.

Cada una de las bombas de chorro está dispuesta en la parte de conducto descendente en el recipiente a presión de reactor, y comprende un tubo de subida, una pieza de transición, un mezclador de entrada, y un difusor. La pieza de transición está formada de manera integral en el tubo de subida, para constituir una parte bifurcada en una parte de cabeza del tubo de subida. El refrigerante se divide en dos corrientes en la pieza de transición, y se guía respectivamente hacia un codo del mezclador de entrada que forma una trayectoria de vuelta de flujo. El codo se soporta a presión por un soporte de bomba de chorro fabricado de un miembro de resorte, y evita de este modo que se mueva hacia arriba.

En el reactor de agua en ebullición, una aleación Inconel X-750, es decir, una aleación a base de Ni endurecida por precipitación que tiene un módulo de alta elasticidad y una resistencia a altas temperaturas, se ha usado convencionalmente para el soporte de bomba de la bomba de chorro como se desvela en la patente japonesa abierta a inspección pública n.º 59-85834 (documento de patente 1). Un ejemplo en el que la aleación Inconel X-750 se usa para un miembro de reactor también se desvela en el documento de patente 2 (patente japonesa abierta a inspección pública n.º 05-164.886).

En las patentes japonesas abiertas a inspección pública números 2004-91816 y 04-297537 (documentos de patente 3 y 4) también se desvela que la aleación Inconel 718, que es una aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente normal, también se usa para un miembro de reactor como un material de alta resistencia que tiene una resistencia a la corrosión y una resistencia a altas temperaturas.

La aleación Inconel X-750, como la aleación a base de níquel endurecida por precipitación que tiene un módulo de alta elasticidad y una resistencia a altas temperaturas, se usa para el soporte de bomba de chorro de la bomba de chorro desvelada en el documento de patente 1, que se usa en un entorno de agua a alta temperatura y a alta presión en el reactor de agua en ebullición. Aunque la aleación Inconel X-750 tiene un módulo de alta elasticidad y una resistencia a altas temperaturas como el material para constituir el soporte de bomba de chorro, la aleación Inconel X-750 tiene el problema de que la sensibilidad al agrietamiento por corrosión bajo tensión (SCC) es alta en un entorno de agua a alta temperatura y a alta presión y el agrietamiento por corrosión bajo tensión se produce en un entorno de alta temperatura y de alta presión durante el funcionamiento del reactor nuclear.

La aleación Inconel 718 desvelada en el documento de patente 3, como la aleación a base de níquel, se usa para el miembro de reactor de una manera similar a la aleación Inconel X-750. Se desvela que el tratamiento térmico de la aleación Inconel 718 se realiza sometiendo el material a un tratamiento térmico de solución de 995 °C a 1040 °C, manteniendo el material a 760 °C durante 5 horas, enfriando (enfriamiento de horno) el material de 760 °C a 650 °C dentro de un horno, manteniendo el material a 650 °C durante 1 hora, y sometiendo el material a un tratamiento de endurecimiento por envejecimiento para su enfriamiento.

La norma ASTM (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales) B637 también describe un ejemplo en el que la aleación Inconel 718 tratada térmicamente normal se somete a un tratamiento térmico de solución de 924 °C a 1010 °C, se mantiene a 718 °C durante 8 horas, se enfría dentro de un horno, se mantiene adicionalmente a 620 °C durante 8 horas y, a continuación, se somete a un tratamiento de endurecimiento por envejecimiento para su enfriamiento por aire.

Aunque la aleación Inconel 718 tratada térmicamente normal sometida al tratamiento térmico normal es un material excelente en resistencia a altas temperaturas, como se desvela en la norma ASTM o similares, la aleación Inconel 718 tratada térmicamente normal también tiene el problema de que su ductilidad es pobre.

El documento JP 61-079743 A desvela una aleación a base de níquel como un material de resorte para bombas de chorro en reactores nucleares de tipo agua en ebullición, en el que la aleación comprende (% en peso) 50-55 de Ni, 17-21 de Cr, 4-6 de (Nb + Ta), 2-4 de Mo, 0,1-1,5 de Al, 0,1-2 de Ti y el resto de Fe, en el que la aleación es una solución tratada térmicamente a 920-1200 °C, envejecida primariamente a 698-738 °C durante aproximadamente 5 a 10 horas, enfriada a continuación en un horno, y finalmente envejecida secundariamente de manera adicional a 601-640°C durante aproximadamente 5 a 10 horas.

El documento JP 63-096214 A se refiere a la producción de un material de resorte de alta resistencia y de alta tenacidad que tiene una excelente resistencia SCC, en el que la aleación contiene, en peso, $\leq 0,08$ % C, $\leq 0,35$ % de Si, $\leq 0,35$ % de Mn, $\leq 0,015$ % de S, 17,0 a 21,0 % de Cr, $\leq 0,015$ % de P, 0,20 a 0,80 % de Al, 0,65 a 1,15 % de Ti, $\leq 0,006$ % de B, 4,75 a 5,50 % de Nb + Ta, $\leq 0,30$ % de Cu, $\leq 1,0$ % de Co (donde 50,0-55,0 % de Ni + Co), 2,80 a 3,30 % de Mo y el resto de Fe e impurezas incidentales, en el que la aleación se somete a un tratamiento térmico de solución por calentamiento durante 15 minutos o más a 950 -1150 °C, para enfriar el trabajo de resorte con la forma deseada, y finalmente a un tratamiento térmico de envejecimiento que implica mantenerlo de 4 a 10 horas a 690-710 °C.

Divulgación de la invención

Para resolver los problemas mencionados anteriormente, la presente invención proporciona un método de acuerdo con la reivindicación 1 y un soporte de bomba de chorro de acuerdo con la reivindicación 4.

Para resolver los problemas mencionados anteriormente, un objetivo de la presente invención es proporcionar un soporte de bomba de chorro producido por dicho método y fabricado de una Inconel 718 tratada térmicamente mejorada.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista en perspectiva que ilustra un estado de montaje de una bomba de chorro que comprende un soporte de bomba de chorro.

La figura 2 es una vista en perspectiva que ilustra un estado de montaje (instalación) del soporte de bomba de chorro que soporta a presión una parte de cabeza de la bomba de chorro mostrada en la figura 1 (un codo de un mezclador de entrada).

La figura 3 es una vista en sección vertical del soporte de bomba de chorro proporcionado en la bomba de chorro mostrada en la figura 2.

La figura 4 es una vista en planta del soporte de bomba de chorro mostrado en la figura 3.

La figura 5 es una vista en perspectiva que ilustra el soporte de bomba de chorro fabricado de un material de Inconel tratada térmicamente mejorada de acuerdo con la presente invención.

La figura 6 es una tabla que muestra una composición de componentes de un material de aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada de cada ejemplo que constituye el soporte de bomba de chorro de acuerdo con la presente invención.

Las figuras 7 muestran un aparato de ensayo para evaluar la sensibilidad al agrietamiento por corrosión bajo tensión de una pieza de ensayo fabricada de un material de soporte de bomba de chorro; la figura 7A es una vista frontal esquemática del aparato de ensayo de evaluación; y la figura 7B es una vista lateral del mismo.

