

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 617 359**

51 Int. Cl.:

**C22C 19/05** (2006.01)

**C22F 1/10** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.07.2012 PCT/JP2012/069382**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.02.2013 WO2013021853**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.07.2012 E 12822136 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.12.2016 EP 2743362**

54 Título: **Aleación resistente al calor con base en Ni**

30 Prioridad:

**09.08.2011 JP 2011173504**

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

**16.06.2017**

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION (100.0%)  
6-1, Marunouchi 2-chome  
Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071, JP**

72 Inventor/es:

**SEMBA, HIROYUKI;  
OKADA, HIROKAZU;  
HIRATA, HIROYUKI;  
YOSHIZAWA, MITSURU y  
ISEDA, ATSURO**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 617 359 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

Aleación resistente al calor con base en Ni

## 5 CAMPO TÉCNICO

La presente invención se relaciona con una aleación resistente al calor con base en Ni. Más particularmente, la invención se relaciona con una aleación resistente al calor con base en Ni excelente en la capacidad de trabajo en caliente y en dureza, y ductilidad después del uso a largo plazo, que se usa como un material de tubería, una placa gruesa para partes que tienen resistencia al calor y resistencia a la presión, un material de barra, un forjado, y similares en calderas generadoras de energía, plantas industriales químicas, y similares.

## ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA

15 En años recientes, un número de calderas ultra supercríticas que son operadas a una temperatura y presión aumentada para lograr alta eficiencia son de nueva construcción en el mundo.

20 Específicamente, en algunos proyectos, la temperatura de vapor, que hasta ahora ha sido próximamente 600°C, se incrementa adicionalmente a 650°C o más alto y adicionalmente a 700°C o más alto. Esto es con base en el hecho que el ahorro de energía, uso efectivo de recursos, y reducción en emisión de gases CO<sub>2</sub> para la preservación del medio ambiente son retos para resolver problemas energéticos, y son incluidos en importantes políticas industriales. En el caso de calderas de generación de energía que queman un combustible fósil y reactores para la industria química, son ventajosas calderas ultra supercríticas altamente eficientes y reactores.

25 Dichas altas temperaturas y presiones de vapor también incrementan la temperatura de un tubo de súpercalentador de caldera, un tubo de reactor para la industria química, y una placa gruesa y un forjado usado como una parte que tiene resistencia al calor y resistencia a la presión a 700°C o superior en el momento de la operación real. Por lo tanto, una aleación usada en un ambiente difícil por un periodo largo de tiempo debe ser excelente en no solamente resistencia a temperatura alta y resistencia a la corrosión a temperatura alta sino también en estabilidad de largo plazo de microestructura metálica, ductilidad de rotura por fluencia, resistencia a la fatiga por fluencia.

30 Adicionalmente, durante el trabajo de mantenimiento tal como reparación después de uso de largo plazo, se necesita cortar, trabajar, o soldar un material envejecido en un periodo largo de tiempo, por lo tanto, no solamente han sido requeridos fuertemente, en años recientes, las características para un material nuevo sino también la solidez de un material envejecido.

35 Para cumplir los requerimientos severos, una aleación con base en Fe tal como acero inoxidable austenítico sufre falta de resistencia a la rotura por fluencia. Por lo tanto, es inevitable usar aleación con base en Ni en la que se usa la precipitación de una fase  $\gamma'$  o similar.

40 En consecuencia, los Documentos de Patente 1 a 9 divulgan aleaciones con base en Ni que contienen Mo y/o W para lograr el fortalecimiento de la solución sólida, y contienen Al y Ti para usar el fortalecimiento de precipitación de la fase  $\square'$ , que es un compuesto intermetálico, o específicamente usa fortalecimiento de precipitación de Ni<sub>3</sub>(Al, Ti) para uso en el ambiente de alta temperatura difícil descrito anteriormente.

45 En las aleaciones divulgadas en los Documentos de Patente 4 a 6, ya que se contiene 28% o más de Cr, una cantidad grande de fase  $\alpha$ -Cr que tienen estructura bcc también precipita y contribuye al fortalecimiento.

50 La aleación de acuerdo con el Ejemplo A2 del Documento de Patente 9 contiene 8.46% de Mo, 0.006% de Nd, y 0.004% de O.

## LISTA DE CITAS

55 Documento de Patente 1 JP51-84726A  
Documento de Patente 2 JP51-84727A  
Documento de Patente 3 JP7-150277A  
Documento de Patente 4 JP7-216511A  
Documento de Patente 5 JP8-127848A  
Documento de Patente 6 JP8-218140A  
60 Documento de Patente 7 JP9-157779A  
Documento de Patente 8 JP2002-518599A  
Documento de Patente 9 WO2011/071054A1

## RESUMEN DE LA INVENCION

65 PROBLEMA TÉCNICO

5 Las aleaciones con base en Ni divulgadas en los Documentos de Patente 1 a 8 tienen ductilidad más baja que aquella del acero austenítico convencional porque la fase  $\gamma'$  precipita o la fase  $\square'$  el precipitado de la fase  $\alpha$ -Cr, y puede experimentar cambios sobre el tiempo especialmente cuando está siendo usado por un periodo largo de tiempo, de manera que la ductilidad y dureza del mismo disminuyen considerablemente en comparación con un material nuevo.

10 En la inspección periódica después del uso de largo plazo y el trabajo de mantenimiento realizado por cuenta de un accidente o un problema durante el uso, se debe cortar parcialmente un material defectuoso y reemplazarse de con un material nuevo, y en este caso, el material nuevo debe ser soldado al material envejecido para ser usado continuamente. También, dependiendo de la situación, se debe realizar trabajo de doblaje parcial.

15 Sin embargo, los Documentos de Patente 1 a 8 no divulgan contramedidas para restringir el deterioro en el material causado por el uso a largo plazo. Es decir, en los Documentos de Patente 1 a 8, no se realizan estudios en cómo el envejecimiento a largo plazo es restringido, y como se asegura un material seguro y confiable en una gran planta actual usado en un ambiente de alta temperatura y presión que la planta anterior no tenía.

20 Se ha realizado la presente invención en vista de las circunstancias, y por consiguiente un objetivo de la misma es proporcionar una aleación resistente al calor con base en Ni en la que se mejora la resistencia a la a rotura por fisura por el fortalecimiento de la solución sólida y el fortalecimiento de la precipitación de la fase  $\square'$ , se logra el mejoramiento dramático en la ductilidad después del uso a largo plazo a temperaturas altas, y se pueden evitar los rompimientos de SR que plantean un problema en la soldadura de reparación y similares.

