

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 534 043**

51 Int. Cl.:

C22C 19/05 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.10.2009 E 09817858 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2015 EP 2330225**

54 Título: **Aleación basada en el níquel resistente al calor**

30 Prioridad:

02.10.2008 JP 2008257443

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.04.2015

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;
ISEDA, ATSURO;
HIRATA, HIROYUKI;
KAWANO, KAORI;
IGARASHI, MASAOKI y
MIYAHARA, OSAMU**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 534 043 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 basada en el níquel resistente al calor

5 ÁMBITO TÉCNICO

La presente invención se refiere a una aleación basada en el Ni resistente al calor. Más en particular, la presente invención se refiere a una aleación de alta resistencia mecánica basada en el Ni resistente al calor y de gran resistencia mecánica, que es excelente por su mecanizabilidad en caliente y también excelente por su ductilidad y tenacidad después de un largo período de uso, que se emplea para material de tuberías, para material de planchas gruesas de un elemento de presión resistente al calor, para material en barras, para material de forja y similares, para calderas de generación de electricidad, para plantas de la industria química y similares.

15 TÉCNICA ANTERIOR

En los últimos años se han construido en el mundo calderas "ultra-supercríticas" de gran eficacia, capaces de resistir temperaturas y presiones de vapor más elevadas. Se ha planificado en concreto aumentar la temperatura del vapor, que antes era de 600°C, a 650°C o más o incluso hasta 700°C o más. El ahorro de energía, el uso eficiente de los recursos y la reducción de la emisión de CO₂ para proteger el medio ambiente son objetos que permiten resolver los problemas de energía, en base a estrategias industriales importantes. Las calderas "ultra-supercríticas" y los hornos de gran eficacia son ventajosos para las calderas de generación de electricidad y para hornos de la industria química alimentados con combustibles fósiles.

El vapor de alta temperatura y alta presión permite elevar a 700°C o más la temperatura de un tubo recalentador de una caldera y de un tubo de horno de la industria química y un material de plancha gruesa y de un material forjado, que se emplean como elementos de presión resistentes al calor y similares, durante su funcionamiento real. Se requiere, pues, que el material empleado en un entorno severo de este tipo durante un largo período de tiempo tenga no solo una gran resistencia a la temperatura y una gran resistencia a la corrosión a temperaturas elevadas, sino también un excelente estabilidad de su microestructura durante un largo período de tiempo, excelente ductilidad de rotura por fluencia y excelente resistencia a la fluencia en condiciones de fatiga.

Además, en el caso de operaciones de mantenimiento, por ejemplo las reparaciones después de un largo período de uso, el material deteriorado por el envejecimiento después de un largo período de tiempo necesita cortarse, mecanizarse o soldarse y por lo tanto, en los últimos años han aumentado en gran manera los requisitos planteados no solo a las características de un material nuevo, sino también al "estado de salud" de un material envejecido. Además, desde el punto de vista del uso práctico, hay también una gran demanda de mejora de la mecanizabilidad en caliente de un material empleado en dichas condiciones severas.

En lo que respecta a los requisitos severos recién descritos, una aleación de Fe, por ejemplo un acero inoxidable austenítico, sufre la falta de resistencia a la rotura por fluencia. Por lo tanto es inevitable el uso de una aleación basada en el Ni, en la que se emplee la precipitación de la fase γ' o similar.

Por ello, en los documentos de patente de 1 a 8 se describen aleaciones basadas en el Ni que contienen Mo y/o W con el fin de lograr la consolidación de la solución sólida y que también contienen Al y Ti con el fin de emplear la consolidación de la precipitación de la fase γ' , que es un compuesto intermetálico y la formación específica de la misma es el Ni₃(Al, Ti), para emplearlas en tales condiciones severas de temperaturas elevada que se han mencionado antes. Además, las aleaciones descritas en los documentos de patente de 4 a 6 contienen un 28 % o más de Cr; y por lo tanto en dichas aleaciones precipita una gran cantidad de fases Cr- α , que tiene una estructura bcc.

50 LISTA DE CITAS

DOCUMENTOS DE PATENTE

55 Documento de patente 1: JP 51-84726 A
Documento de patente 2: JP 51-84727 A
Documento de patente 3: JP 7-150277 A
Documento de patente 4: JP 7-216511 A
Documento de patente 5: JP 8-127848 A
60 Documento de patente 6: JP 8-218140 A
Documento de patente 7: JP 9-157779 A
Documento de patente 8: JP 2002-518599 A

65 Además, en la patente US 2006/051234 A1 se describe una aleación de níquel-cromo-cobalto, que contiene en porcentajes en peso del 17 al 22 de cromo, del 8 al 15 cobalto, del 4,0 al 9,5 de molibdeno, hasta el 7 de tungsteno,

del 1,28 al 1,65 de aluminio, del 1,50 al 2,30 de titanio, hasta el 0,80 de niobio, del 0,01 al 0,2 de carbono, hasta el 0,01 de boro y hasta el 3 de hierro, con el resto formado por el níquel y las impurezas.

En el documento JP 2004-003000 A se describe un acero inoxidable austenítico que comprende del 0,03 al 0,12 % de C, del 0,1 al 1 % de Si, del 0,1 al 2 % de Mn, de ≥ 20 a < 28 % de Cr, de > 35 % a ≤ 50 % de Ni, del 4 al 10 % de W, del 0,01 al 0,3 % de Ti, del 0,01 al 1 % de Nb, del 0,0005 al 0,04 % de Al sol., del 0,0005 al 0,01 % de B y el resto está formado por Fe y las impurezas que comprenden $\leq 0,04$ % de P, $\leq 0,010$ % de S, $< 0,5$ % de Mo, $< 0,02$ % de N y $\leq 0,005$ % de O.

10 RESUMEN DE LA INVENCION

PROBLEMAS QUE SE RESUELVEN CON LA INVENCION

15 Dado que la fase γ' y/o la fase de Cr- α precipitan en las aleaciones basadas en el Ni descritas en los documentos de patente de 1 a 8, la ductilidad de dichas aleaciones basadas en el Ni es menor que la del acero austenítico convencional y similares; y por lo tanto, en especial en el caso, en el que dichas aleaciones basadas en el Ni se emplean durante un largo período de tiempo, debido al deterioro causado por el envejecimiento, la ductilidad y la tenacidad de las mismas disminuyen en gran manera si se comparan con las de un material nuevo.

20 En la inspección periódica después de un largo período de uso y en las operaciones de mantenimiento realizadas para prevenir accidentes o averías durante el uso, el material defectuoso debería apartarse parcialmente y reemplazarse por material nuevo; y en este caso, dicho material nuevo debería soldarse con el material envejecido para poder emplearse de modo continuo. Además, en función de la situación, debería realizarse en algunos casos un trabajo de curvatura.

25 En tal momento aparecen fisuras debidas a la soldadura y/o al mecanizado del material envejecido, en el que han disminuido la ductilidad y la tenacidad; y por lo tanto puede presentarse un problema durante la soldadura y/o el mecanizado. Además, si el material envejecido se sigue empleando de modo continuo, puede ocurrir un accidente fatal, por ejemplo un reventón, durante el funcionamiento de la planta.

30 Sin embargo, en los documentos de patente de 1 a 8 no se describen las medidas para restringir el deterioro del material causado por un largo período de uso mencionado antes. Esto equivale a decir que en los documentos de patente de 1 a 8 no se realizan estudios encaminados a descubrir cómo se puede restringir el deterioro debido al largo período de uso ni sobre cómo se puede asegurar un material sólido y fiable en una planta grande actual, que trabaja en un entorno de temperatura elevada y presión elevada, que la planta antigua no tenía.

35 Además, en los últimos años, con el fin de facilitar el mecanizado en caliente de la aleación basada en el Ni, que tiene una gran resistencia a la deformación, aumentando la temperatura de calentamiento aunque sea ligeramente y también con el fin de restringir la aparición de defectos, por ejemplo la fisura entre dos piezas o la rebaba o escama, causadas por un fenómeno, en el que la temperatura interna del material alcanza valores más altos que la temperatura de calentamiento debido a la generación de calor por mecanizado en el momento de la fabricación de la tubería por proceso de extrusión en caliente, es necesario seguir mejorando la temperatura de ductilidad cero y la mecanizabilidad en caliente de la aleación basada en el Ni resistente al calor. No obstante, las técnicas descritas en los documentos de patente de 1 a 8 tampoco satisfacen este requisito de modo suficiente.