La figura 8 es una tabla que muestra el resultado de un ensayo de agrietamiento por corrosión bajo tensión de una pieza de ensayo de cada ejemplo evaluado por el aparato de ensayo de evaluación mostrado en las figuras 7.

Mejor modo de realizar la invención

Las realizaciones preferidas de la presente invención se describirán por referencia a los dibujos adjuntos. Debe tenerse en cuenta que las referencias direccionales, tales como superior, inferior, derecha e izquierda en la siguiente descripción se usan simplemente en el estado mostrado en los dibujos.

[Ejemplo]

La figura 1 es una vista en perspectiva que ilustra un ejemplo de instalación de una bomba de chorro que comprende un soporte de bomba de chorro. Una bomba de chorro 10 está montada en una parte de conducto descendente anular 13 entre un recipiente a presión de reactor (RPV) 11 y una cubierta de núcleo 12 de un reactor de agua en ebullición (BWR). La cubierta de núcleo 12 se conforma en una forma cilíndrica con el fin de rodear un núcleo de reactor 14. Una pluralidad de conjuntos de combustible no ilustrados se cargan en el núcleo de reactor 14.

Una pluralidad de conjuntos de bombas de chorro 10, por ejemplo, 10 conjuntos de bombas de chorro 10 (20 bombas de chorro) se proporcionan en la parte de conducto descendente 13 en el recipiente a presión de reactor 11 a intervalos predeterminados en una dirección circunferencial. Cada una de las bombas de chorro 10 está conectada a un sistema de recirculación de reactor externo (no mostrado) en el interior del recipiente a presión de reactor 11. La bomba de chorro 10 alimenta a la fuerza un refrigerante en el núcleo de reactor 14 con el fin de reducir un caudal

de refrigerante que se introduce en el sistema de recirculación de reactor externo.

La bomba de chorro 10 comprende principalmente un tubo de subida 17 como un tubo de suministro de refrigerante que se extiende desde una tobera de entrada de recirculación 16, una pieza de transición 18, unos mezcladores de entrada 20 que tienen unos codos emparejados 19, y unos difusores 21. La pieza de transición 18 se proporciona de manera integral en una parte superior del tubo de subida 17, para dividir un flujo de refrigerante que sube a través del tubo de subida 17 en dos corrientes y guiar las corrientes hacia los codos 19 de los mezcladores de entrada 20.

En cada uno de los mezcladores de entrada 20, se proporcionan de manera integral cada uno del par de codos 19 y 19, una tobera de bomba de chorro 22, y una garganta de entrada 23. El codo 19 cambia de sentido el refrigerante desde el tubo de subida 17. La tobera de bomba de chorro 22 es una tobera de mezcla para expulsar el refrigerante al que se ha cambiado de sentido en el codo 19. La garganta de entrada 23 captura y mezcla el agua de reactor circundante con el refrigerante expulsado de la tobera de bomba de chorro 22 en un lado de entrada de la parte de conducto descendente 13. El refrigerante guiado en la garganta de entrada 23 se mezcla con el agua de reactor entrante desde una zona periférica y se guía en el difusor 21. El agua mezclada cae a través del difusor 21 para guiarse en una cámara inferior de núcleo en el recipiente a presión de reactor 11. El agua mezclada guiada hacia la cámara inferior de núcleo cambia de sentido en la misma para guiarse en el núcleo de reactor 14.

Como se muestra en la figura 2, un par de sujeciones de soporte de tipo puerta 25 y 25 están dispuestas verticalmente una frente a otra en ambos lados de una parte bifurcada de la pieza de transición 18. Unas partes de ranura longitudinales en sentido horizontal (muescas) 26 y 26 se proporcionan, respectivamente, en una dirección sustancialmente horizontal en posiciones enfrentadas entre sí en las partes de extremo superiores de las sujeciones de soporte 25 y 25. Las partes de ranura 26 y 26 constituyen unas cavidades. Los dos extremos de un soporte de bomba de chorro 27 se acoplan con las partes de ranura 26 y 26 con el fin de soportar a presión cada uno de los codos 19 de los mezcladores de entrada 20 desde arriba. Las dos partes de extremo del soporte de bomba de chorro 27 tienen una forma rectangular en sección transversal, y se acoplan para soportar el codo 19 en contacto de superficie con las superficies de extremo superiores de las partes de ranura 26 y 26 de las sujeciones de soporte 25.

El soporte de bomba de chorro 27 está fabricado de un material de alta elasticidad que tiene un módulo de alta elasticidad como un elemento de resorte (un cuerpo elástico). El soporte de bomba de chorro 27 tiene un área de sección que aumenta hacia una parte central de una dirección longitudinal de soporte. En las figuras 1 y 2, el número de referencia 28 indica un perno de suspensión del mezclador de entrada 20.

Un perno de cabeza 30, como un elemento constituyente de presión para presionar el codo 19 hacia abajo desde arriba, está dispuesto en la parte central del soporte de bomba de chorro 27. Un agujero roscado vertical 31 se forma verticalmente a través de la parte central del soporte de bomba de chorro 27 en perpendicular a la dirección longitudinal de soporte, como se muestra en la figura 3. El perno de cabeza 30 se atornilla en el agujero roscado vertical 31 con el fin de penetrar a través del agujero roscado vertical 31. El perno de cabeza 30 es un perno poligonal, tal como un perno hexagonal. Una rosca macho 32 del perno de cabeza 30 se atornilla en el agujero roscado vertical 31 del soporte de bomba de chorro 27. Un extremo distal del mismo (un extremo inferior) está en contacto a presión con una parte superior del codo 19 del mezclador de entrada 20.

Una parte de asiento se proporciona en la parte superior del codo del mezclador de entrada 20. Una parte saliente de cabeza arqueada o semicircular 33 formada en el extremo inferior del perno de cabeza 30 está en contacto a presión con un asiento esférico (no mostrado) dispuesto en la parte de asiento.

El codo 19 del mezclador de entrada 20 se instala de manera desmontable en la pieza de transición 18 mediante un dispositivo de fijación de perno 35 del soporte de bomba de chorro 27. El dispositivo de fijación de perno 35 del soporte de bomba de chorro 27 tiene una configuración como se muestra en las figuras 3 y 4.

El dispositivo de fijación de perno 35 comprende el perno de cabeza 30 atornillado en el agujero roscado vertical 31 del soporte de bomba de chorro 27, una tapa de bloqueo 37, una carcasa de cuerpo 38, una placa de base 39, y un miembro de resorte 40, como se muestra en la figura 3. La tapa de bloqueo 37 se ajusta a una parte de cabeza poligonal 36 del perno de cabeza 30 de una manera integralmente rotatoria y axialmente deslizante. La carcasa de cuerpo 38 puede alojar la tapa de bloqueo 37 de manera selectiva en una posición fija y una posición libremente rotatoria. La placa de base 39 instala la carcasa de cuerpo 38 fijando la carcasa de cuerpo 38 a una superficie de base de parte superior 27a del soporte de bomba de chorro 27 a través de una arandela o similar. El miembro de resorte 40 se aloja en la carcasa de cuerpo 38 con el fin de empujar la tapa de bloqueo 37 hacia arriba con una fuerza de empuje de resorte.