#### 25 SOLUCIÓN AL PROBLEMA

Los inventores actuales examinaron la mejora en la ductilidad después de uso de largo plazo a temperaturas altas y la prevención de los rompimientos de SR de una aleación con base en Ni que usa el fortalecimiento de la precipitación de la fase  $\square'$  (se indica aquí como una "aleación  $\square'$  con base en Ni que fortalece "). Como un resultado, los actuales inventores obtuvieron un importante hallazgo del siguiente punto (a).

30 (a) Con el fin de lograr la ductilidad después del uso a largo plazo a temperaturas altas y para prevenir los rompimientos de SR de la aleación  $\square'$  con base en Ni que fortalece, es efectivo contener Nd.

35 Como un resultado de varios exámenes hechos adicionalmente, los inventores actuales obtuvieron hallazgos en los siguientes puntos (b) a (e).

(b) El tamaño de grano promedio en el grado de fortalecimiento dentro de grano son índices importantes de la mejora en ductilidad y la prevención de los rompimientos de SR.

40 (c) El grado de fortalecimiento dentro el grano puede ser cuantificado por las cantidades de Al, Ti y Nb que son elementos de estabilización de la fase  $\gamma'$ , y forman la fase  $\gamma'$  junto con Ni.

45 (d) De acuerdo con el tamaño de grano promedio en el grado de fortalecimiento dentro del grano, la cantidad mínima necesaria de Nd que debe ser contenida para la mejora en la ductilidad y la prevención de los rompimientos de SR varía.

(e) Con el fin de asegurar la cantidad de Nd efectiva en contribuir al mejoramiento en ductilidad y la prevención de los rompimientos de SR, el contenido de oxígeno debe ser regulado estrictamente acuerdo con el contenido de Nd.

50 La presente invención fue completada en la base de los hallazgos descritos anteriormente, y la esencia de la misma es una aleación resistente al calor con base en Ni como se definió en la reivindicación 1. Se definen desarrollos adicionales en las reivindicaciones dependientes.

55 En la reivindicación 1, las "impurezas" en el "Ni e impurezas" del balance indican impurezas mezcladas de mineral y chatarras usados como materia prima, un entorno de fabricación, y similares cuando se fabrica la aleación resistente al calor sobre una base industrial.

#### EFFECTOS VENTAJOSOS DE LA INVENCION

60 La aleación resistente al calor con base en Ni de la presente invención es una aleación en la que se logra el mejoramiento dramático de la ductilidad después del uso a largo plazo a temperaturas altas, y adicionalmente se pueden evitar los rompimientos de SR que plantean un problema en la soldadura de reparación y similares. Por lo tanto, esta aleación resistente al calor con base en Ni se puede usar adecuadamente como un material de tubería, una placa gruesa para partes que tienen resistencia al calor y resistencia a la presión, un material de barra, un forjado, y similares en calderas de generación de energía, plantas de la industria química, y similares.

#### 65 DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES

La razón para restringir la composición química de la aleación resistente al calor con base en Ni en la presente invención es descrita abajo. En la siguiente descripción, "%" que representa el contenido de cada elemento indica "% en masa".

5 C: 0.15% o menos

10 C (carbono) es un elemento efectivo para asegurar la resistencia a la tensión y la fluencia, mediante la formación de carburos, que son necesarios cuando el material se usa en un entorno de alta temperatura, y por lo tanto está contenido apropiadamente en la presente invención. Sin embargo, si el contenido de C excede 0.15%, la cantidad de carburos que no forman una solución sólida en un estado de solución aumenta, de manera que no solamente C no contribuye a la mejora en la resistencia a temperatura alta pero también C deteriora las propiedades mecánicas tales como dureza y soldabilidad. Por lo tanto, se estableció el contenido de C en 0.15% o menos. El contenido de C es preferiblemente 0.1% o menos.

15 Con el fin de lograr el efecto de C, el límite inferior de contenido de C es preferiblemente 0.005%, y más preferiblemente 0.01%. El límite inferior del contenido de C es todavía más preferiblemente 0.02%.

20 Si: 2% o menos

25 Si (silicio) se añade como un elemento desoxidante. Si el contenido de Si excede 2%, la soldabilidad y la capacidad de trabajo en caliente disminuyen. También, se promueve la producción de una fase de compuesto intermetálico tal como una fase  $\sigma$  y similares, de manera que la dureza y ductilidad disminuye debido al deterioro de la estabilidad estructural a temperaturas altas. Por lo tanto, se estableció el contenido de Si a 2% o menos. El contenido de Si es preferiblemente 1.0% o menos, más preferiblemente 0.8% o menos.

Con el fin de lograr el efecto de Si, el límite inferior del contenido de Si es preferiblemente 0.05%, más preferiblemente 0.1%.

30 Mn: 3% o menos

35 Mn (manganeso) y una función desoxidante como Si, y también tiene un efecto de mejora de la capacidad de trabajo en caliente mediante la fijación de S, que está contenida como una impureza en la aleación, como un sulfuro. Sin embargo, si el contenido de Mn disminuye, se promueve la formación de una película de óxido de tipo espinela, y se deteriora la resistencia a la oxidación a temperaturas altas. Por lo tanto, el contenido de Mn es 3% o menos. El contenido de Mn es preferiblemente 2.0% o menos, más preferiblemente 1.0% o menos.

40 Con el fin de lograr el efecto de Mn, el límite inferior del contenido de Mn se establece preferiblemente en 0.05%, y se establece más preferiblemente en 0.08%. El límite inferior preferible adicional del Mn es 0.1%.

45 P: 0.03% o menos

45 P (fósforo) está contenido en la aleación como una impureza, y disminuye notablemente la soldabilidad y la capacidad de trabajo en caliente si está contenida en grandes cantidades. Por lo tanto, el contenido de P se estableció en 0.03% o menos. El contenido de P debe ser lo más bajo como sea posible, y es preferiblemente 0.02% o menos, más preferiblemente 0.015% o menos.

50 S: 0.01% o menos

50 S (azufre) es, como fósforo, contenido en la aleación como una impureza, y disminuye notablemente la soldabilidad y la capacidad de trabajo en caliente si está contenida en grandes cantidades. Por lo tanto, el contenido de S se estableció en 0.01% o menos.

55 El contenido de S en el caso en que se asocia la importancia a la capacidad de trabajo en caliente es preferiblemente 0.005% o menos, más preferiblemente 0.003% o menos.