45 La presente invención se centra en el estado de la técnica recién mencionado y por consiguiente su objetivo consiste en proporcionar una aleación basada en el Ni resistente al calor, cuya resistencia a la rotura por fluencia sea mejor debido a la consolidación de la solución sólida y la consolidación de la precipitación de la fase γ' , mejorándose también la resistencia mecánica y consiguiendo una mejoría notable en cuanto a ductilidad y tenacidad después de un largo período de uso a temperaturas elevadas temperatura así como la mecanizabilidad en caliente.

MEDIOS PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS

55 Con el fin de resolver los problemas recién descritos, los inventores presentes han examinado la resistencia a la rotura por fluencia, la ductilidad de rotura por fluencia, la mecanizabilidad en caliente y similares empleando varios tipos de aleaciones basadas en el Ni que contienen varias cantidades de Al y Ti para facilitar la consolidación por precipitación de la fase γ' a emplear. Después de este trabajo, los inventores presentes han obtenido los siguientes resultados de (a) a (d).

60 (a) De manera convencional, tal como se describe en los documentos de patente 1 y 7, la aleación basada en el Ni contiene Mo y/o W como elementos de consolidación de solución sólida. Por los pesos atómicos de ambos elementos se considera que se puede lograr un efecto casi equivalente con $[Mo = 0,5 \times W]$ en porcentaje en peso; y, por lo tanto, los elementos se han ajustado al llamado "equivalente de Mo" representado en la fórmula de $[Mo + 0,5 \times W]$. No obstante, aunque el equivalente de Mo sea el mismo, para la mecanizabilidad en caliente y la temperatura de ductilidad cero del llamado "lado de temperatura elevada" de aprox. 1150°C o superior, se pueden obtener

características mucho mejores en el caso, en el que la aleación contenga W. Por lo tanto, desde el punto de vista de la mecanizabilidad en caliente por el lado de la temperatura elevada, es más ventajoso que la aleación contenga W.

5 (b) El Mo y el W se disuelven en la fase γ' , que precipita en las aleaciones que contienen Al y Ti. Sin embargo, aunque el equivalente de Mo sea el mismo, una gran cantidad de W se disuelve en la fase γ' , de modo que se restringe el engrosamiento de la fase γ' durante el largo período de uso. Por lo tanto, desde el punto de vista de asegurar una gran resistencia a la rotura por fluencia estable en cuanto a la larga duración a temperatura elevada, es más ventajoso que la aleación contenga W.

10 (c) Aunque Mo y W son elementos que se consideran que aportan un efecto casi equivalente cuando $[Mo = 0,5 \times W]$ en los documentos de patente 1 y 7, desde los puntos de vista de los párrafos anteriores (a) y (b), el W en una cantidad superior al 5 % en porcentaje en peso que está presente en calidad de elemento esencial puede conducir a una mejora de la mecanizabilidad en caliente y de la resistencia a la rotura por fluencia de modo simultáneo por el lado de la temperatura elevada.

15 (d) Si Nd y B, el primero tiene el efecto de mejorar la adherencia de la película de óxido y la mecanizabilidad en caliente y el segundo tiene el efecto de la consolidación de la superficie límite de los granos, están contenidos en la composición y se controla un valor representado por la fórmula de $[Nd + 13,4 \times B]$ dentro de un intervalo específico, puede ampliarse de modo notable la resistencia a la rotura por fluencia y la ductilidad de rotura y también la mecanizabilidad en caliente por el llamado "lado de temperatura baja" de aprox. 1000°C o inferior.

20 A continuación, los inventores presentes han realizado otros estudios detallados sobre el deterioro de la aleación basada en el Ni resistente al calor causado por el largo período de uso empleando materiales sometidos a ensayos de rotura de fluencia a una temperatura de 700°C o superior durante un largo período de tiempo de 10.000 horas o más y varios materiales sometidos a ensayos similares de envejecimiento a largo plazo. A raíz de estos trabajos, los inventores presentes han obtenido los siguientes resultados (e) y (f).

25 (e) Las impurezas mezcladas en el proceso de fusión, en concreto el Sn, Pb, Sb, Zn y As, tienen un efecto significativo en la ductilidad y la tenacidad después de un largo período de calentamiento a temperatura elevada, es decir, un efecto significativo en la mecanizabilidad del material envejecido en un largo período de tiempo. Por lo tanto, con el fin de restringir el deterioro del material causado por el largo período de uso, es eficaz controlar los contenidos de los elementos recién mencionados dentro de los intervalos específicos.

30 (f) Con el fin de mejorar de modo notable la ductilidad y la tenacidad después de un largo período de calentamiento a una temperatura elevada, además del control de cada contenido de los elementos descritos en el anterior párrafo (e) en su intervalo específico, es esencial que la suma de los contenidos de Sn y Pb sea del 0,025 % o menos y además la suma de los contenidos de Sb, Zn y As debería ser del 0,010 % o menos.

35 La presente invención ha alcanzado su objetivo en base a los nuevos resultados recién descritos, que no se presentan en absoluto en los documentos de patente de 1 a 8. Los principales puntos de la presente invención son las aleaciones basadas en el Ni resistentes al calor presentadas en los siguientes párrafos de (1) a (3).

(1) Una aleación basada en el Ni resistente al calor definida en la reivindicación 1.

40 (2) La aleación basada en el Ni resistente al calor según el anterior párrafo (1), que contiene, en porcentaje en peso, uno o más elementos de no menos del 3 % al 15 % o menos de Mo que cumple con la siguiente fórmula (4) y más del 5 % hasta el 20 % o menos de Co:

$$Mo + 0,5 \times W \leq 18... (4)$$

45 cada símbolo de elemento de la fórmula (4) representa el contenido en porcentaje en peso del elemento en cuestión.

El término "impurezas" que aparece en la expresión "el resto está formado por el Ni y las impurezas" indica las impurezas procedentes de las menas y las gangas como materias primas, del entorno, etc., de la producción industrial de las aleaciones basadas en el Ni resistentes al calor.

55 EFECTOS DE LA INVENCION

La aleación basada en el Ni resistente al calor de la presente invención es una aleación de una resistencia mecánica mucho mayor que la lograda con la aleación basada en el Ni resistente al calor convencional, la ductilidad y la tenacidad después de un largo período de uso a temperatura elevada se mejoran de modo notable y además la temperatura de ductilidad cero y la mecanizabilidad en caliente también se mejoran. Por lo tanto, esta aleación basada en el Ni resistente al calor puede emplearse de modo conveniente como material para tuberías, como material para planchas gruesas de elementos de presión resistentes al calor, como material en barra, como material de forma y similares para calderas de generación de electricidad, para calderas de plantas de la industria química y similares.

MODOS DE LLEVAR A LA PRÁCTICA LA INVENCION

5 A continuación se describen con detalle los requisitos de la presente invención. En la descripción que sigue, el símbolo “%” del contenido de cada elemento indica el “% en peso”.

C: menos del 0,08 %

10 El C (carbono) es un elemento eficaz para asegurar la resistencia a la tracción y la resistencia a la fluencia, ya que forma carburos, que son necesarios cuando el material se emplea en una temperatura de entorno elevada; y por lo tanto el C estará presente de modo apropiado en la aleación de la presente invención. Sin embargo, si el contenido de C supera el 0,1 %, entonces aumenta la cantidad de carburos no disueltos en estado de solución, de modo que el carbono no solo deja de contribuir a la mejora de la resistencia a temperatura elevada, sino que además dicho carbono menoscaba las propiedades mecánicas, por ejemplo la tenacidad y la soldabilidad. Por lo tanto, el contenido de C se fijará en el 0,08 % o menos.

15 Con el fin de asegurar el efecto recién descrito de mejorar la resistencia a temperatura elevada debido al C, el límite inferior del contenido de C se situará con preferencia en el 0,005 % y con mayor preferencia se situará en más del 0,015 %. El límite inferior del contenido de C se situará con preferencia todavía mayor en más del 0,025 %.

20 Si: 1 % o menos

25 El Si (silicio) se añade como elemento desoxidante. En el caso, en el que el contenido de Si aumente y en especial supere el 1 %, disminuyen la soldabilidad y la mecanizabilidad en caliente de la aleación. Además, en tal caso, se facilita la formación de compuestos intermetálicos, por ejemplo la fase σ , de modo que se deteriora la estabilidad estructural a temperaturas elevadas y disminuyen la tenacidad y la ductilidad. Por lo tanto, el contenido de Si se fijará en el 1 % o menos. El contenido de Si es con preferencia del 0,8 % o menos y con mayor preferencia del 0,5 % o menos. En el caso, en el que la acción desoxidante se haya asegurado mediante cualquier otro elemento, no es necesario regular el límite inferior del contenido de Si.