La placa de base 39 se fija a la superficie de base de parte superior 27a del soporte de bomba de chorro 27 con unos pasadores de colocación 41 y unos tornillos pequeños 42 (véase la figura 4). Una pestaña periférica interna 39a de la placa de base 39 se proporciona con el fin de cubrir una pestaña periférica externa 38a en una parte inferior de la carcasa de cuerpo 38 mientras que presiona la pestaña periférica externa 38a desde arriba. En las figuras 2 y 4, el número de referencia 45 indica un muñón formado de manera integral con el soporte de bomba de chorro 27.

La placa de base 39 comprende un mecanismo de restricción de rotación 44 para restringir la rotación de la carcasa de cuerpo 38 alrededor de un eje. El mecanismo de restricción de rotación 44 se acopla de manera desmontable a la carcasa de cuerpo 38 con la placa de base 39 para restringir de este modo la rotación de la carcasa de cuerpo 38.

5 Unos dientes externos ahusados 48 se forman circunferencialmente en una parte periférica externa de la tapa de bloqueo 37 del dispositivo de fijación de perno 35 con el fin de expandirse hacia abajo. Una ranura interna en forma de diente 49 de la carcasa de cuerpo 38 se engrana selectivamente con los dientes externos 48. Los dientes externos 48 de la tapa de bloqueo 37 se engranan con (se ensamblan a) la ranura interna en forma de diente 49 de la carcasa de cuerpo 38 para fijarse a la misma de una manera integralmente rotatoria cuando la tapa de bloqueo 37 se mueve hacia arriba para adoptar una posición lateral izquierda en la figura 3. Cuando la tapa de bloqueo 37 adopta una posición lateral derecha en la figura 3, los dientes externos 38 pueden rotar libremente. Una parte inferior de una pared periférica interna de la carcasa de cuerpo libremente rotatoria 38 se forma a nivel con una parte inferior de la ranura interna en forma de diente 49 en la misma superficie periférica interna.

15 La tapa de bloqueo 37 y la carcasa de cuerpo 38 están fabricadas de un material duro, tal como una aleación a base de níquel. Al menos los dientes externos 48 de la tapa de bloqueo 37 y la ranura interna en forma de diente 49 de la carcasa de cuerpo 38 están fabricados de un material duro. Se usa un material de revestimiento de soldadura fuerte o un material de revestimiento de soldadura que contiene cobalto.

20 En el dispositivo de fijación de perno 35, la tapa de bloqueo 37 se comprime contra una fuerza de empuje de resorte del miembro de resorte (el cuerpo elástico) 40, de manera que los dientes externos 48 de la tapa de bloqueo 37 y la ranura interna en forma de diente 49 de la carcasa de cuerpo 38 se desacoplan unos de otros, y la tapa de bloqueo 37 adopta una posición libremente rotatoria, como se muestra en la mitad derecha de la figura 3. En consecuencia, la cabeza de perno 30 puede rotar libremente, y el perno de cabeza 30 llega a rotar libremente con respecto al soporte de bomba de chorro 27. Puede hacerse rotar de este modo el perno de cabeza 30 para que se mueva hacia arriba y hacia abajo.

30 En el dispositivo de fijación de perno 35 del soporte de bomba de chorro 27, el mezclador de entrada 20 se instala en una superficie de asiento de la pieza de transición 18 en el tubo de subida 17 de la bomba de chorro soportándose a presión por el dispositivo de fijación de perno 35 mediante el uso del soporte de bomba de chorro 27. La bomba de chorro 10 divide el agua de refrigeración que sube a través del tubo de subida 17 en dos corrientes en la pieza de transición 18 y guía las corrientes hacia par de codos 19.

35 El agua de refrigeración cambia de sentido en los codos 19 de los mezcladores de entrada 20, y se expulsa hacia abajo, hacia los puertos de aspiración de las gargantas de entrada 23 desde las toberas de bomba de chorro 22 en los dos lados externos, como se muestra en la figura 1. Cuando se expulsa desde las toberas de bomba de chorro 22 como un fluido de expulsión de alta velocidad (fluido de conducción), el agua de refrigeración captura, en la parte de conducto descendente 13, agua saturada (refrigerante) separada a través de un separador de vapor de agua y un secador de vapor (no se muestra ninguno de los dos) en una parte superior de núcleo de reactor, y se aspira desde un área de baja presión generada en las salidas de las toberas de bomba de chorro 22 en las gargantas de entrada 23. Después de que el fluido de conducción y el fluido de aspiración (gas de conducción) se mezclan lo suficiente en las gargantas de entrada 23, el fluido mezclado restablece su presión en los difusores 21 y, a continuación, se envía a la cámara inferior de núcleo de reactor.

45 El refrigerante expulsado de la bomba de chorro 10 cambia de sentido en la cámara inferior de núcleo y se guía hacia el núcleo de reactor 14. El líquido refrigerante se calienta mientras que pasa a través del núcleo 14 para dar como resultado un flujo de dos fases mixto de aire-agua, que sube hacia arriba, se envía al separador de vapor de agua no ilustrado para separarse, se envía al secador de vapor (no mostrado) para secarse, y se envía a una turbina de vapor desde una salida de vapor principal.

50 El agua saturada guiada a la parte de conducto descendente 13 se mueve parcialmente hacia abajo a través de la parte de conducto descendente 13 y se extrae desde una tobera de salida en dos series de bucles de recirculación. Se aumenta la presión de la misma mediante una bomba de recirculación (no mostrada). Después de aumentarse la presión mediante la bomba de recirculación, el agua saturada se envía al tubo de subida 17 desde la tobera de entrada de recirculación 16 de la bomba de chorro 10, sube a través del tubo de subida 17, cambia de sentido en el codo 19 de los mezcladores de entrada 20, y se expulsa de nuevo desde las toberas de bomba de chorro 22.

60 A este respecto, un miembro de reactor, que es un miembro de resorte fabricado de un material de aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada (aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada) mostrado en la figura 5, se usa como el soporte de bomba de chorro 27 de la bomba de chorro 10. El soporte de bomba de chorro 27 está fabricado del material de aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada (aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada) obtenido mediante la mejora del tratamiento térmico, tal como el tratamiento térmico de solución y el tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento sobre la aleación Inconel 718 endurecida por precipitación tratada térmicamente normal convencional.

[A] Composición química del material del soporte de bomba de chorro

El soporte de bomba de chorro 27 está fabricado de un material de aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada (aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada). Un material usado para la aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada es similar a un material definido y prescrito en las normas JIS G4901, AMS 5662, y ASTM B670.

La aleación a base de níquel tratada térmicamente mejorada usada para el soporte de bomba de chorro 27 es equivalente a la aleación Inconel 718, y sus elementos de composición química están representados, por % en masa, de la siguiente manera.