Cr: no menos de 15% y menos de 28%

60 Cr (cromo) es un elemento importante para lograr un efecto excelente en mejorar la resistencia a la corrosión tal como resistencia a la oxidación, resistencia a la oxidación por vapor, y resistencia a la corrosión a alta temperatura. Sin embargo, si el contenido de Cr es menos de 15%, no se puede lograr el efecto deseado. Por otra parte, si el contenido de Cr excede 28%, se pone inestable la microestructura por cuenta del deterioro en la capacidad de trabajo en caliente, la precipitación de la fase  $\sigma$  y similares. Por lo tanto, el contenido de Cr se estableció en 15% o más y menos de 28%. El límite inferior del contenido de Cr es preferiblemente 18%. También, el límite superior del contenido de Cr es preferiblemente 26%, más preferiblemente 25%.

Mo: 3 a 15%

5 Mo (molibdeno) se disuelve en la fase parental y tiene efectos de mejorar la resistencia a la rotura por fluencia y disminuir el coeficiente de expansión lineal. Con el fin de lograr estos efectos, debe estar contenido 3% o más de Mo. Sin embargo, si el contenido de Mo excede 15%, la capacidad de trabajo y estabilidad estructural disminuyen. Por lo tanto, se establece el contenido de Mo de 3 a 15%.

10 El límite inferior preferible del contenido del Mo es 4%, y el límite superior preferible del mismo es 14%. El límite inferior más preferible del contenido del Mo es 5%, y el límite superior más preferible del mismo es 13%.

Co: más de 5% y no más de 25%

15 Co (cobalto) se disuelve en la fase parental, y mejorar la resistencia a la ruptura por fluencia. Adicionalmente, Co también tiene un efecto de mejorar adicionalmente la resistencia a la ruptura por fluencia mediante el incremento de la cantidad de precipitación de la fase  $\square'$  especialmente en el rango de temperatura de 750°C o superior. Con el fin de lograr estos efectos, debe estar contenida una cantidad mayor de 5% de Co. Sin embargo, si el contenido de Co excede 25%, la capacidad de trabajo disminuye. Por lo tanto, el contenido del Co se establece en más de 5% y no más de 25%.

20 En el caso donde se asocia la importancia al balance entre la capacidad de trabajo y la resistencia a la rotura por fluencia, el límite inferior preferible del contenido del Co es 7%, y el límite superior preferible del mismo es 23%. El límite inferior más preferible del contenido del Co es 10%, y el límite superior más preferible del mismo es 22%.

25 En el caso donde se asocia la importancia a la resistencia a la ruptura por fluencia especialmente en el rango de temperatura de 750°C o superior, se contiene 17% o más de Co, y es más preferible que se contenga más de 20% de cobalto.

Al: 0.2 a 2%

30 Al (aluminio) es un elemento importante en la aleación con base en Ni, que precipita la fase  $\square'$  ( $Ni_3Al$ ), un compuesto intermetálico, y mejora la resistencia a la rotura por fluencia notablemente. Con el fin de lograr este efecto, se debe contener 0.2% o más de Al. Sin embargo, si el contenido de Al excede 2%, se disminuye la capacidad de trabajo en caliente, y el forjado en caliente y fabricación de tubería en caliente se vuelven difíciles de hacer. Por lo tanto, se estableció el contenido de Al de 0.2 a 2% o menos. El límite inferior preferible del contenido de Al es 0.8%, y el límite superior preferible del mismo es 1.8%. El límite inferior más preferible del contenido del Al es 0.9%, y el límite superior más preferible del mismo es 1.7%.

Ti: 0.2 a 3%

40 Ti (titanio) es un elemento importante en la aleación con base en Ni, que forma la fase  $\square'$  ( $Ni_3(Al, Ti)$ ), que es un compuesto intermetálico, junto con Al, y mejora la resistencia a la ruptura por fluencia notablemente. Para lograr este efecto, se debe contener 0.2% o más de titanio. Sin embargo, si el contenido de Ti excede 3%, la capacidad de trabajo en caliente disminuye, y se vuelve más difícil hacer forjado en caliente y fabricación de tubería en caliente. Por lo tanto, se estableció el contenido de Ti de 0.2 a 3%. El límite inferior preferible del contenido de Ti es 0.3%, y el límite superior preferible del mismo es 2.8%. El límite superior más preferible del contenido de Ti es 0.4%, y el límite superior más preferible del mismo es 2.6%.

Nd: f a 0.08%

50 Nd (neodimio) es un elemento importante que caracteriza la aleación resistente al calor con base en Ni de acuerdo con la presente invención. Es decir, Nd es un elemento importante que es muy efectivo en mejorar la ductilidad después del uso a largo plazo a temperaturas altas y prevenir los rompimientos de SR de la aleación  $\square'$  con base en Ni que fortalece. Con el fin de lograr estos efectos, Nd de una cantidad de f o más grande, f representado por una fórmula descrita abajo del tamaño de grano promedio d (mm) y se deben contener los contenidos (% en masa) de Al, Ti, y Nb. por favor nótese que el contenido de Nb puede ser 0%.

$$f = 1.7 \times 10^{-5}d + 0.05\{(Al/26.98) + (Ti/47.88) + (Nb/92.91)\}$$

60 La mejora en ductilidad y la prevención de los rompimientos de SR también se ven afectados por el tamaño de grano promedio y el grado de fortalecimiento dentro el grano. El grado de fortalecimiento dentro del grano se ve afectado por las cantidades de Al, Ti y Nb que son elementos estabilizadores de fase  $\square'$ , y forman la fase  $\square'$  junto con Ni. Por lo tanto, la cantidad mínima necesaria de Nd que debe ser contenida para la mejora en ductilidad y la prevención de los rompimientos de SR varía de acuerdo con el tamaño de grano promedio y el grado de fortalecimiento dentro del grano.

65

Por otra parte, si el contenido de Nd es excesivo e excede 0.8%, la capacidad de trabajo en caliente disminuye, y la ductilidad disminuye por cuenta de inclusiones. Por lo tanto, se estableció el contenido de Nd a f a 0.08%.

5 Generalmente, Nd está contenido también en un metal mixto. Por lo tanto, Nd de la cantidad descrita anteriormente puede estar contenido mediante adición en una forma de metal mixto.