30 Mn: 1 % o menos

35 Al igual que el Si, el Mn (manganeso) tiene un efecto desoxidante. El Mn tiene además el efecto de fijar el S, que está presente de forma inevitable en la aleación, en forma de sulfuros, y por lo tanto el Mn mejora la mecanizabilidad en caliente. No obstante, si aumenta el contenido de Mn, entonces se facilita la formación de películas de óxido de tipo espinela, de modo que se deteriora la resistencia a la oxidación en temperaturas elevadas. Por lo tanto, el contenido de Mn se fijará en el 1 % o menos. El contenido de Mn es con preferencia del 0,8 % o menos y con mayor preferencia del 0,5 % o menos.

40 Cr: de no menos del 15 % hasta menos del 28 %

45 El Cr (cromo) es un elemento importante para lograr un efecto excelente de mejora de la resistencia a la corrosión, por ejemplo la resistencia a la oxidación por vapor y la resistencia a la corrosión en temperaturas elevadas. No obstante, si el contenido de Cr es menor al 15 %, no se obtendrán estos efectos deseados. Por otro lado, en la presente invención, el Al y el Ti estarán presentes para utilizar la consolidación de la precipitación de la fase γ' , que es un compuesto intermetálico; y por lo tanto, si el contenido de Cr no es inferior al 28 %, entonces la fase Cr- α precipita, tal como se describe en los documentos de patente de 4 a 6, lo cual puede conducir a una disminución de la ductilidad y la tenacidad después de un largo período de uso, debida al exceso de precipitados. Además se deteriora también la mecanizabilidad en caliente. Por lo tanto, el contenido de Cr se fija en no menos del 15 % y menos del 28 %. El límite inferior del contenido de Cr será con preferencia del 18 %. Además, el contenido de Cr será con preferencia del 27 % o menos y con mayor preferencia del 26 % o menos.

50 Fe: 15 % o menos

55 El Fe (hierro) tiene una acción de mejora de la mecanizabilidad en caliente de la aleación basada en el Ni; y por lo tanto, el Fe estará presente de modo apropiado en la aleación de la presente invención. Sin embargo, si el contenido de Fe supera el 15 %, entonces se deterioran la resistencia a la oxidación y la estabilidad estructural. Por lo tanto, el contenido de Fe se fija en el 15 % o menos. En el caso, en el que se conceda mucha importancia a la resistencia a la oxidación, el contenido de Fe se fijará con preferencia en el 10 % o menos.

60 W: de más del 5 % a no más del 20 %

65 El W (tungsteno) es uno de los elementos importantes que caracterizan la aleación de la presente invención. Es decir, el W es un elemento que contribuye a la mejora de la resistencia a la rotura por fluencia ya que disuelve en la matriz al elemento de la consolidación de solución sólida. El W se disuelve en la fase γ' y tiene la acción de restringir

el crecimiento y el engrosamiento de la fase γ' durante un largo período de fluencia a temperatura elevada; y por lo tanto, el W logra de modo estable un largo período de resistencia a la rotura por fluencia. Además, aunque el equivalente de Mo sea el mismo, el W tiene las siguientes características por comparación con el Mo:

5 [1] La temperatura de ductilidad cero es alta y puede asegurarse una excelente mecanizabilidad en caliente, en especial en el llamado "lado de la temperatura elevada" de aprox. 1150°C o superior.

[2] Una mayor cantidad de W se disuelve en la fase γ' ; y por lo tanto, el W restringe el engrosamiento de la fase γ' durante el largo período de uso a temperatura elevada y puede asegurar de modo estable una resistencia elevada a la rotura por fluencia por el lado de temperatura elevada a largo plazo.

10 Con el fin de obtener los efectos recién descritos es necesario un contenido de W superior al 5 %. Sin embargo, si el contenido de W aumenta y, en especial, supera el 20 %, entonces se deterioran la estabilidad estructural y la mecanizabilidad en caliente. Por lo tanto, el contenido de W se fijará entre más del 5 % y no más del 20 %.

15 Con el fin de asegurar de modo estable los efectos mencionados previamente debidos al W, el contenido de W se fijará con preferencia en más del 6 %. Además, el límite superior del contenido de W se situará con preferencia en el 15 % y con mayor preferencia se fijará en el 12 %.

20 En el caso, en el que se pretenda conseguir una mayor consolidación de solución sólida o se conceda una mayor importancia a la estabilidad estructural por el llamado "lado de temperatura baja" de aprox. 1000°C o menos, además del W dentro del intervalo mencionado previamente, podrá estar también presente el Mo en la cantidad mencionada en último lugar por la consideración de mantener el equilibrio con la mecanizabilidad en caliente.

25 En el caso, en el que también esté presente el Mo, aparte de restringir el contenido de W dentro del intervalo recién descrito de "más del 5 % a no más del 20 %", la suma del contenido de Mo y la mitad del contenido de W, es decir, el valor representado con la fórmula de $[Mo + 0,5 \times W]$ debería situarse en el 18 % o menos.

Al: de más del 0,5 % a no más del 2 %

30 El Al (aluminio) es un elemento importante de la aleación basada en el Ni. Es decir, el Al precipita en forma de fase γ' , que es un compuesto intermetálico, de modo específico en forma de Ni_3Al y mejora de manera notable la resistencia a la rotura por fluencia. Con el fin de obtener este efecto es necesario un contenido de Al de más del 0,5 %. Sin embargo, si el contenido de Al supera el 2 %, la mecanizabilidad en caliente disminuye y resulta difícil realizar el mecanizado, por ejemplo el forjado en caliente y la fabricación de tubería en caliente. Por lo tanto, el contenido de Al se fijará entre más del 0,5 % y no más del 2 %.

35 El límite inferior del contenido de Al se fijará con preferencia en el 0,8 % y con mayor preferencia en el 0,9 %. Además, el límite superior del contenido de Al se situará con preferencia en el 1,8 % y con mayor preferencia en el 1,7 %.

40 Ti: de más del 0,5 % a no más del 1,7 %

45 El Ti (titanio) es un elemento importante de la aleación basada en el Ni. Es decir, el Ti forma la fase γ' , que es un compuesto intermetálico, de modo específico en forma de $Ni_3(Al, Ti)$ junto con el Al y mejora de manera notable la resistencia a la rotura por fluencia. Con el fin de obtener este efecto es necesario un contenido de Ti de más del 0,5 %. No obstante, si aumenta el contenido de Ti y rebasa el 2 %, entonces disminuye la mecanizabilidad en caliente y resulta difícil llevar a cabo el mecanizado, por ejemplo el forjado en caliente o la fabricación de tubería en caliente. Por lo tanto, el contenido de Ti se fijará entre más del 0,5 % y no más del 1,7 %.

50 El límite inferior del contenido de Ti se fijará con preferencia en el 0,8 % y con mayor preferencia en el 1,1 %.

Nd: del 0,001 al 0,1 %

55 El Nd (neodimio) es un elemento importante, que caracteriza la aleación de la presente invención junto con el B que se describe seguidamente. Es decir, el Nd es un elemento que tiene los efectos de mejorar la adhesión de una de una película de óxido y de mejorar la mecanizabilidad en caliente. Si el Nd está presente en una cantidad que satisface lo definido en la siguiente fórmula (1) aparte de estar presente en la composición junto con el B, entonces el Nd produce el efecto de mejorar de modo notable la resistencia a la rotura por fluencia, la ductilidad de rotura y la mecanizabilidad en caliente por el llamado "lado de temperatura baja" de aprox. 1000°C o menos de la aleación basada en el Ni resistente al calor de la presente invención. Con el fin de obtener el efecto recién descrito es necesario un contenido de Nd del 0,001 % o más. No obstante, si el contenido de Nd aumenta de modo excesivo y en especial rebasa el 0,1 %, entonces por el contrario se deteriora la mecanizabilidad en caliente. Por lo tanto, el contenido de Nd se situará entre el 0,001 y el 0,1 %.

60

ES 2 534 043 T3

El límite inferior del contenido de Nd se sitúa con preferencia en el 0,003 % y con mayor preferencia en el 0,005 %. Además, el límite superior del contenido de Nd se situará con preferencia en el 0,08 % y con mayor preferencia en el 0,06 %.

5 B: del 0,0005 al 0,01 %

El B (boro) es un elemento importante, que caracteriza la aleación de la presente invención junto con el recién mencionado Nd. Es decir, el B tiene el efecto de consolidar los límites de los granos. Si el B está presente en una cantidad que satisface lo definido en la siguiente fórmula (1) aparte de estar presente en la composición junto con el Nd, entonces el B produce el efecto de mejorar de manera notable la resistencia a la rotura por fluencia, la ductilidad de rotura y la mecanizabilidad en caliente por el llamado "lado de temperatura baja" de aprox. 1000°C o menos de la aleación basada en el Ni resistente al calor de la presente invención. Con el fin de obtener el efecto recién descrito es necesario un contenido de B del 0,0005 % o más. Sin embargo, si el contenido de B aumenta de modo excesivo y en especial si rebasa el 0,01 %, entonces por el contrario aparte del deterioro de la soldabilidad, se deteriora también la mecanizabilidad en caliente. Por lo tanto, el contenido de B se situará entre el 0,0005 y el 0,01 %.