El soporte de bomba de chorro 27 se produce a partir de la aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada obtenida sometiendo a un tratamiento térmico de solución mejorado y un tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento a un material de aleación a base de níquel endurecida por precipitación (aleación Inconel 718) que tiene una composición de componentes que contiene, por % en masa, Ni: 50,0 % a 55,0 %, Cr: 17,0 % a 21,0 %, Nb + Ta: 4,75 % a 5,50 %, Mo: 2,8 % a 3,3 %, Ti: 0,65 % a 1,15 %, Al: 0,2 % a 0,8 %, C: 0,08 % o menos, Si: 0,35 % o menos, Mn: 0,35 % o menos, S: 0,015 % o menos, P: 0,03 % o menos, Cu: 0,30 % o menos, B: 0,006 % o menos, y Co: 1,0 % o menos, y Fe e impurezas inevitables que constituyen una parte restante (resto). El soporte de bomba de chorro 27 producido como se ha descrito anteriormente se usa en la bomba de chorro 10 como el miembro de reactor.

La aleación a base de níquel endurecida por precipitación se somete a un tratamiento térmico, tal como el tratamiento térmico de solución mejorado y el tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento. El tratamiento térmico se realiza fundiendo el material de aleación a base de níquel endurecida por precipitación, sometiendo el material a una forja en matriz, sometiendo el material forjado en matriz a un tratamiento térmico de solución de 1010 °C a 1090 °C, acabando el material mediante mecanizado o trabajo en frío, y sometiendo el material acabado a un tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento a una temperatura de 694 °C a 714 °C durante 5 a 7 horas, para obtener de este modo la aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada (aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada).

Los componentes químicos (elementos de composición) de la aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada son equivalentes a los de la aleación Inconel 718 (ASTM B637) tratada térmicamente normal. El tratamiento térmico en el que se mejoran el tratamiento térmico de solución y el tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento se aplica a la misma, para producir de este modo la aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada.

La aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada tiene una sensibilidad al agrietamiento por corrosión bajo tensión muchísimo menor en un entorno de agua a alta temperatura que la de la aleación Inconel 718 tratada térmicamente normal o la aleación Inconel X-750. Se ha descubierto como hallazgo técnico que, puesto que la sensibilidad al agrietamiento por corrosión bajo tensión es pequeña, las propiedades anti-agrietamiento por corrosión bajo tensión pueden mejorarse. Se sabe que el agrietamiento por corrosión bajo tensión ocurre cuando se cumplen tres elementos que deben existir, un esfuerzo de tracción, unas condiciones ambientales de uso y unas características del propio material. Con el fin de evitar el agrietamiento por corrosión bajo tensión, se mejoran las propiedades anti-agrietamiento por corrosión bajo tensión mediante la mejora de las características del propio material y la reducción de la sensibilidad al agrietamiento por corrosión bajo tensión.

Puesto que el soporte de bomba de chorro 27 se usa en un entorno de radiación de alta temperatura y de alta presión en un reactor de agua ligera, se establece un límite superior para los elementos de composición Co y B del soporte de bomba de chorro 27 desde el punto de vista de la radiación. De manera práctica, es preferible que el contenido de C se establezca en 0,05 % o menos, y el contenido de B se establezca en 0,001 % o menos.

El material usado para el soporte de bomba de chorro 27 tiene una composición de componentes similar a la definida en las normas JIS G4901, AMS 5661 y ASTM B670 o similares. La resistencia del material puede mejorarse aún más precipitando Ni_3Nb de fase γ'' como un precipitado mediante el tratamiento térmico.

A continuación, se describirá en el presente documento una razón por la que la composición química del soporte de bomba de chorro 27 está limitada.

(1) Ni

El Ni es un elemento principal de la aleación a base de níquel tratada térmicamente mejorada, y es un elemento constitutivo de los precipitados de fase γ'' y de fase γ' . Cuando un contenido de Ni es menor del 50 % o supera el 55 %, se aumenta relativamente un porcentaje de contenido de Fe, y se reduce la estabilidad de fase matriz. Por lo tanto, se establece un porcentaje de contenido de Ni en un intervalo del 50 % al 55 %.

(2) Cr

El Cr es un elemento necesario para garantizar la resistencia a la corrosión contra el agua a alta temperatura y alta presión. Cuando un porcentaje de contenido de Cr es menor del 17 %, no puede proporcionarse la suficiente resistencia a la corrosión. Por otro lado, cuando el porcentaje de contenido de Cr supera el 21 %, una cantidad de precipitación de carburo de Cr en el límite de grano aumenta durante el uso a alta temperatura. Por lo tanto, el porcentaje de contenido de Cr se establece del 17 % al 21 %.

Cuando se añade Cr al Ni, el material se pasiva en una solución acuosa de ácido o alcalino, para tener de este modo una alta resistencia a la corrosión.

(3) Nb

Nb es un elemento necesario para mejorar la resistencia a altas temperaturas mediante endurecimiento por precipitación, y es un elemento constitutivo del (Ni_3Nb) de fase γ'' que es uno de los principales precipitados de la aleación a base de níquel tratada térmicamente mejorada. Un porcentaje de composición química de Nb se establece preferentemente del 4,75 % al 5,5 %. Cuando el contenido de Nb es menor del 4,75 %, es difícil garantizar una cantidad necesaria del precipitado (Ni_3Nb) de fase γ'' para una resistencia estable, de manera que el material no se endurece lo suficiente por precipitación. Por el contrario, cuando el contenido de Nb supera el 5,5 %, aumenta la cantidad de formación de NbC no sólido, lo que no es preferible.

Puesto que se espera que el Ta produzca un efecto similar al del Nb, un porcentaje total de Nb+Ta puede ser del 4,75 % al 5,5 %.

(4) Mo

El Mo es un elemento que influye en el fortalecimiento de solución sólida de la aleación a base de níquel tratada térmicamente mejorada. Cuando el contenido de Mo es inferior al 2,8 %, el efecto de fortalecimiento de solución sólida es pequeño. Por el contrario, cuando el contenido de Mo supera el 3,3 %, una cantidad de precipitación de carburo M₆C se aumenta durante el uso a altas temperaturas, lo que no es preferible. Por lo tanto, es preferible un porcentaje de composición de Mo del 2,8 % al 3,3 %.

También se ha descubierto que cuando se añade Mo, la sensibilidad al agrietamiento por corrosión bajo tensión puede reducirse sustancialmente.

Cuando se añade Mo además de Ni, también puede obtenerse una aleación que tiene una buena resistencia a la corrosión contra el ácido.

(5) Ti

De la misma manera que en el Al, el Ti es un elemento que mejora preferentemente la resistencia a altas temperaturas mediante la formación de un compuesto intermetálico con Ni fino, e influye en la resistencia a la precipitación mediante la formación de $(Ni_3 (Al, Ti))$ de fase γ' que mejora la resistencia a la precipitación del material. Cuando el contenido de Ti es inferior al 0,65 %, la cantidad de precipitación de fase γ' es pequeña. Por el contrario, cuando el contenido de Ti supera el 1,15 %, se aumenta la cantidad de formación de TiC no sólido.

Por lo tanto, el porcentaje de composición de Ti se establece del 0,65 % al 1,15 %.