O: 0.4Nd o menos

10 O (oxígeno) se contiene en la aleación como una impureza, disminuye la capacidad de trabajo en caliente y ductilidad. Adicionalmente, en el caso de la presente invención en el que se contiene Nd, O se combina fácilmente con Nd para formar óxidos, y reduce indeseablemente la función descrita anteriormente de mejorar la ductilidad después del uso a largo plazo a temperaturas altas y prevenir los rompimientos de SR de Nd. Por lo tanto, se ubica un límite superior del contenido de O, y se estableció el contenido de O a 0.4 de Nd o menos, es decir, 0.4 veces o menos del contenido de Nd. El contenido de O se hace preferiblemente lo más bajo posible.

15 Uno de la aleación resistente al calor con base en Ni de la presente invención consiste en los elementos descritos anteriormente de C a O, el balance que es Ni e impurezas.

20 A continuación, se explica Ni en el balance de la aleación resistente al calor con base en Ni de la presente invención.

Ni (níquel) es un elemento para estabilizar la estructura austenítica, y también es un elemento importante para asegurar la resistencia a la corrosión. En la presente invención, se necesita definir especialmente el contenido de Ni, y se hace un contenido obtenido mediante la eliminación del contenido de impurezas del balance. Sin embargo, el contenido de Ni en el balance preferiblemente excede 50%, y más preferiblemente excede 60%.

25 Como ya se describió, las "impurezas" indican impurezas mezcladas de mineral y chatarras usados como materias primas, un entorno de fabricación, y similares cuando la aleación resistente al calor se fabrica en una base industrial.

30 Otro de la aleación resistente al calor con base en Ni de la presente invención contiene adicionalmente uno o más tipos de elementos seleccionados de Nb, W, B, Zr, Hf, Mg, Ca, Y, La, Ce, Ta, Re y Fe en adición a los elementos descritos anteriormente.

35 A continuación, se explican las ventajas operacionales de estos elementos opcionales y las razones para limitar los contenidos de los mismos.

Nb tiene una función de mejorar la resistencia a la fluencia. Por lo tanto, este elemento puede estar contenido.

Nb: 3.0% o menos

40 Nb (niobio) tiene una función de mejorar la resistencia a la fluencia. Es decir, Nb forma la fase  $\sigma$ , que es un compuesto intermetálico, junto con Al y Ti, y tiene una función de mejorar la resistencia a la fluencia. Por lo tanto, niobio puede estar contenido. Sin embargo, si el contenido de Nb aumenta y excede 3.0%, la capacidad de trabajo en caliente y dureza disminuyen. Por lo tanto, el contenido de Nb en el momento de ser contenido se estableció en 3.0% o menos. El contenido de Nb en el momento de ser contenido es preferiblemente 2.5% o menos.

45 Por otra parte, con el fin de lograr el efecto de Nb, el contenido de Nb es preferiblemente 0.05% o más, más preferiblemente 0.1% o más.

50 Cualquiera de B, Zr y Hf que pertenecen al grupo de <1> tiene una función de mejorar la resistencia a la fluencia. Por lo tanto, estos elementos pueden estar contenidos.

B: 0.01% o menos

55 B (boro) tiene una función de mejorar la resistencia a la fluencia. B también tiene una función de mejorar la resistencia a temperaturas altas. Es decir, B existe en los límites de grano como una sustancia simple, y tiene una función de restringir el deslizamiento del límite de grano causado por el fortalecimiento del límite de grano durante el uso a temperaturas altas. Adicionalmente, B existe en carbo-nitruros junto con C y N, y tiene una función de mejorar la resistencia a la fluencia mediante la aceleración de la precipitación en dispersión fina de carbo-nitruros, y también tiene una función de mejorar la resistencia a temperaturas altas. Por lo tanto, B puede estar contenido. Sin embargo, si el contenido de B disminuye y excede 0.01%, la soldabilidad se deteriora. Por lo tanto, el contenido de B en el momento de ser contenido se estableció en 0.01% o menos. El límite superior del contenido de B en el momento de ser contenido es preferiblemente 0.008%, más preferiblemente 0.006%.

65 Por otra parte, con el fin de lograr establemente el efecto de B, el límite inferior del contenido de B es preferiblemente 0.0005%, y más preferiblemente 0.001%.

## ES 2 617 359 T3

Zr: 0.2% o menos

5 Zr (circonio) es un elemento de fortalecimiento del límite de grano, y tiene una función de mejorar la resistencia a la fluencia. Zr también tiene la función de mejorar la ductilidad de ruptura. Por lo tanto, Zr debe estar contenido. Sin embargo, si el contenido de Zr incrementa y excede 0.2%, la capacidad de trabajo en caliente disminuye. Por lo tanto, el contenido de Zr en el momento de ser contenido se estableció en 0.2% o menos. El contenido de Zr en el momento del contenido es preferiblemente 0.1% o menos, más preferiblemente 0.05% o menos.

10 Por otra parte, con el fin de lograr establemente los efectos de Zr, el contenido de Zr es preferiblemente 0.005% o más, y más preferiblemente 0.01% o menos.

Hf: 1% o menos

15 Hf (hafnio) contribuye principalmente al fortalecimiento del límite de grano, y tiene una función de mejorar la resistencia a la fluencia. Por lo tanto, Hf puede estar contenido. Sin embargo, si el contenido de Hf excede 1%, se deteriora la capacidad de trabajo y la soldabilidad. Por lo tanto, el contenido de Hf en el momento de ser contenido se estableció en 1% o menos. El contenido de Hf en el momento de ser contenido es preferiblemente 0.8% o menos, más preferiblemente 0.5% o menos.

20 Por otra parte, con el fin de lograr establemente el efecto de Hf, el contenido de Hf es preferiblemente 0.005% o más, y más preferiblemente 0.01% o más. El contenido de Hf es aún más preferiblemente 0.02% o más.

25 Los B, Zr y Hf descritos anteriormente se pueden contener en ya sea únicamente un solo tipo o compuestos en dos o más tipos. La cantidad total de suplementos contenida de manera compositiva es preferiblemente 0.8% o menos.

30 Cualquiera de Mg, Ca, Y, La y Ce que pertenecen al grupo de <2> inmoviliza S como un sulfuro, y tiene una función de mejorar la capacidad de trabajo en caliente. Por lo tanto, se pueden contener éstos elementos.

30 Mg: 0.05% o menos

35 Mg (magnesio) fija S, que dificulta la capacidad de trabajo en caliente, como un sulfuro, y tiene una función de mejorar la capacidad de trabajo en caliente. Por lo tanto, Mg puede estar contenido. Sin embargo, si el contenido de Mg excede 0.05%, se deteriora la limpieza, la capacidad de trabajo y ductilidad son bastante deterioradas. Por lo tanto, el contenido de Mg en el momento de ser contenido se estableció en 0.05% o menos. El contenido de Mg en el momento de ser contenido es preferiblemente 0.02% o menos, más preferiblemente 0.01% o menos.