El límite inferior del contenido de B se fijará con preferencia en el 0,001 % y con mayor preferencia en el 0,002 %. Además, el límite superior del contenido de B se situará con preferencia en el 0,008 % y con mayor preferencia en el 0,006 %.

20 El valor representado por la fórmula de $[Nd + 13,4 \times B]$: de 0,015 a 0,13.

La aleación basada en el Ni resistente al calor de la presente invención debería ser tal que los contenidos de Nd y B se sitúen dentro de los intervalos recién descritos, respectivamente y satisfagan la siguiente fórmula:

$$25 \quad 0,015 \leq Nd + 13,4 \times B \leq 0,13 \quad (1).$$

La razón es la siguiente. Aunque los contenidos de Nd y B se sitúen dentro de los intervalos ya descritos, respectivamente, en el caso, en el que el valor representado por la fórmula de $[Nd + 13,4 \times B]$ sea menor que 0,015, entonces no puede obtenerse el efecto de mejorar de modo notable la resistencia a la rotura por fluencia, la ductilidad de rotura y la mecanizabilidad en caliente por el llamado "lado de temperatura baja" de aprox. 1000°C o menos de la aleación basada en el Ni resistente al calor de la presente invención y en el caso, en el que el valor representado por la fórmula de $[Nd + 13,4 \times B]$ rebasa el valor 0,13, entonces por el contrario se deteriora la mecanizabilidad en caliente tanto por el "lado de temperatura baja" como por el "lado de la temperatura elevada" y en algunos casos se deteriora también la soldabilidad.

El límite inferior del valor representado por la fórmula de $[Nd + 13,4 \times B]$ se situará con preferencia en 0,020 y con mayor preferencia en 0,025. Además, el límite superior del valor representado por dicha fórmula se situará con preferencia en 0,11 y con mayor preferencia en 0,10.

40 Una de las aleaciones basadas en el Ni resistentes al calor de la presente invención contiene los elementos descritos previamente y opcionalmente los elementos descritos a continuación, el resto está formado por el Ni y las impurezas.

45 De modo incidental, los contenidos de P, S, Sn, Pb, Sb, Zn y As entre las impurezas deberían restringirse del modo descrito a continuación.

En primer lugar, se explicarán seguidamente el P y el S.

50 P: 0,03 % o menos

El P (fósforo) está inevitablemente mezclado en la aleación como impureza y deteriora de modo notable la soldabilidad y la mecanizabilidad en caliente. En particular, si el contenido de P rebasa el 0,03 %, entonces la soldabilidad y la mecanizabilidad en caliente se deterioran de manera notable. Por lo tanto, el contenido de P se situará en el 0,03 % o menos. El contenido de P será con preferencia lo más bajo posible; y por lo tanto, el contenido de P se situará con preferencia en el 0,02 % o menos y con mayor preferencia se situará en el 0,015 % o menos.

S: 0,01 % o menos

60 Al igual que el P, el S (azufre) está inevitablemente mezclado en la aleación como impureza y deteriora de modo notable la soldabilidad y la mecanizabilidad en caliente. En particular, si el contenido de S rebasa el 0,01 %, entonces la soldabilidad y la mecanizabilidad en caliente se deterioran de manera notable. Por lo tanto, el contenido de S se situará en el 0,01 % o menos.

En el caso, en el que se conceda mucha importancia a la mecanizabilidad en caliente, el contenido de S se situará con preferencia en el 0,005 % o menos y con mayor preferencia en el 0,003 % o menos.

A continuación se describen el Sn, Pb, Sb, Zn y As.

5 Sn: 0,020 % o menos
 Pb: 0,010 % o menos
 Sb: 0,005 % o menos
 Zn: 0,005 % o menos
 10 As: 0,005 % o menos

15 El Sn, Pb, Sb, Zn y As son todos ellos elementos contaminantes mezclados en el proceso de fusión y provocan una disminución notable de la ductilidad y la tenacidad después de un largo período de calentamiento a una temperatura elevada de 700°C o superior durante 10.000 horas o más. Por lo tanto, con el fin de asegurar una mecanizabilidad excelente, por ejemplo la mecanizabilidad de curvado y la soldabilidad del material envejecido durante un largo período de tiempo, en primer lugar, los contenidos de estos elementos deberían restringirse a Sn: 0,020 % o menos, Pb: 0,010 % o menos, Sb: 0,005 % o menos, Zn: 0,005 % o menos y As: 0,005 % o menos, respectivamente.

20 El valor representado por la fórmula de [Sn + Pb]: 0,025 o menos.

El valor representado por la fórmula de [Sb + Zn + As]: 0,010 o menos.

25 La aleación basada en el Ni resistente al calor de la presente invención debería ser tal que los contenidos de Sn, Pb, Sb, Zn y As se sitúen dentro de los intervalos recién descritos, respectivamente y satisfagan lo definido en las dos fórmulas siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Sn} + \text{Pb} &\leq 0,025 && (2), \\ \text{Sb} + \text{Zn} + \text{As} &\leq 0,010 && (3). \end{aligned}$$

30 La razón es la siguiente. Aunque los contenidos de Sn y Pb se sitúen dentro de los intervalos ya descritos, respectivamente, en el caso, en el que el valor representado por la fórmula de [Sn + Pb] rebasa el valor 0,025, entonces no puede restringirse la disminución notable de la ductilidad y la tenacidad después de un largo período de calentamiento a una temperatura elevada y de modo similar, en el caso, en el que el valor representado por la fórmula de [Sb + Zn + As] rebasa el valor 0,010, entonces no podrá restringirse la disminución notable de la ductilidad y la tenacidad después de un largo período de calentamiento a una temperatura elevada.

Los valores representados en las dos fórmulas recién descritas serán con preferencia lo más bajos posible.

40 A continuación se explica el Ni de la frase “el resto está formado por el Ni y las impurezas” de la aleación basada en el Ni resistente al calor de la presente invención.

45 El Ni (níquel) es un elemento que estabiliza la microestructura austenítica y es un elemento importante para asegurar una excelente resistencia a la corrosión también en la aleación basada en el Ni resistente al calor de la presente invención. En la presente invención no es necesario regular el contenido de Ni en especial. El contenido de Ni se define como el contenido obtenido por eliminación del contenido de impurezas del resto. Sin embargo, el contenido de Ni en el resto es con preferencia superior al 50 % y con mayor preferencia superior al 60 %.

50 Otras aleaciones basadas en el Ni resistentes al calor de la presente invención contienen opcionalmente uno o más elementos elegidos entre el Mo, Co, Nb, V, Zr, Hf, Mg, Ca, Y, La, Ce, Ta y Re, además de los elementos ya descritos previamente.

A continuación se describen los efectos en el mecanizado de estos elementos opcionales y las razones para restringir los contenidos de los mismos.

55 Mo y Co

Tanto el Mo como el Co producen una acción de consolidación de solución sólida. Por lo tanto, en el caso, en el que se desee obtener una resistencia mecánica mayor por el efecto de la consolidación de solución sólida, estos elementos se añaden de modo positivo y pueden estar presentes en el intervalo descrito a continuación.

60 Mo: 15 % o menos

65 Mo (molibdeno) tiene una acción de consolidación de solución sólida. El Mo tiene además una acción de mejora de la estabilidad estructural por el llamado “lado de temperatura baja” de aprox. 1000°C o menos. Por lo tanto, en el caso, en el que se pretenda lograr una mayor consolidación de solución sólida o se conceda mucha importancia a la

estabilidad estructural por el "lado de temperatura baja", entonces el Mo podrá estar presente. No obstante, si el contenido de Mo aumenta y rebasa el 15 %, entonces se deteriora de manera notable la mecanizabilidad en caliente. Por lo tanto, en el caso, en el que se añade el Mo, el contenido de Mo se situará en el 15 % o menos. En el caso, en el que se añada el Mo, entonces el contenido de Mo se situará con preferencia en el 12 % o menos y con mayor preferencia en el 11 % o menos.

Por otro lado, con el fin de asegurar los efectos recién descritos, debidos al Mo, el límite inferior del contenido de Mo se situará con preferencia en el 3 % y con mayor preferencia en el 5 %.

El valor representado por la fórmula de $[Mo + 0,5 \times W]$: 18 o menos.