(6) Al

El Al afecta a la resistencia a la precipitación mediante la formación de $(Ni_3 (Al, Ti))$ de fase γ' que mejora la resistencia a la precipitación del material de una manera similar al Ti. Cuando un porcentaje de composición de Al es inferior al 0,2 %, la cantidad de precipitación es pequeña. Por el contrario, cuando el porcentaje de composición de Al supera el 0,8 %, no puede esperarse una precipitación estable de la relación entre la concentración de Ti y la concentración de Nb.

Por lo tanto, con el fin de obtener una resistencia a la precipitación estable del material, el contenido de Al se establece en un intervalo del 0,2 % al 0,8 %.

(7) Otros elementos

Otros elementos incluyen Fe y elementos afluentes cuando se añade Fe. Es preferible reducir los otros elementos tanto como sea posible.

La aleación a base de níquel tratada térmicamente mejorada también puede tener la composición de componentes menor que contiene C: 0,08 % o menos, Mn: 0,35 % o menos, Si: 0,35 % o menos, S: 0,15 % o menos, P: 0,03 % o

menos, preferentemente 0,015 % o menos, Cu: 0,30 % o menos, B: 0,006 % o menos, y Co: 1,0 % o menos como se define en las normas JIS G4901, AMS 5662 y ASTM B670.

5 El C es un elemento necesario para mejorar la resistencia del material. Sin embargo, cuando se contiene una cantidad excesivamente grande de C, se deteriora la resistencia a la corrosión, y también se reduce la tenacidad. Por lo tanto, el contenido de C se establece en el 0,08 % o menos.

[B] Características mecánicas del soporte de bomba de chorro

10 Las características mecánicas del soporte de bomba de chorro 27 producido a partir de la aleación a base de níquel tratada térmicamente mejorada (aleación Inconel 718 endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada) son sustancialmente las mismas que las de la aleación Inconel X-750 usada para un soporte de bomba de chorro convencional.

15 Las características mecánicas de la aleación Inconel X-750 descrita en la norma ASTM B637 cumplen las siguientes condiciones a una temperatura normal:

20 resistencia a la tracción: 1103 a 1276 MPa,
resistencia de prueba al 0,2 %: 689 a 896 MPa,
alargamiento: 20 % o más,
contracción: 20 % o más,
dureza Brinell: 267 a 363.

25 Se usa la aleación a base de níquel tratada térmicamente mejorada que tiene la características mecánicas equivalentes a las de la aleación Inconel X-750.

[C] Condiciones de tratamiento térmico del soporte de bomba de chorro

30 El soporte de bomba de chorro 27 se produce a partir del material de aleación a base de níquel tratada térmicamente mejorada (aleación Inconel 718 endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada). El soporte de bomba de chorro 27 se usa en un entorno de alta temperatura y de alta presión. Por lo tanto, con el fin de reducir la sensibilidad al agrietamiento por corrosión bajo tensión y garantizar la facilidad de deformación plástica de un material metálico, o ductilidad, que representa un estado en el que el material se deforma plásticamente con facilidad en el momento de la producción de la aleación a base de níquel tratada térmicamente mejorada, se usa la
35 aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada para producir el soporte de bomba de chorro 27.

40 A continuación, se describirá en el presente documento una razón por la que se limitan las condiciones de la aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada (aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada).

45 Un intervalo de temperaturas de tratamiento térmico de solución de la aleación a base de níquel tratada térmicamente mejorada es de 1010 °C a 1090 °C. Cuando el tratamiento térmico se realiza a menos de 1010 °C, una mayor cantidad de compuesto intermetálico de fase δ , o similar, se precipita en el límite de grano cristalino de la aleación a base de níquel, y no puede mejorarse la ductilidad. Por el contrario, cuando el tratamiento térmico se realiza a más de 1090 °C, el grano cristalino se curte, y la resistencia del material se reduce, de manera que pueden no obtenerse las características mecánicas objetivo.

50 En cuanto a las características mecánicas del soporte de bomba de chorro 27, se emplean las condiciones de características mecánicas de la aleación Inconel X-750 usada actualmente, descrita en la norma ASTM B637, ya que no hay problemas en el uso de la aleación Inconel X-750.

55 Las características mecánicas de la aleación Inconel X-750 descrita en la norma ASTM B637 cumplen las siguientes condiciones a una temperatura normal:

60 resistencia a la tracción: 1103 a 1276 MPa,
resistencia de prueba al 0,2 %: 689 a 896 MPa,
alargamiento: 20 % o más,
contracción: 20 % o más,
dureza Brinell: 267 a 363.

65 Con el fin de obtener las características mecánicas en la aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada, es preferible un intervalo de temperaturas de tratamiento térmico de 1010 °C a 1090 °C como la temperatura de tratamiento térmico de solución. En cuanto a las condiciones de enfriamiento, el tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento se realiza preferentemente a temperaturas próximas a 704 °C como una condición para cumplir las características mecánicas de la aleación Inconel X-750 a una

temperatura normal.

Se ha descubierto recientemente que, como tratamiento térmico en una estructura real del soporte de bomba de chorro 27, se emplea adecuadamente un intervalo de temperaturas de 694 °C a 714 °C en el tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento como un intervalo de temperaturas de más/menos 10 °C a 704 °C, y como tratamiento térmico en una estructura real del soporte de bomba de chorro 27, un intervalo de tiempo de tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento de 5 a 7 horas que es un intervalo de más/menos 1 hora a 6 horas que es una duración preferible adecuada como tiempo de tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento.

[D] Ensayo de evaluación de la sensibilidad al agrietamiento por corrosión bajo tensión de una pieza de ensayo

Como se muestra en la figura 6, cuatro tipos de materiales de ensayo que tienen diferentes composiciones de componentes, como se muestra en los ejemplos 1 a 4, se prepararon para evaluar la sensibilidad al agrietamiento por corrosión bajo tensión de la aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada. En cada uno de los ejemplos 1 a 4, la composición química del material de ensayo se representa por % en masa.

Los materiales de ensayo de los ejemplos 1 a 4 mostrados en la figura 6 se produjeron a partir de 4 tipos de aleaciones Inconel 718 tratadas térmicamente mejoradas. La aleación a base de níquel endurecida por precipitación (aleación Inconel 718) se sometió a un tratamiento térmico de solución a 1030 °C y, a continuación, se sometió a un tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento a 704 °C durante 6 horas, para producir de este modo, respectivamente, una pluralidad de, por ejemplo, cinco piezas de ensayo fabricadas de la aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada.

Después de completar el tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento, una pluralidad de, por ejemplo, cinco piezas de ensayo que tenían diferentes composiciones de componentes, se obtuvieron de cada uno de los cuatro tipos de aleaciones Inconel 718 tratadas térmicamente mejoradas. Un ensayo de evaluación de la sensibilidad al agrietamiento por corrosión bajo tensión en agua que tenía una alta temperatura correspondiente a una temperatura dentro de un recipiente a presión de reactor se realizó sobre los cuatro tipos de piezas de ensayo. El ensayo de evaluación se realizó usando, por ejemplo, un aparato de ensayo CBB (agrietamiento de viga por flexión) 50.