40 Por otra parte, con el fin de lograr establemente el efecto de Mg, el contenido de Mg es preferiblemente 0.0005% o más, y más preferiblemente 0.001% o más.

40 Ca: 0.05% o menos

45 Ca (calcio) fija S, que dificulta la capacidad de trabajo en caliente, como un sulfuro, y tiene una función de mejorar la capacidad de trabajo en caliente. Por lo tanto, Ca puede estar contenido. Sin embargo, si el contenido de Ca excede 0.05%, la limpieza está deteriorada, la capacidad de trabajo en caliente y ductilidad son bastante deterioradas. Por lo tanto, el contenido de Ca en el momento de ser contenido se estableció en 0.05% o menos. El contenido de Ca en el momento de ser contenido es preferiblemente 0.02% o menos, más preferiblemente 0.01% o menos.

50 Por otra parte, con el fin de lograr establemente el efecto de Ca, el contenido del Ca es preferiblemente 0.0005% o más, y más preferiblemente 0.001% o más.

Y: 0.5% o menos

55 Y (itrio) fija S como un sulfuro, y tiene una función de mejorar la capacidad de trabajo en caliente. También, Y tiene una función de mejorar la adhesión de la película protectora de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en la superficie de la aleación, y específicamente tiene una función de mejorar la resistencia a la oxidación en el momento de la oxidación repetida. Adicionalmente, Y contribuye al fortalecimiento del límite de grano, y también tiene una función de mejorar la resistencia a la fluencia y ductilidad por ruptura por fluencia. Por lo tanto, Y puede estar contenido. Sin embargo, si el contenido de Y aumenta y excede 0.5%, las inclusiones tales como óxidos aumentan en cantidad, y por lo tanto la capacidad de trabajo y soldabilidad son deterioradas. Por lo tanto, el contenido de Y en el momento de ser contenido se estableció en 0.5% o menos. El contenido de Y en el momento de ser contenido es preferiblemente 0.3% o menos, más preferiblemente 0.15% o menos.

60 Por otra parte, con el fin de lograr establemente los efectos de Y, el contenido de Y es preferiblemente 0.0005% o más, más preferiblemente 0.001% o más. El contenido de Y es aún más preferiblemente 0.002% o más.

65 La: 0.5% o menos

La (lantano) fija S como un sulfuro, y tiene una función de mejorar la capacidad de trabajo en caliente. También, La tiene una función de mejorar la adhesión de la película protectora de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  en la superficie de la aleación, especialmente tiene una función de mejorar la resistencia a la oxidación en el momento de la oxidación repetida. Adicionalmente, La contribuye al fortalecimiento del límite de grano, y también tiene una función de mejorar la resistencia a la fluencia y ductilidad por ruptura por fluencia. Por lo tanto, La puede estar contenido. Sin embargo, si el contenido de La excede 0.5%, las inclusiones tales como óxidos aumentan en cantidad, y por lo tanto la capacidad de trabajo y soldabilidad son deterioradas. Por lo tanto, el contenido de La en el momento de ser contenido se estableció en 0.5% o menos. El contenido de La en el momento de ser contenido es preferiblemente 0.3% o menos, más preferiblemente 0.15% o menos.

Por otra parte, con el fin de lograr establemente los efectos de La, el contenido de La es preferiblemente 0.0005% o más, más preferiblemente 0.001% o más. El contenido de La es aún más preferiblemente 0.002% o más.

Ce: 0.5% o menos

Ce (cerio) fija S como un sulfuro, y tiene una función de mejorar la capacidad de trabajo en caliente. También, Ce tiene una función de mejorar la adhesión de la película protectora de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  en la superficie de la aleación, y especialmente tiene función de mejorar la resistencia a la oxidación en el momento de la oxidación repetida. Adicionalmente, Ce contribuye al fortalecimiento del límite de grano, y también tiene una función de mejorar la resistencia a la ruptura por fluencia y ductilidad por ruptura por fluencia. Por lo tanto, Ce puede estar contenido. Sin embargo, si el contenido de Ce aumenta y excede 0.5%, las inclusiones tales como óxidos aumentan en cantidad, y por lo tanto la capacidad de trabajo y soldabilidad son deterioradas. Por lo tanto, el contenido de Ce en el momento de ser contenido se estableció en 0.5% o menos. El contenido de Ce en el momento de ser contenido es preferiblemente 0.3% o menos, más preferiblemente 0.15% o menos.

Por otra parte, con el fin de lograr establemente los efectos de Ce, el contenido de Ce es preferiblemente 0.0005% o más, más preferiblemente 0.001% o más. El contenido de La es aún más preferiblemente 0.002% o más.

Los Mg, Ca, Y, La y Ce descritos anteriormente pueden estar contenidos ya sea en únicamente un solo tipo o compuestos en dos o más tipos. La cantidad total de sus elementos contenidos en forma compositiva es preferiblemente 0.5% o menos.

Tanto Ta como Re de un grupo <3> tienen una función de mejorar la resistencia a la temperatura alta y resistencia a la fluencia como elementos de fortalecimiento de solución sólida. Por lo tanto, estos elementos pueden estar contenidos.

Ta: 8% o menos

Ta (tántalo) forma carbo-nitruros, y tiene una función de mejorar la resistencia a temperaturas altas y resistencia a la fluencia como un elemento de fortalecimiento de solución sólida. Por lo tanto, Ta puede estar contenido. Sin embargo, si el contenido de Ta excede 8%, la capacidad de trabajo y propiedades mecánicas son deterioradas. Por lo tanto, el contenido de Ta en el momento de ser contenido se estableció en 8% o menos. El contenido de Ta en el momento de ser contenido es preferiblemente 7% o menos, más preferiblemente 6% o menos.

Por otra parte, con el fin de lograr establemente el efecto de Ta, el contenido de Ta es preferiblemente 0.01% o más, más preferiblemente 0.1% o más. El contenido de Ta es aún más preferiblemente 0.5% o más.