En el caso en el que se añada el Mo de modo positivo y esté presente, la aleación basada en el Ni resistente al calor de la presente invención debería ser tal que el contenido de Mo se sitúe dentro del intervalo recién descrito y satisfaga la fórmula siguiente:

$$Mo + 0,5 \times W \leq 18 \quad (4).$$

La razón es la siguiente. Aunque los contenidos de W y Mo se sitúen dentro de los intervalos ya descritos, respectivamente, en el caso, en el que el valor representado por la fórmula de $[Mo + 0,5 \times W]$ supere el valor 18, entonces la mecanizabilidad en caliente disminuye de manera notable.

El límite superior de el valor representado por la fórmula de $[Mo + 0,5 \times W]$ se situará con preferencia en 15 y con mayor preferencia en 13. Además, el límite inferior del valor representado por dicha fórmula es un valor cercano a 2,5 en el caso, en el que el contenido de W sea un valor cercano al 5 %.

Co: 20 % o menos

El Co (cobalto) tiene una acción de consolidación de solución sólida. De modo específico, el Co se disuelve en la matriz y mejora la resistencia a la rotura por fluencia. Por lo tanto, con el fin de obtener tal efecto, el Co podrá estar presente. No obstante, si el contenido de Co aumenta y supera el 20 %, entonces disminuye la mecanizabilidad en caliente. Por lo tanto, en el caso, en el que se añada el Co, el contenido de Co se situará en el 20 % o menos. En el caso, en el que se añada el Co, el contenido de Co se situará con preferencia en el 15 % o menos y con mayor preferencia se situará en el 13 % o menos.

Por otro lado, con el fin de asegurar los efectos antes mencionados, debidos al Co, es preferible contenido de Co superior al 5 %. Es también preferible un contenido de Co no inferior al 7 %.

La aleación basada en el Ni resistente al calor de la presente invención puede contener solo uno o bien una combinación de los ya citados Mo y Co. El contenido total de estos elementos se situará con preferencia en el 27 % o menos.

<1> Nb: 1,0 % o menos, V: 1,5 % o menos, Zr: 0,2 % o menos y Hf: 1 % o menos

Cada uno de Nb, V, Zr y Hf, que son elementos del grupo <1>, tiene la acción de mejorar la resistencia a la rotura por fluencia. Por lo tanto, en el caso, en el que se desee obtener esta resistencia mejorada a la rotura por fluencia, estos elementos se añaden de modo positivo y podrán estar presentes en el intervalo que se describe a continuación.

Nb: 1,0 % o menos

El Nb (niobio) forma la fase γ' junto con Al y Ti y tiene el efecto de mejorar la resistencia a la rotura por fluencia. Por lo tanto, con el fin de obtener este efecto, el Nb podrá estar presente. Sin embargo, si el contenido de Nb rebasa el 1,0 %, entonces se deterioran la mecanizabilidad en caliente y la tenacidad. Por lo tanto, en el caso, en el que se añade el Nb, el contenido de Nb se fijará en el 1,0 % o menos. El contenido de Nb se sitúa con preferencia en el 0,9 % o menos.

Por otro lado, con el fin de asegurar el efecto recién descrito debido al Nb, el límite inferior del contenido de Nb se situará con preferencia en el 0,05 % y con mayor preferencia en el 0,1 %.

V: 1,5 % o menos

El V (vanadio) tiene el efecto de mejorar la resistencia a la rotura por fluencia formando carbo-nitruros. Por lo tanto, con el fin de obtener este efecto, el V podrá estar presente. Sin embargo, si el contenido de V rebasa el 1,5 %, entonces se deterioran la ductilidad y la tenacidad a causa de la aparición de la corrosión a temperatura elevada y la

ES 2 534 043 T3

precipitación de la fase frágil. Por lo tanto, en el caso, en el que se añada el V, el contenido de V se fijará en el 1,5 % o menos. El contenido de V será con preferencia del 1 % o menos.

5 Por otro lado, con el fin de asegurar el efecto recién descrito debido al V, el contenido de V se situará con preferencia en el 0,02 % o más y con mayor preferencia en el 0,04 % o más.

Zr: 0,2 % o menos

10 El Zr (zirconio) es un elemento para la consolidación de la superficie límite de los granos y tiene el efecto de mejorar la resistencia a la rotura por fluencia. Además el Zr tiene el efecto de mejorar la ductilidad de rotura por fluencia. Por lo tanto, con el fin de obtener estos efectos, el Zr podrá estar presente. Sin embargo, si el contenido de Zr rebasa el 0,2 %, entonces se deteriora la mecanizabilidad en caliente. Por lo tanto, en el caso, en el que se añada el Zr, el contenido de Zr se fijará en el 0,2 % o menos. El contenido de Zr se situará con preferencia en el 0,1 % o menos y con mayor preferencia en el 0,05 % o menos.

15 Por otro lado, con el fin de asegurar el efecto recién descrito debido al Zr, el contenido de Zr será con preferencia del 0,005 % o más y con mayor preferencia del 0,01 % o más.

20 Hf: 1 % o menos

25 El Hf (hafnio) tiene el efecto de mejorar la resistencia a la rotura por fluencia contribuyendo principalmente a la consolidación de la superficie límite de los granos, de modo que con el fin de obtener este efecto el Hf podrá estar presente. Sin embargo, si el contenido de Hf supera el 1 %, entonces se desequilibran la mecanizabilidad y la soldabilidad. Por lo tanto, en el caso, en el que se añada el Hf, el contenido de Hf se situará en el 1 % o menos. El límite superior del contenido de Hf se sitúa con preferencia en el 0,8 % y con mayor preferencia en el 0,5 %.

Por otro lado, con el fin de asegurar el efecto recién descrito debido al Hf, el contenido de Hf será con preferencia del 0,005 % o más y con mayor preferencia del 0,01 % o más.

30 La aleación basada en el Ni resistente al calor de la presente invención puede contener solo uno o bien una combinación de dos o más de los ya mencionados Nb, V, Zr y Hf. El contenido total de estos elementos se situará con preferencia en el 2,8 % o menos.

35 <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

Cada uno de los elementos Mg, Ca, Y, La y Ce pertenece al grupo (2) y tiene el efecto de mejorar la mecanizabilidad en caliente fijando el S en forma de sulfuro. Por lo tanto, en el caso, en el que se desee obtener además una excelente mecanizabilidad en caliente, se podrán añadir estos elementos en modo positivo y podrán estar presentes dentro del intervalo descrito a continuación.

40 Mg: 0,05 % o menos

45 El Mg (magnesio) tiene el efecto de mejorar la mecanizabilidad en caliente fijando el S, que impide la mecanizabilidad en caliente, en forma de sulfuro. Por lo tanto, con el fin de obtener este efecto, el Mg podrá estar presente. Sin embargo, si el contenido de Mg rebasa el 0,05 %, disminuye la limpieza de la aleación; y, por consiguiente, se deterioran por el contrario la mecanizabilidad en caliente y la ductilidad. Por lo tanto, en el caso, en el que se añade el Mg, el contenido de Mg se situará en el 0,05 % o menos. El límite superior del contenido de Mg se fijará con preferencia en el 0,02 % y con mayor preferencia en el 0,01 %.

50 Por otro lado, con el fin de asegurar el efecto recién descrito debido al Mg, el límite inferior del contenido de Mg se situará con preferencia en el 0,0005 % y con mayor preferencia en el 0,001 %.

Ca: 0,05 % o menos

55 El Ca (calcio) tiene el efecto de mejorar la mecanizabilidad en caliente fijando el S, que impide la mecanizabilidad en caliente, en forma de sulfuro. Por lo tanto, con el fin de obtener este efecto, el Ca podrá estar presente. Sin embargo, si el contenido de Ca rebasa el 0,05 %, disminuye la limpieza de la aleación; y por lo tanto, se deterioran por el contrario la mecanizabilidad en caliente y la ductilidad. Por lo tanto, en el caso, en el que se añada el Ca, el contenido de Ca se situará en el 0,05 % o menos. El límite superior del contenido de Ca se situará con preferencia en el 0,02 % y con mayor preferencia en el 0,01 %.

60 Por otro lado, con el fin de asegurar el efecto recién descrito debido al Ca, el contenido de Ca se situará con preferencia en el 0,0005 % o más y con mayor preferencia en el 0,001 % o más.