Las figuras 7A y 7B muestran una estructura del aparato de ensayo CBB 50 para evaluar la sensibilidad al agrietamiento por corrosión bajo tensión de una pieza de ensayo 51. El aparato de ensayo CBB 50 engancha y retiene la pieza de ensayo 51 entre un par de plantillas de ensayo 52a y 52b que tienen cada una de las mismas una superficie de ensayo con un radio de curvatura de 100R, y aprieta la pieza de ensayo 51 usando los tornillos 54 y 54. La pieza de ensayo 51 tiene una forma de placa rectangular que tiene un tamaño de, por ejemplo, 10 mm x 50 mm x 2 mm.

En el aparato de ensayo CBB 50, una lana de grafito 55 y unos espaciadores 56 se interponen entre la pieza de ensayo 51 y el par de plantillas de prueba 52a y 52b para garantizar un hueco entre las mismas.

Se realizó un ensayo CBB en la pieza de ensayo 51 sumergiendo la pieza de ensayo 51 en agua pura a alta temperatura y alta presión que tenía, por ejemplo, una temperatura de 288 °C y una presión de 7,8 MPa durante 500 horas usando un autoclave, dividiendo la pieza de ensayo 51 en mitades, y examinando la máxima profundidad de grieta en una sección partida a la mitad. El ensayo CBB se realizó de forma repetida sobre la pluralidad de, por ejemplo, las cinco piezas de ensayo 51 de cada uno de los cuatro tipos de aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada.

La figura 8 muestra el número de grietas y la máxima profundidad de grieta después de la prueba CBB sobre las piezas de ensayo 51 fabricadas de los materiales de aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada (aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada) en los ejemplos 1 a 4. En cuanto a la aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada, no se produjo agrietamiento por corrosión bajo tensión en ninguno de los cuatro tipos de piezas de ensayo 51 en los ejemplos 1 a 4. De este modo, se confirmó que la sensibilidad al agrietamiento por corrosión bajo tensión de la pieza de ensayo era muy pequeña, y se obtuvieron excelentes propiedades anti-agrietamiento por corrosión bajo tensión.

[Realización]

Una realización del soporte de bomba de chorro de acuerdo con la presente invención se refiere a una técnica para producir el miembro de reactor fabricado de la aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada (la aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada) mostrada en la figura 6, en particular, se refiere a una técnica para producir el soporte de bomba de chorro 27 mostrado en la figura 5.

El soporte de bomba de chorro 27 se produce por la fusión del material de aleación a base de níquel endurecida por precipitación (aleación Inconel 718) que tiene la composición química mostrada en la figura 6, sometiendo el material al tratamiento térmico de solución dentro del intervalo de temperaturas de tratamiento térmico de solución descrito

5 en el ejemplo anterior que conforma el material en una forma de producto del soporte de bomba de chorro 27 por mecanizado o trabajo en frío después del tratamiento térmico de solución y, a continuación, realizando el tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento predeterminado sobre el mismo. La aleación de Inconel 718 se somete al tratamiento térmico de solución dentro del intervalo de temperaturas de 1010 °C a 1090 °C. Después del tratamiento térmico de solución, la aleación Inconel 718 se somete a un mecanizado, tal como un forjado en caliente o un forjado en frío, o al trabajo en frío en el que un material metálico se somete a trabajo plástico a una temperatura de recristalización o menos, y de este modo se conforma en la forma de producto del soporte de bomba de chorro.

10 Después de formarse en la forma de producto predeterminada, la aleación Inconel 718 se somete al tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento de 694 a 714 °C durante 5 a 7 horas, para producir de este modo el soporte de bomba de chorro. Cuando el tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento se realiza durante una duración de tiempo predeterminada, se precipita (Ni_3Nb) de fase γ en la aleación Inconel 718 mediante un tratamiento térmico de endurecimiento por precipitación, de manera que la aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada se obtiene como un material de alta resistencia.

15 En general, el material de alta resistencia tiene una pobre viabilidad. Por lo tanto, cuando se produce el soporte de bomba de chorro 27 que tiene una forma de producto complicada, el material se conforma en la forma de producto predeterminada por el mecanizado o el trabajo en frío después del tratamiento térmico de solución donde el material se forma fácilmente en la forma de producto. Después de conformarse en la forma de producto predeterminada, se realiza el tratamiento térmico de endurecimiento por precipitación para mejorar la resistencia del material. En consecuencia, se produce el miembro de reactor para el soporte de bomba de chorro 27, como se muestra en la figura 5.

20 Como miembro de reactor real, el material de aleación a base de níquel endurecida por precipitación tratada térmicamente mejorada se preparó mejorando el tratamiento térmico en la aleación a base de níquel endurecida por precipitación (en un estado de material fundido) que tenía la composición de componentes mostrada en la figura 6, y el soporte de bomba de chorro 27 se produjo experimentalmente usando esta aleación a base de níquel tratada térmicamente mejorada.

25 En el momento de producir realmente el soporte de bomba de chorro 27, de acuerdo con la presente invención, se realizó una forja en matriz después de fundir el material de aleación a base de níquel endurecida por precipitación (aleación Inconel 718), formando en bruto el soporte de bomba de chorro. Después de esta formación en bruto, la aleación Inconel 718 se sometió al tratamiento térmico de solución dentro del intervalo de temperaturas predeterminado, y se acabó por el mecanizado o el trabajo en frío. Después de acabar el soporte de bomba de chorro, se realizó posteriormente el tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento para producir la aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada. El soporte de bomba de chorro 27 fabricado de la aleación Inconel 718 tratada térmicamente mejorada se produjo de este modo, como se muestra en la figura 5.

30 Como se ha descrito anteriormente, el soporte de bomba de chorro 27 se produjo como se muestra en la figura 5 como el elemento de resorte usado en un reactor de agua en ebullición real. Incluso cuando se usa en un entorno de alta temperatura y de alta presión, el soporte de bomba de chorro 27 tiene unas excelentes propiedades anti-agrietamiento por corrosión bajo tensión con una pequeña sensibilidad al agrietamiento por corrosión bajo tensión, y tiene un módulo de alta elasticidad, una resistencia a altas temperaturas y una excelente ductilidad.

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir un soporte de bomba de chorro (27) fabricado de una aleación a base de níquel tratada térmicamente mejorada, que comprende las etapas de:

5 preparar un material de aleación a base de níquel endurecida por precipitación que tiene una composición de componentes que consiste en, por % en masa, Ni: 50,0 % a 55,0 %, Cr: 17,0 % a 21,0 %, Nb + Ta: 4,75 % a 5,50 %, Mo: 2,8 % a 3,3 %, Ti: 0,65 % a 1,15 %, Al: 0,2 % a 0,8 %, siendo el resto Fe e impurezas inevitables, conteniendo además opcionalmente C: 0,08 % o menos, Mn: 0,35 % o menos, Si: 0,35 % o menos, S: 0,015 % o menos, P: 0,03 % o menos, Cu: 0,30 % o menos, B: 0,006 % o menos y Co: 1,0 % o menos;

10 formar en bruto el material de aleación a base de níquel en la forma de producto mediante una forja en matriz después de fundir el material de aleación a base de níquel, someter el material de aleación a base de níquel formado en bruto al tratamiento térmico de solución a una temperatura de 1010 °C a 1090 °C,

15 acabar el material de aleación a base de níquel mediante el mecanizado o el trabajo en frío, y someter el material de aleación a base de níquel acabado al tratamiento térmico de endurecimiento por envejecimiento a una temperatura de 694 °C a 714 °C durante 5 a 7 horas.