Re: 8% o menos

Re (renio) tiene una función de mejorar la resistencia a temperaturas altas y resistencia a la fluencia principalmente como un elemento de fortalecimiento de solución sólida. Por lo tanto, Re puede estar contenido. Sin embargo, si el contenido de Re aumenta y excede 8%, la capacidad de trabajo y propiedades mecánicas son deterioradas. Por lo tanto, el contenido de Re en el momento de ser contenido se estableció en 8% o menos. El contenido de Re en el momento de ser contenido es preferiblemente 7% o menos, más preferiblemente 6% o menos.

Por otra parte, con el fin de lograr establemente el efecto de Re, el contenido de Re es preferiblemente 0.01% o más, más preferiblemente 0.1% o más. El contenido de Re es aún más preferiblemente 0.5% o más.

Los Ta y Re descritos anteriormente puede estar contenidos ya sea únicamente en un solo tipo o compuesto en dos tipos. La cantidad total de estos elementos contenidos en forma compositiva es preferiblemente 8% o menos.

Fe: 15% o menos

Fe (hierro) tiene una función de mejorar la capacidad de trabajo en caliente de la aleación con base en Ni. Por lo tanto, Fe puede estar contenido. En el procedimiento de fabricación real, incluso si Fe no está contenido,

5 aproximadamente 0.5 a 1% de Fe está algunas veces contenido como una impureza por cuenta de la contaminación de una pared del horno causada por la fundición de la aleación con base en Fe. En el caso donde se contiene Fe, si el contenido de Fe excede 15%, la resistencia a la oxidación y estabilidad estructural se deterioran. Por lo tanto, el contenido de Fe se establece en 15% o menos. En el caso donde la importancia se asocia con la resistencia a la oxidación, el contenido de Fe es preferiblemente 10% o menos.

Con el fin de lograr el efecto de Fe, el límite inferior del contenido de Fe se establece preferiblemente en 1.5%, y más preferiblemente se establece en 2.0%. El límite inferior aún más preferible del contenido de Fe es 2.5%.

10 A continuación, se explica la presente invención más específicamente con referencia a los ejemplos, sin embargo, la presente invención no está limitada a estos ejemplos.

### **Ejemplos**

15 Se fundieron las aleaciones 1 a 14 con base en Ni y A a G que tienen composiciones químicas mostradas en la Tabla 1 mediante el uso de un horno de vacío de alta frecuencia para obtener lingotes de 30-kg. Las aleaciones 5 y A a G tiene la composición química fuera del rango definido en la presente invención.

20 Tabla 1

Tabla 1

Aleación	Balance de la composición química (% en masa) : Ni e impurezas														
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Co	Al	Ti	Nd	O	Otros	Mo+ (W/2)	0.4Nd
1	0.055	0.16	0.18	0.004	0.001	22.04	6.37	6.27	1.08	0.50	0.021	0.004	-	6.37	0.008
2	0.061	0.18	0.15	0.005	0.001	21.85	9.11	11.93	1.23	0.44	0.025	0.005	-	9.11	0.010
3	0.052	0.25	0.22	0.004	0.001	21.97	12.41	15.21	1.44	1.15	0.008	0.001	-	12.41	0.003
4	0.059	0.19	0.17	0.005	0.001	22.10	9.54	24.12	1.28	0.51	0.014	0.003	-	9.54	0.006
5	0.057	0.19	0.20	0.007	0.001	21.76	9.51	12.04	1.17	0.47	0.015	0.002	W:3.31	11.17	0.006
6	0.060	0.18	0.17	0.005	0.002	25.31	8.59	8.91	0.98	1.28	0.048	0.009	Nb:2.24	8.59	0.019
7	0.058	0.08	0.07	0.003	0.001	19.85	6.13	21.16	0.57	2.14	0.031	0.007	-	6.13	0.012
8	0.064	0.17	0.18	0.004	0.001	22.05	9.17	12.10	1.14	0.51	0.028	0.007	B:0.0023 Zr:0.024, Hf:0.25, W:2.92	9.17	0.011
9	0.062	0.18	0.22	0.008	0.001	23.07	7.28	21.05	0.87	1.91	0.016	0.004	-	7.28	0.006
10	0.035	0.26	0.09	0.005	0.002	21.36	7.13	19.87	1.66	1.93	0.025	0.005	Mg:0.0014, Ca:0.0022,	7.13	0.010
11	0.071	0.15	0.24	0.009	0.002	22.45	9.85	12.30	1.26	0.71	0.009	0.002	Fe:2.54 Y:0.029, Ce:0.027	9.85	0.004
12	0.055	0.12	0.20	0.006	0.002	20.74	6.88	19.27	0.67	2.12	0.010	0.003	Zr:0.21, La:0.035	6.88	0.004
13	0.068	0.24	0.18	0.006	0.001	22.51	9.72	13.32	1.31	0.50	0.032	0.007	Ta:1.88	9.72	0.013
14	0.062	0.21	0.49	0.006	0.001	20.08	6.24	20.26	0.56	2.20	0.024	0.004	Re:2.92	6.24	0.010
A	0.063	0.17	0.13	0.004	0.001	21.90	9.18	12.02	1.19	0.48	*	0.005	-	9.18	-
B	0.060	0.18	0.16	0.005	0.001	21.94	9.21	11.98	1.20	0.46	0.005	0.001	-	9.21	0.002
C	0.061	0.11	0.08	0.004	0.001	19.98	6.20	21.23	0.58	2.19	0.005	0.001	-	6.20	0.002
D	0.059	0.16	0.17	0.006	0.001	21.81	9.15	12.14	1.22	0.47	*0.091	0.006	-	9.15	0.036
E	0.057	0.10	0.08	0.004	0.001	20.15	6.24	21.21	0.54	2.07	*0.089	0.008	-	6.24	0.036
F	0.062	0.15	0.14	0.005	0.001	22.11	9.14	12.10	1.25	0.45	0.023	*0.013	-	9.14	0.009
G	0.059	0.09	0.11	0.004	0.001	20.04	6.15	21.04	0.51	2.11	0.027	*0.014	-	6.15	0.011

\* marca denota la desviación desde la condición definida en la presente invención.

## ES 2 617 359 T3

El lingote obtenido como se describió anteriormente se calentó a 1160°C, y a continuación se forjó en caliente en el material de placa de espesor de 15 mm de manera que la temperatura final fue 1000°C.

5 A continuación, el material de placa de espesor de 15 mm ser sometido a tratamiento térmico de ablandamiento a 1100°C y se lamino en frío hasta 10 mm, y se mantuvo adicionalmente a 1180°C por 30 minutos y a continuación se enfrió con agua.