65 Y: 0,5 % o menos

El Y (itrio) tiene el efecto de mejorar la mecanizabilidad en caliente fijando el S en forma de sulfuro. El Y tiene también el efecto de mejorar la adhesión de la película protectora de Cr_2O_3 sobre la superficie de la aleación, mejorando en especial la resistencia a la oxidación en el tiempo de oxidación repetida y además el Y tiene los efectos de ampliar la resistencia a la rotura por fluencia y la ductilidad de rotura por fluencia contribuyendo a la consolidación de la superficie límite de los granos. Por lo tanto, con el fin de obtener estos efectos, el Y podrá estar presente. Sin embargo, si el contenido de Y rebasa el 0,5 %, entonces aumentan las cantidades de las inclusiones, por ejemplo de óxidos, de modo que se desequilibran la mecanizabilidad y la soldabilidad. Por lo tanto, en el caso, en el que se añada el Y, el contenido de Y se fijará en el 0,5 % o menos. El límite superior del contenido de Y se situará con preferencia en el 0,3 % y con mayor preferencia en el 0,15 %.

Por otro lado, con el fin de asegurar los efectos recién mencionados debidos al Y, el límite inferior del contenido de Y se situará con preferencia en el 0,0005 %. El límite inferior del contenido de Y se situará con mayor preferencia en el 0,001 % y con mayor preferencia todavía en el 0,002 %.

La: 0,5 % o menos

El La (lantano) tiene el efecto de mejorar la mecanizabilidad en caliente fijando el S en forma de sulfuro. El La tiene también el efecto de mejorar la adhesión de una película protectora de Cr_2O_3 sobre la superficie de la aleación, mejorando en especial la resistencia a la oxidación y al mismo tiempo de la oxidación repetida y además el La tiene los efectos de ampliar la resistencia a la rotura por fluencia y la ductilidad de rotura por fluencia contribuyendo a la consolidación de la superficie límite de los granos. Por lo tanto, con el fin de obtener estos efectos, el La podrá estar presente. Sin embargo, si el contenido de La rebasa el 0,5 %, entonces aumentan las cantidades de las inclusiones, por ejemplo de óxidos, de modo que se desequilibran la mecanizabilidad y la soldabilidad. Por lo tanto, en el caso, en el que se añada el La, el contenido de La se fijará en el 0,5 % o menos. El límite superior del contenido de La se situará con preferencia en el 0,3 % y con mayor preferencia en el 0,15 %.

Por otro lado, con el fin de asegurar los efectos recién mencionados debidos al La, el límite inferior del contenido de La se situará con preferencia en el 0,0005 %. El límite inferior del contenido de La se situará con mayor preferencia en el 0,001 % y con mayor preferencia todavía en el 0,002 %.

Ce: 0,5 % o menos

El Ce (cerio) tiene también el efecto de mejorar la mecanizabilidad en caliente fijando el S en forma de sulfuro. Además, el Ce tiene el efecto de mejorar la adhesión de una película protectora de Cr_2O_3 sobre la superficie de la aleación, mejorando en especial la resistencia a la oxidación y al mismo tiempo a la oxidación repetida y el Ce tiene también los efectos de ampliar la resistencia a la rotura por fluencia y la ductilidad de rotura por fluencia contribuyendo a la consolidación de la superficie límite de los granos. Por lo tanto, con el fin de obtener estos efectos, el Ce podrá estar presente. Sin embargo, si el contenido de Ce rebasa el 0,5 %, entonces aumentan las cantidades de las inclusiones, por ejemplo óxidos, de modo que se desequilibran la mecanizabilidad y la soldabilidad. Por lo tanto, en el caso, en el que se añada el Ce, el contenido de Ce se situará en el 0,5 % o menos. El límite superior del contenido de Ce se situará con preferencia en el 0,3 % y con mayor preferencia en el 0,15 %.

Por otro lado, con el fin de asegurar los efectos recién mencionados debidos al Ce, el límite inferior del contenido de Ce se situará con preferencia en el 0,0005 %. El límite inferior del contenido de Ce se situará con mayor preferencia en el 0,001 % y con mayor preferencia todavía en el 0,002 %.

La aleación basada en el Ni resistente al calor de la presente invención puede contener solo uno o bien una combinación de dos o más de los ya mencionados Mg, Ca, Y, La y Ce. El contenido total de estos elementos se situará con preferencia en el 0,94 % o menos.

<3> Ta: 8 % o menos y Re: 8 % o menos

Tanto el Ta como el Re son elementos del grupo (3) y como elementos de consolidación de solución sólida tienen el efecto de mejorar la resistencia a la rotura por fluencia. Por lo tanto, en el caso, en el que se desee lograr una resistencia mucho mayor a la rotura por fluencia, se añadirán estos elementos en modo positivo y podrán estar presentes dentro del intervalo que se indica a continuación.

Ta: 8 % o menos

El Ta (tántalo) forma carbo-nitruros y actúa como elemento de consolidación de solución sólida; tiene, pues, el efecto de mejorar la resistencia a la rotura por fluencia. Por lo tanto, con el fin de obtener este efecto, el Ta podrá estar presente. Sin embargo, si el contenido de Ta rebasa el 8 %, entonces se desequilibran la mecanizabilidad y las propiedades mecánicas. Por lo tanto, en el caso, en el que se añada el Ta, el contenido de Ta se situará en el 8 % o

menos. El límite superior del contenido de Ta se situará con preferencia en el 7 % y con mayor preferencia en el 6 %.

5 Por otro lado, con el fin de asegurar los efectos recién mencionados debidos al Ta, el límite inferior del contenido de Ta se situará con preferencia en el 0,01 %. El límite inferior del contenido de Ta se situará con mayor preferencia en el 0,1 % y con mayor preferencia todavía en el 0,5 %.

Re: 8 % o menos

10 Como elemento de consolidación de solución sólida, el Re (renio) tiene el efecto de mejorar la resistencia a la rotura por fluencia. Por lo tanto, con el fin de obtener este efecto, el Re podrá estar presente. Sin embargo, si el contenido de Re rebasa el 8 %, entonces se desequilibran la mecanizabilidad y las propiedades mecánicas. Por lo tanto, en el caso, en el que se añada el Re, el contenido de Re se situará en el 8 % o menos. El límite superior del contenido de Re se situará con preferencia en el 7 % y con mayor preferencia en el 6 %.

15 Por otro lado, con el fin de asegurar los efectos recién mencionados debidos al Re, el límite inferior del contenido de Re se situará con preferencia en el 0,01 %. El límite inferior del contenido de Ta se situará con mayor preferencia en el 0,1 % y con mayor preferencia todavía en el 0,5 %.

20 La aleación basada en el Ni resistente al calor de la presente invención puede contener uno solo o bien una combinación de los ya mencionados Ta y Re. El contenido total de estos elementos se situará con preferencia en el 14 % o menos.

25 La aleación basada en el Ni resistente al calor de la presente invención puede fabricarse seleccionando los materiales en bruto a emplear en el paso de la fusión en base a los resultados de los análisis cuidadosos y detallados, de tal manera que, en particular, los contenidos de Sn, Pb, Sb, Zn y As entre las impurezas estén incluidos dentro de los intervalos respectivos ya mencionados, a saber: Sn: 0,020 % o menos, Pb: 0,010 % o menos, Sb: 0,005 % o menos, Zn: 0,005 % o menos y As: 0,005 % o menos y satisfacer dichas fórmulas (2) y (3) y después fundiendo los materiales en un horno eléctrico, en un horno AOD o en horno VOD.

30 Los siguientes ejemplos ilustran la presente invención de manera más específica. Sin embargo, estos ejemplos no limitan en absoluto el alcance de la presente invención.

35 Ejemplos

Se funden las aleaciones austeníticas de 1 a 15 y de A a N, que tienen las composiciones químicas que se indican en las tablas 1 y 2, empleando un horno de alta frecuencia conectado al vacío y se vierten en moldes para formar lingotes de 30 kg.