2. El método para producir un soporte de bomba de chorro (27) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el contenido de B es el 0,001 % o menos, y el contenido de Co es el 0,05 % o menos por % en masa.

3. El método para producir un soporte de bomba de chorro (27) de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el que el tratamiento de endurecimiento por envejecimiento se realiza a 704 °C y temperaturas próximas a la misma durante casi 6 horas.

4. Un soporte de bomba de chorro (27) producido por el método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3.

5. El soporte de bomba de chorro (27) de acuerdo con la reivindicación 4, que comprende:

30 un cuerpo fabricado de un material elástico;
 un agujero roscado vertical (31) dispuesto en una parte central del cuerpo, en el que debe atornillarse un perno de cabeza (30); y
 una superficie de soporte de la parte superior del cuerpo para soportar un dispositivo de fijación de perno de cabeza (35).

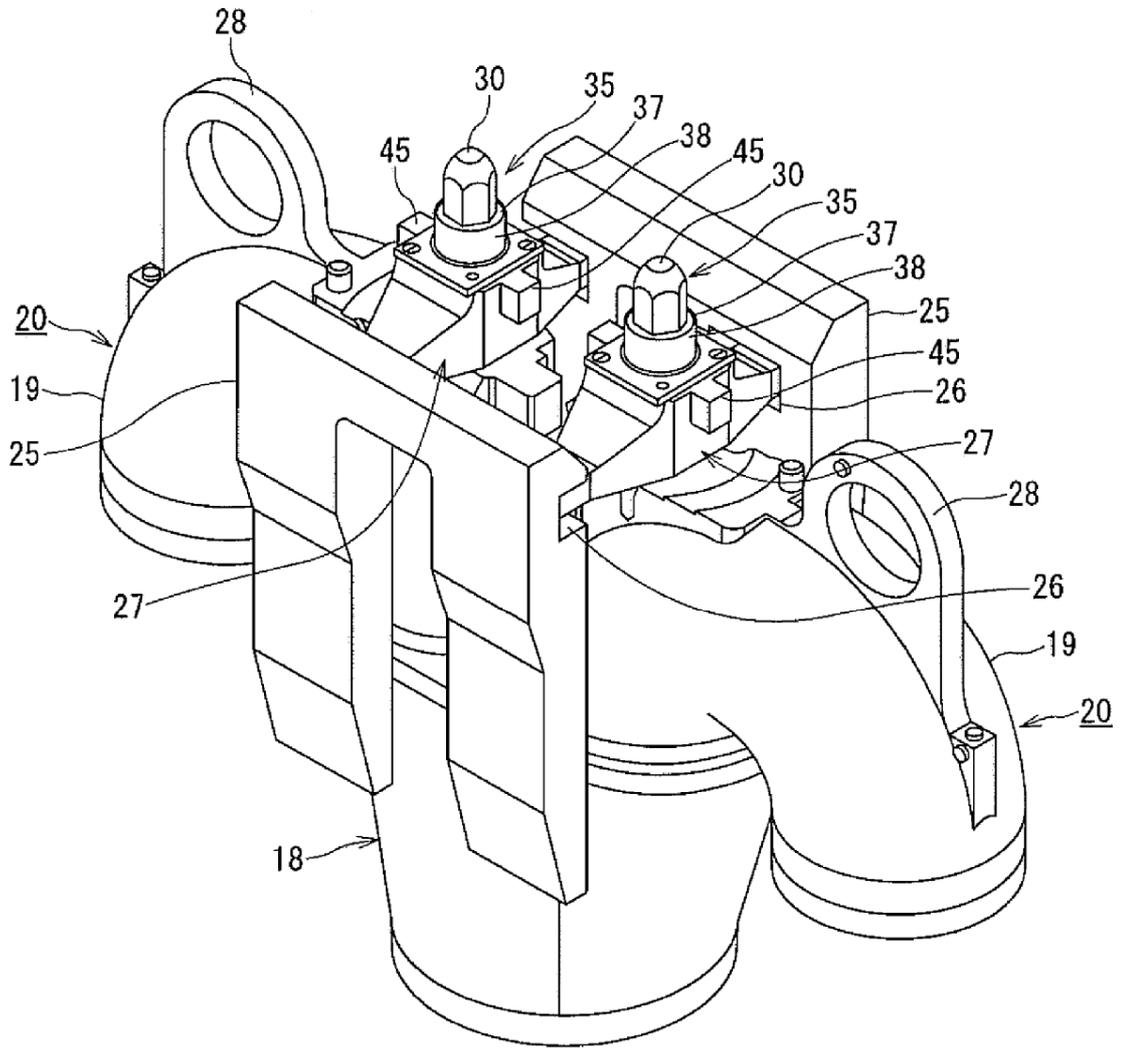


FIG. 2

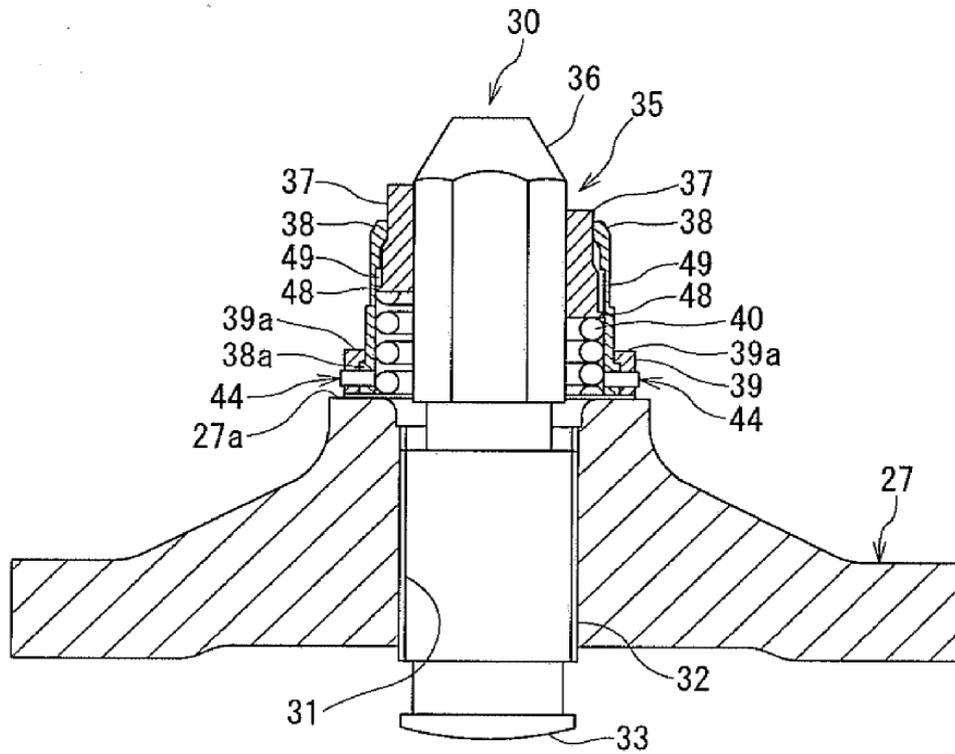


FIG. 3