10 Mediante el uso de una parte de un material de placa de espesor de 10 mm, que ha sido mantenido a 1180°C por 30 minutos y que se enfrió con agua, un espécimen de prueba, que se había cortado y embebido en una resina de manera que la dirección longitudinal del laminado fue una superficie observación, fue pulido como espejo, y a continuación se grabó con ácido mezclado o un reactivo de Kalling, y se hizo la observación del microscopio óptico. En la observación del microscopio óptico, se realizó la fotografía en magnificación de X 100 en cinco campos visuales, se midió la longitud del intercepto de grano promedio mediante el método de corte en un total de cuatro direcciones de cada campo visual, longitudinal (perpendicular a la dirección de laminado), transversal (paralela a la dirección de laminado), y línea diagonal, y se determinó el tamaño de grano promedio  $d$  (□m) mediante la multiplicación de longitud del intercepto de grano promedio por un factor de 1.128.

Mediante el uso del tamaño de grano promedio  $d$  (□m) determinado como se describió anteriormente,

$$20 \quad f = 1.7 \times 10^{-5}d + 0.05\{(Al/26.98) + (Ti/47.88) + (Nb/92.91)\}$$

se calculó, y se examinó la relación entre el contenido de Nd en cada aleación y el valor del límite inferior del contenido de Nd definido en la presente invención.

25 Para cada aleación, la Tabla 2 resumidamente da el resultado del cálculo de  $f$  junto con el tamaño de grano promedio  $d$  (□m). Adicionalmente, la Tabla 2 adicionalmente da los contenidos de Nd, Al, Ti y Nb dados en la Tabla 1.

30 Tabla 2

Tabla 2

Aleación	Tamaño de grano promedio $d$ (□m)	Contenido de elemento (% en masa)			f	Contenido de Nd (% en masa)
		Al	Ti	Nb		
1	152	1.08	0.50	-	0.005	0.021
2	224	1.23	0.44	-	0.007	0.025
3	83	1.44	1.15	-	0.005	0.008
4	198	1.28	0.51	-	0.006	0.014
5	104	1.17	0.47	-	0.004	0.015
6	251	0.98	1.28	2.24	0.009	0.048
7	179	0.57	2.14	-	0.006	0.031
8	202	1.14	0.51	-	0.006	0.028
9	142	0.87	1.91	-	0.006	0.016
10	305	1.66	1.93	-	0.010	0.025
11	116	1.26	0.71	-	0.005	0.009
12	125	0.67	2.12	-	0.006	0.010
13	210	1.31	0.50	-	0.007	0.032
14	122	0.56	2.20	-	0.005	0.024
A	215	1.19	0.48	-	0.006	*-
B	230	1.20	0.46	-	0.007	*0.005
C	188	0.58	2.19	-	0.007	*0.005
D	219	1.22	0.47	-	0.006	*0.091
E	181	0.54	2.07	-	0.006	*0.089
F	210	1.25	0.45	-	0.006	0.023
G	178	0.51	2.11	-	0.006	0.027

$$f = 1.7 \times 10^{-5}d + 0.05\{(Al/26.98) + (Ti/47.88) + (Nb/92.91)\}$$

\* marca denota la desviación desde la condición definida en la presente invención.

Se reveló a partir de la Tabla 2 que únicamente los contenidos de Nd de la aleación de B y la aleación de C fueron más bajos que el valor del límite inferior del contenido de Nd definido en la presente invención.

5 Por lo tanto, se reveló que, de las aleaciones dadas en la Tabla 1, un total de siete aleaciones, es decir, las aleaciones B y C añadidas a las aleaciones A y D a G fueron aleaciones que tiene la composición química que se desvía de la condición definida en la presente invención.

10 Por otra parte, se reveló que las aleaciones 1 a 14 fueron aleaciones que tiene la composición química dentro del rango definido en la presente invención.

15 A continuación, mediante el uso de una parte restante del material de placa de espesor de 10 mm, que ha sido mantenido a 1180°C por 30 minutos y fue enfriado con agua, desde una porción central en la dirección del espesor, se preparó un espécimen de prueba de tensión de barra redonda que tiene un diámetro de 6 mm y una longitud de calibre de 30 mm, mediante maquinación, en paralelo a la dirección longitudinal, y una prueba de ruptura de fluencia y se condujo una prueba de tensión a temperatura alta a una tasa de deformación muy baja, mediante el uso de este espécimen de prueba de tensión de barra redonda.

20 Se condujo la prueba de ruptura por fluencia mediante la aplicación de una tensión inicial de 300 MPa al espécimen de prueba de tensión de barra redonda que tiene la forma descrita anteriormente a 700°C para medir el tiempo de ruptura y elongación de ruptura.

25 Adicionalmente, mediante el uso del espécimen de prueba de tensión de barra redonda que tiene la forma descrita anteriormente, se condujo la prueba de tensión a 700°C y una tasa de deformación muy baja de  $10^{-6}$ /s para medir la reducción del área en ruptura.

30 La tasa de deformación de  $10^{-6}$ /s es una tasa de deformación muy baja tal como para ser 1/100 a 1/1000 de la tasa de deformación en una prueba de tensión de temperatura alta usual. Por lo tanto, mediante la medición de la reducción del área en ruptura en el momento cuando se conduce la prueba de tensión a esta tasa de deformación muy baja, se puede realizar la evaluación relativa de la susceptibilidad de rompimiento de SR.

Específicamente, en el caso donde la reducción de área en ruptura es alta en el momento cuando se conduce la prueba de tensión a la tasa de deformación muy baja descrita anteriormente, se puede evaluar que la susceptibilidad al rompimiento de SR de prevención es baja, y el efecto de prevención de los rompimientos de SR es grande.

35 La Tabla 3 resumen los resultados de la prueba.

Tabla 3

Tabla 3

Prueba No.	Aleación	Prueba de ruptura por fluencia a 700°C y 300 MPa		Prueba de tensión a 700°C y a una rata de deformación muy baja	Observaciones
		Tiempo de ruptura por fluencia (h)	Elongación de ruptura por fluencia (%)	Reducción del área en ruptura (%)	
1	1	1180	31.4	37.2	Ejemplo de realización de la presente invención
2	2	1527	22.5	28.9	
3	3	1819	19.2	21.3	
4	4	1733	21.1	26.7	
5	5	1637	21.4	24.1	
6	6	1725	18.4	20.5	
7	7	3135	18.2	22.4	
8	8	1638	26.4	32.5	
9	9	3352	22.1	24.6	
10	10	3409	17.4	19.1	
11	11	1612	18.1	21.8	
12	12	3268	18.8	23.2	
13	13	2151	21.0	25.1	
14	14	3643	18.0	20.4	
15	* A	648	5.2	4.2	Ejemplo comparativo
16	* B	684	7.0	5.8	
17	* C	1018	1.8	2.4	
18	* D	952	4.1	3.3	
19	* E	1055	4.3	3.1	
20	* F	720	7.3	6.8	
21	* G	1082	3.1	3.9	

\* marca denota la desviación desde la condición definida en la presente invención.