40 Las aleaciones de 1 a 15 recogidas en las tablas 1 y 2 son aleaciones cuyas composiciones químicas se incluyen dentro del intervalo regulado por la presente invención. Por otro lado, las aleaciones de A a N son aleaciones de ejemplos comparativos, cuyas composiciones químicas se salen del intervalo regulado por la presente invención. Las dos aleaciones F y G son aleaciones cuyos contenidos individuales de Nb y B se incluyen dentro del intervalo regulado por la presente invención, el valor de $[Nd + 13,4 \times B]$ no cumple dicha fórmula (1). Además, la aleación M

45 es una aleación cuyos contenidos individuales de Sn y Pb se incluyen dentro del intervalo regulado por la presente invención, el valor de $[Sn + Pb]$ no cumple dicha fórmula (2). La aleación N es una aleación cuyos contenidos individuales de Sb, Zn y As se incluyen dentro del intervalo regulado por la presente invención, el valor de $[Sb + Zn +$

Tabla 1

| división | aleación | composición química (% en peso); resto = Ni e impurezas | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|----------|---|------|------|-------|-------|-------|------|--------|-------|-------|------|------|-------|--------|
| | | C | Si | Mn | P | S | Cr | Fe | W | Mo | Co | Al | Ti | Nd | B |
| ejemplos | 1 | 0,059 | 0,17 | 0,23 | 0,011 | 0,001 | 21,49 | 0,60 | 6,21 | - | - | 1,22 | 1,44 | 0,014 | 0,0032 |
| | 2 | 0,057 | 0,21 | 0,16 | 0,013 | 0,001 | 21,38 | 0,62 | 11,86 | - | - | 1,28 | 1,39 | 0,012 | 0,0036 |
| | 3 | 0,061 | 0,16 | 0,18 | 0,012 | 0,001 | 21,14 | 0,57 | 18,35 | - | - | 1,18 | 1,49 | 0,015 | 0,0028 |
| | 4 | 0,058 | 0,20 | 0,19 | 0,012 | 0,001 | 21,06 | 0,65 | 8,51 | - | - | 1,25 | 1,43 | 0,012 | 0,0008 |
| | 5 | 0,062 | 0,19 | 0,18 | 0,011 | 0,001 | 21,21 | 0,62 | 8,75 | - | - | 1,21 | 1,46 | 0,045 | 0,0057 |
| | 6 | 0,035 | 0,18 | 0,22 | 0,012 | 0,002 | 24,15 | 0,77 | 7,72 | - | 10,27 | 1,44 | 1,51 | 0,024 | 0,0022 |
| | 7 | 0,050 | 0,20 | 0,15 | 0,015 | 0,001 | 22,03 | 0,89 | 6,43 | 8,54 | - | 1,20 | 1,18 | 0,028 | 0,0020 |
| | 8 | 0,055 | 0,22 | 0,24 | 0,011 | 0,001 | 23,37 | 0,91 | 7,07 | 6,38 | 8,72 | 1,34 | 1,55 | 0,017 | 0,0009 |
| | 9 | 0,062 | 0,24 | 0,19 | 0,014 | 0,002 | 22,25 | 1,78 | 8,86 | 7,02 | - | 0,98 | 1,19 | 0,039 | 0,0041 |
| | 10 | 0,075 | 0,21 | 0,20 | 0,011 | 0,001 | 21,86 | 1,37 | 10,74 | - | 9,56 | 1,28 | 1,62 | 0,008 | 0,0029 |
| | 11 | 0,053 | 0,14 | 0,22 | 0,016 | 0,003 | 21,78 | 1,68 | 7,25 | 6,59 | 11,26 | 1,65 | 1,22 | 0,022 | 0,0036 |
| | 12 | 0,068 | 0,53 | 0,08 | 0,017 | 0,001 | 22,64 | 0,70 | 6,87 | 10,68 | - | 1,27 | 1,56 | 0,031 | 0,0018 |
| | 13 | 0,064 | 0,25 | 0,14 | 0,012 | 0,002 | 22,17 | 0,86 | 6,91 | - | 9,29 | 1,51 | 1,24 | 0,027 | 0,0037 |
| | 14 | 0,060 | 0,19 | 0,26 | 0,013 | 0,001 | 21,91 | 0,80 | 8,05 | - | - | 1,15 | 1,29 | 0,013 | 0,0046 |
| | 15 | 0,058 | 0,05 | 0,51 | 0,012 | 0,001 | 18,57 | 0,78 | 9,06 | - | 14,63 | 1,42 | 1,37 | 0,017 | 0,0033 |
| ejemplos compar. | A | 0,059 | 0,19 | 0,18 | 0,013 | 0,001 | 21,45 | 0,65 | * - | 6,02 | - | 1,30 | 1,35 | 0,013 | 0,0034 |
| | B | 0,061 | 0,19 | 0,20 | 0,012 | 0,001 | 21,41 | 0,58 | * 3,13 | - | - | 1,19 | 1,15 | 0,016 | 0,0030 |
| | C | 0,059 | 0,23 | 0,18 | 0,011 | 0,001 | 21,33 | 0,65 | * 2,26 | 5,05 | - | 1,25 | 1,41 | 0,013 | 0,0033 |
| | D | 0,062 | 0,20 | 0,16 | 0,011 | 0,001 | 21,43 | 0,55 | 6,30 | - | - | 1,26 | 1,42 | 0,018 | ** - |
| | E | 0,059 | 0,18 | 0,17 | 0,013 | 0,001 | 21,49 | 0,58 | 6,25 | - | - | 1,25 | 1,44 | ** - | 0,0038 |
| | F | 0,060 | 0,22 | 0,18 | 0,012 | 0,001 | 21,15 | 0,68 | 8,47 | - | - | 1,23 | 1,39 | 0,003 | 0,0007 |
| | G | 0,065 | 0,20 | 0,19 | 0,012 | 0,001 | 21,28 | 0,66 | 8,69 | - | - | 1,24 | 1,40 | 0,061 | 0,0058 |
| | H | 0,058 | 0,17 | 0,22 | 0,013 | 0,001 | 21,51 | 0,62 | 6,24 | - | - | 1,18 | 1,47 | 0,015 | 0,0035 |
| | I | 0,037 | 0,19 | 0,20 | 0,013 | 0,002 | 24,36 | 0,74 | 7,69 | - | 10,31 | 1,48 | 1,47 | 0,022 | 0,0024 |
| | J | 0,052 | 0,23 | 0,15 | 0,014 | 0,001 | 22,12 | 0,90 | 6,45 | 8,58 | - | 1,18 | 1,17 | 0,029 | 0,0020 |
| | K | 0,053 | 0,21 | 0,26 | 0,012 | 0,001 | 23,48 | 0,85 | 7,12 | 6,35 | 8,80 | 1,39 | 1,49 | 0,019 | 0,0008 |
| | L | 0,057 | 0,20 | 0,20 | 0,012 | 0,001 | 21,54 | 0,65 | 6,33 | - | - | 1,25 | 1,44 | 0,015 | 0,0034 |
| | M | 0,060 | 0,18 | 0,22 | 0,011 | 0,001 | 21,48 | 0,67 | 6,27 | - | - | 1,21 | 1,46 | 0,013 | 0,0035 |
| | N | 0,058 | 0,25 | 0,22 | 0,012 | 0,001 | 23,35 | 0,94 | 7,21 | 6,45 | 8,83 | 1,37 | 1,51 | 0,017 | 0,0010 |

Tabla 2 (continuación de la tabla 1)

| división | aleación | composición química (% en peso); resto = Nie impurezas | | | | | | | | | | |
|------------------|----------|--|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|----------|----------|---------------------|--|
| | | Sn | Pb | Sb | Zn | As | Nd+13,4xB | Sn+Pb | Sb+Zn+As | Mo+0,5xW | otros | |
| ejemplos | 1 | 0,002 | 0,005 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,057 | 0,007 | 0,005 | 3,11 | -* | |
| | 2 | 0,002 | 0,004 | 0,003 | 0,001 | 0,002 | 0,060 | 0,006 | 0,006 | 5,93 | -* | |
| | 3 | 0,003 | 0,005 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | 0,053 | 0,008 | 0,005 | 9,18 | -* | |
| | 4 | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,023 | 0,006 | 0,005 | 4,26 | -* | |
| | 5 | 0,002 | 0,004 | 0,003 | 0,001 | 0,002 | 0,121 | 0,006 | 0,006 | 4,38 | -* | |
| | 6 | 0,002 | 0,003 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,053 | 0,005 | 0,005 | 3,86 | -* | |
| | 7 | 0,007 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,055 | 0,009 | 0,006 | 11,76 | -* | |
| | 8 | 0,003 | 0,001 | 0,001 | 0,004 | 0,001 | 0,029 | 0,004 | 0,005 | 9,92 | -* | |
| | 9 | 0,012 | 0,002 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | 0,094 | 0,014 | 0,009 | 11,45 | V:0,53,Nb:0,85 | |
| | 10 | 0,005 | 0,001 | 0,002 | 0,003 | 0,001 | 0,047 | 0,006 | 0,006 | 5,37 | Zr:0,025,Hf:0,21 | |
| | 11 | 0,018 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,070 | 0,020 | 0,003 | 10,22 | Mg:0,0019,Ca:0,0026 | |
| | 12 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,055 | 0,005 | 0,007 | 14,12 | Y:0,032,Ce:0,025 | |
| | 13 | 0,001 | 0,009 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,077 | 0,010 | 0,005 | 3,46 | Zr:0,019,La:0,039 | |
| | 14 | 0,004 | 0,005 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,075 | 0,009 | 0,005 | 4,03 | Ta:1,74 | |
| | 15 | 0,004 | 0,004 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,061 | 0,008 | 0,004 | 4,53 | Re:2,48 | |
| ejemplos compar. | A | 0,001 | 0,003 | 0,004 | 0,002 | 0,001 | 0,059 | 0,004 | 0,007 | 6,02 | - | |
| | B | 0,003 | 0,003 | 0,001 | 0,003 | 0,002 | 0,056 | 0,006 | 0,006 | 1,57 | - | |
| | C | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | 0,003 | 0,057 | 0,005 | 0,006 | 6,18 | - | |
| | D | 0,002 | 0,004 | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,018 | 0,006 | 0,007 | 3,15 | - | |
| | E | 0,003 | 0,005 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,051 | 0,008 | 0,005 | 3,13 | - | |
| | F | 0,002 | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | *0,012 | 0,005 | 0,006 | 4,24 | - | |
| | G | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | *0,139 | 0,006 | 0,006 | 4,35 | - | |
| | H | *0,023 | 0,005 | 0,003 | 0,002 | 0,002 | 0,062 | *0,028 | 0,007 | 3,12 | - | |
| | I | 0,003 | *0,012 | 0,002 | 0,001 | 0,003 | 0,054 | 0,015 | 0,006 | 3,85 | - | |
| | J | 0,008 | 0,003 | *0,009 | 0,002 | 0,001 | 0,056 | 0,011 | *0,012 | 11,81 | - | |
| | K | 0,004 | 0,002 | 0,002 | *0,009 | 0,003 | 0,030 | 0,006 | *0,014 | 9,91 | - | |
| | L | 0,003 | 0,006 | 0,002 | 0,003 | *0,007 | 0,061 | 0,009 | *0,012 | 3,17 | - | |
| | M | 0,018 | 0,009 | 0,003 | 0,001 | 0,002 | 0,060 | *0,027 | 0,005 | 3,14 | - | |
| | N | 0,005 | 0,003 | 0,004 | 0,004 | 0,005 | 0,030 | 0,008 | *0,013 | 10,06 | - | |