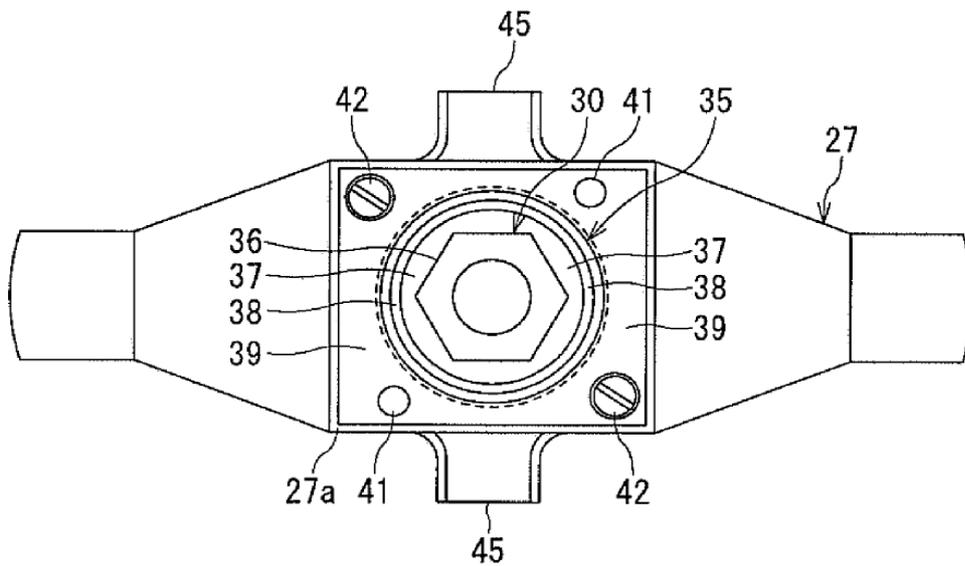


FIG. 4

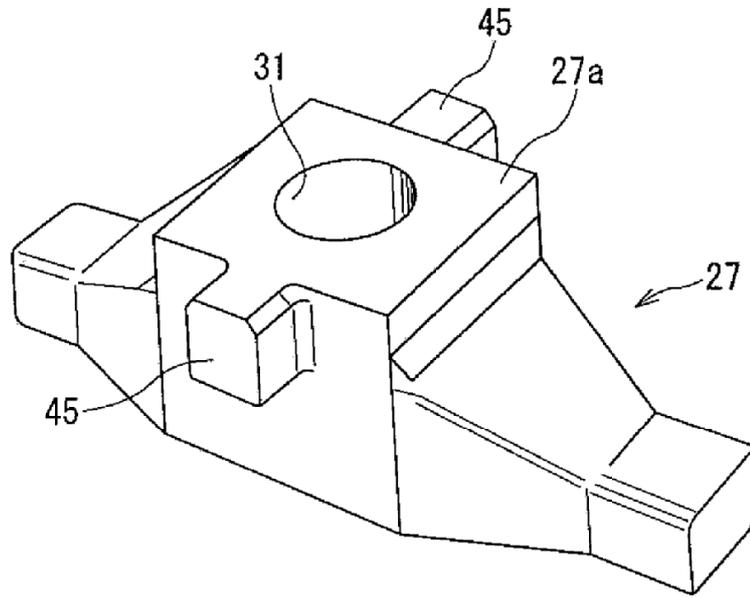


FIG. 5

COMPOSICIÓN DE COMPONENTES (% en peso)	Ni	Cr	Nb+Ta	Mo	Ti	Al	C	Mn
ALEACIÓN INCONEL 718	50,0-55,0	17,0-21,0	4,75-5,50	2,80-3,30	0,65-1,15	0,20-0,80	≤0,08	≤0,35
EJEMPLO 1	52,23	18,67	5,01	3,06	0,93	0,55	0,024	0,04
EJEMPLO 2	52,80	18,51	5,11	3,10	0,86	0,65	0,023	0,07
EJEMPLO 3	51,90	18,52	5,15	3,09	0,88	0,68	0,023	0,05
EJEMPLO 4	52,16	18,67	5,10	3,13	0,86	0,66	0,023	0,05

COMPOSICIÓN DE COMPONENTES (% en peso)	Si	S	P	Cu	B	Co	Fe
ALEACIÓN INCONEL 718	≤0,35	≤0,015	≤0,015	≤0,30	≤0,006	≤1,0	RESTO
EJEMPLO 1	0,06	<0,001	0,003	0,01	0,0042	0,02	RESTO
EJEMPLO 2	0,11	<0,001	0,002	0,02	0,0040	0,26	RESTO
EJEMPLO 3	0,08	<0,001	0,002	0,01	0,0040	0,02	RESTO
EJEMPLO 4	0,07	<0,001	0,002	0,02	0,0036	0,03	RESTO

FIG. 6

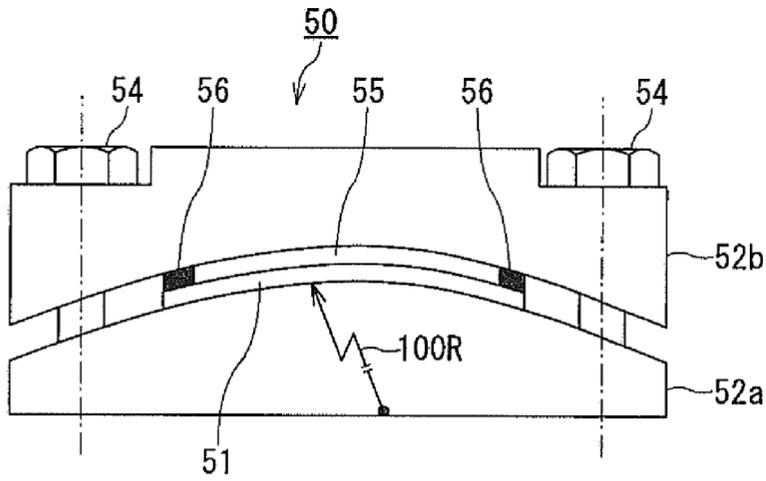


FIG. 7A

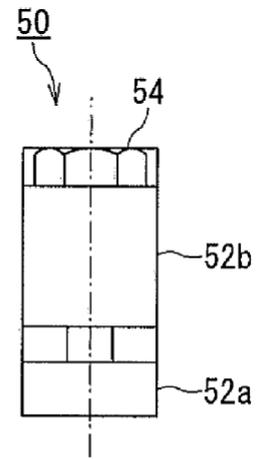


FIG. 7B

PIEZA DE ENSAYO	NÚMERO DE PIEZAS AGRIETADAS/ NÚMERO DE PIEZAS ENSAYADAS	PROFUNDIDAD MÁXIMA DE GRIETA
EJEMPLO 1	0/5	0
EJEMPLO 2	0/5	0
EJEMPLO 3	0/5	0
EJEMPLO 4	0/5	0

FIG. 8