5 Tabla 3 revela que en el caso de las pruebas Nos. 1 a 4 y 6 a 14 de las realizaciones ejemplo de la presente invención que usan aleaciones 1 a 4 y 6 a 14 que tienen la composición química dentro del intervalo definido en la presente invención, todos del tiempo de ruptura por fluencia, la ductilidad por ruptura por fluencia, y la reducción de área en ruptura en la prueba de tensión en rata de deformación muy baja (es decir, efectos de prevención de rompimientos de SR) son buenos.

10 En contraste, en el caso de las pruebas Nos. 15 a 21 de ejemplos comparativos que usan las aleaciones A a G que tienen la composición química que se desvía de la condición definida en la presente invención, como se comparó con el caso de las pruebas Nos. 1 a 4 y 6 a 14 de las realizaciones ejemplo de la presente invención, todos del tiempo de ruptura por fluencia, la ductilidad por ruptura por fluencia, y la reducción de área en ruptura en la prueba de tensión en rata de deformación muy baja (es decir, efectos de prevención de rompimientos de SR) son pobres.

15 Es decir, en el caso de las pruebas Nos. 15, 16 y 18, aunque las aleaciones de A, B y D cada una tiene una composición química casi equivalente a aquella de la aleación 2 usada en la prueba No. 2 excepto que Nd no está contenido, o el contenido de Nd está fuera del rango definido en la presente invención, todos del tiempo de ruptura por fluencia, la ductilidad por ruptura por fluencia, y la reducción de área en ruptura en la prueba de tensión en rata de deformación muy baja (es decir, efectos de prevención de rompimientos de SR) son pobres.

20 En el caso de las pruebas Nos. 17 y 19, aunque las aleaciones de C y E cada una tiene una composición química casi equivalente a aquella de la aleación 7 usada en la prueba No. 7 excepto que contenido del Nd está fuera del rango definido en la presente invención, todos del tiempo de ruptura por fluencia, la ductilidad por ruptura por

25

fluencia, y la reducción de área en ruptura en la prueba de tensión en rata de deformación muy baja (es decir, efectos de prevención de rompimientos de SR) son pobres.

5 En el caso de la prueba No. 20, aunque la aleación de F tiene una composición química casi equivalente a aquella de la aleación 2 usada en la prueba No. 2 excepto que el contenido de O está fuera del rango definido en la presente invención, todos del tiempo de ruptura por fluencia, la ductilidad por ruptura por fluencia, y la reducción de área en ruptura en la prueba de tensión en rata de deformación muy baja (es decir, efectos de prevención de rompimientos de SR) son pobres.

10 En el caso de la prueba No. 21, aunque la aleación de G tiene una composición química casi equivalente a aquella de la aleación 7 usada en la prueba No. 7 excepto que el contenido de O está fuera del rango definido en la presente invención, todos del tiempo de ruptura por fluencia, la ductilidad por ruptura por fluencia, y la reducción de área en ruptura en la prueba de tensión en rata de deformación muy baja (es decir, efectos de prevención de rompimientos de SR) son pobres.

15 Capacidad de aplicación industrial

20 La aleación resistente al calor con base en Ni de la presente invención es una aleación en la que se puede lograr el mejoramiento dramático en la ductilidad después del uso a largo plazo a temperaturas altas, y se pueden evitar los rompimientos de SR que plantean un problema en la soldadura de reparación y similares. Por lo tanto, se puede usar adecuadamente esta aleación resistente al calor con base en Ni como un material de tubería, una placa gruesa para partes que tienen resistencia al calor y resistencia a la presión, un material de barra, un forjado, y similares en calderas de generación de energía, plantas industriales químicas, y similares.

**REIVINDICACIONES**

1. Una aleación resistente al calor con base en Ni que contiene, en porcentaje en masa C: 0.15% o menos, Si: 2% o menos, Mn: 3% o menos, P: 0.03% o menos, S: 0.01% o menos, Cr: 15% o más y menos de 28%, Mo: 3 a 15%, Co: más de 5% y no más de 25%, Al: 0.2 a 2%, Ti: 0.2% a 3%, Nd: f a 0.08%, O: 0.4Nd o menos, y Nb: 0% a 3.0%, el balance que es Ni e impurezas, en las que el f se refiere a la siguiente fórmula, y en la fórmula, d denota un tamaño de grano promedio ( $\mu\text{m}$ ), y cada símbolo de un elemento denota el contenido (% en masa) de aquel elemento, y de la misma manera, Nd en 0.4Nd denota el contenido (% en masa) de Nd,

$$f = 1.7 \times 10^{-5}d + 0.05\{(Al/26.98) + (Ti/47.88) + (Nb/92.91)\}$$

la aleación opcionalmente además contiene uno o más tipos de elementos seleccionados de los siguientes grupos <1> a <4> en cambio de parte de Ni:

- <1> B: 0.01% o menos, Zr: 0.2% o menos, y Hf: 1% o menos
- <2> Mg: 0.05% o menos, Ca: 0.05% o menos, Y: 0.5% o menos, La: 0.5% o menos, y Ce: 0.5% o menos
- <3> Ta: 8% o menos, y Re: 8% o menos
- <4> Fe: 15% o menos.

2. La aleación resistente al calor con base en Ni de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la aleación contiene uno o más tipos de elementos seleccionados de los siguientes grupos <1> a <4> en cambio de parte de Ni:

- <1> B: 0.0005% a 0.01%, Zr: 0.005% a 0.2%, y Hf: 0.005% a 1%
- <2> Mg: 0.0005% a 0.05%, Ca: 0.0005 a 0.05%, Y: 0.0005 a 0.5%, La: 0.0005 a 0.5%, y Ce: 0.0005% a 0.5%
- <3> Ta: 0.01% a 8%, y Re: 0.01% a 8%
- <4> Fe: 1.5% to 15%.

3. La aleación resistente al calor con base en Ni de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en la que Al es al menos 0.8%.

4. La aleación resistente al calor con base en Ni de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que Co es al menos 17%.