El signo * indica que se salen de las condiciones reguladas por la presente invención.

ES 2 534 043 T3

5 Se calienta el lingote así obtenido a 1160°C y entonces se forja en caliente, de modo que la temperatura de acabado es de 1000°C para formar un material de plancha que tiene un grosor de 15 mm. Después del forjado en caliente se deja enfriar el material de plancha en el aire.

10 De la porción central en la dirección del grosor del material de plancha de 15 mm de grosor resultante del forjado recién mencionado se produce una probeta en forma de barra redonda para el ensayo de tracción, que tiene un diámetro de 10 mm y una longitud de 130 mm, por mecanizado del material de plancha en sentido paralelo a la dirección longitudinal y se emplea la probeta del ensayo de tracción para evaluar la mecanizabilidad en caliente. Es decir, se evalúa la ductilidad a temperatura elevada realizando un ensayo de tracción de alta velocidad a temperaturas elevadas.

15 De modo específico se calienta dicha probeta de ensayo de tracción en forma de barra redonda a 1180°C, se mantiene durante 3 minutos y después se realiza un ensayo de tracción de alta velocidad estirando a razón de 10/s. Se evalúa la mecanizabilidad en caliente a 1180°C determinando la reducción del área de la superficie de rotura después del ensayo.

20 Además se calienta dicha probeta del ensayo de tracción en forma de barra redonda a 1180°C, se mantiene durante 3 minutos y a continuación se enfría a 950°C a razón de 100°C/min y seguidamente se realiza el ensayo de tracción de alta velocidad estirando a razón de 10/s. Se evalúa la mecanizabilidad en caliente a 950°C determinando la reducción del área de la superficie de rotura después del ensayo.

25 Además empleando el material de plancha de 15 mm de grosor resultante de dicho forjado en caliente se lleva a cabo un tratamiento térmico de reblandecimiento a 1100°C y después se somete el material de plancha a una laminación en frío de modo que el grosor del mismo queda en 10 mm y después se enfría con agua el material de plancha laminado en frío después de mantenerlo a 1180°C durante 30 minutos.

30 Empleando una parte del material de plancha de 10 mm de grosor recién descrito, enfriado con agua después de mantenerlo a 1180°C durante 30 minutos y de la porción central en la dirección del grosor de la parte, por mecanizado de la parte en paralelo a la dirección longitudinal se producen una probeta para el ensayo de tracción en forma de barra redonda que tiene un diámetro de 6 mm y una longitud calibrada de 30 mm y una probeta de ensayo con entalla en forma de V que tiene una anchura de 5 mm, una altura de 10 mm y una longitud de 55 mm, que está especificada en la norma JIS Z 2242(2005). Se realiza un ensayo de tracción a temperatura ambiente con dicha probeta de ensayo de tracción con el fin de medir el alargamiento y evaluar la ductilidad y se realiza un ensayo de impacto Charpy a 0°C con la probeta de ensayo que tiene la entalla en forma de V con el fin de medir el valor de impacto y evaluar la tenacidad.

40 Además, de dicha porción central en la dirección del grosor del mismo material de plancha se prepara una probeta de ensayo de tracción en forma de barra redonda, que tiene un diámetro de 6 mm y una longitud de 30 mm, por mecanizado del material de plancha en paralelo a la dirección longitudinal; se emplea la probeta del ensayo de tracción para realizar un ensayo de rotura por fluencia.

45 El ensayo de rotura por fluencia se lleva a cabo en el aire entre 750°C y 800°C y por generalización de la resistencia a la rotura obtenida empleando el método de parámetro de Larson-Miller se determina la resistencia a la rotura a 750°C en 10.000 horas.

50 Además se enfría el resto del material de plancha de 10 mm de grosor, enfriado con agua después de mantenerlo a 1180°C durante 30 minutos, y se somete a un tratamiento de envejecimiento en el que dicho material de plancha se mantiene a 750°C durante 10.000 horas y después se enfría con agua.

55 De la porción central en la dirección del grosor de dicho material de placa de 10 mm de grosor, enfriado con agua después del tratamiento de envejecimiento, se prepara en paralelo a la dirección longitudinal una probeta de ensayo de tracción en forma de barra redonda, que tiene un diámetro de 6 mm y una longitud de 40 mm. Se lleva a cabo un ensayo de tracción a temperatura ambiente con dicha probeta de ensayo de tracción con el fin de medir el alargamiento y evaluar la ductilidad.

60 Además, a partir de la porción central en dirección del grosor del mismo material de plancha sometido a dicho tratamiento de envejecimiento se prepara en paralelo a la dirección longitudinal una probeta de ensayo con entalla en forma de V que tiene una anchura de 5 mm, una altura de 10 mm y una longitud de 55 mm, que está especificada en la norma JIS Z 2242(2005) y se realiza un ensayo de impacto según Charpy con la probeta de ensayo con el fin de medir el valor de impacto y evaluar la tenacidad.

Los resultados de los ensayos recién descritos se recogen en la tabla 3

Tabla 3

| ensayo n° | aleación | reducción de área a 1180°C (%) | reducción de área a 950°C (%) | resistencia rotura fluencia a 750°Cx10000 h (MPa) | valor de alargamiento en ensayo de tracción según Charpy | | | | Nota |
|-----------|----------|--------------------------------|-------------------------------|---|--|---|------------------------------|--------------------------------|------|
| | | | | | antes del envejecimiento (d/cm ²) | después del envejecimiento (J/cm ²) | antes del envejecimiento (%) | después del envejecimiento (%) | |
| 1 | 1 | 91,2 | 87,3 | 165,2 | 265 | 71 | 64 | 41 | |
| 2 | 2 | 86,5 | 84,1 | 171,0 | 257 | 64 | 60 | 39 | |
| 3 | 3 | 82,3 | 78,2 | 175,8 | 249 | 60 | 61 | 38 | |
| 4 | 4 | 89,5 | 83,2 | 168,4 | 258 | 66 | 58 | 38 | |
| 5 | 5 | 88,4 | 84,0 | 170,2 | 262 | 68 | 59 | 40 | |
| 6 | 6 | 86,9 | 81,4 | 171,5 | 256 | 60 | 58 | 37 | |
| 7 | 7 | 82,4 | 82,5 | 170,8 | 254 | 58 | 60 | 40 | |
| 8 | 8 | 81,0 | 75,1 | 172,4 | 247 | 57 | 56 | 37 | |
| 9 | 9 | 82,1 | 84,6 | 174,5 | 253 | 55 | 58 | 38 | |
| 10 | 10 | 83,6 | 82,9 | 173,2 | 252 | 58 | 60 | 41 | |
| 11 | 11 | 82,4 | 72,6 | 173,0 | 245 | 52 | 58 | 38 | |
| 12 | 12 | 80,2 | 79,7 | 171,3 | 248 | 60 | 37 | 37 | |
| 13 | 13 | 88,2 | 84,2 | 169,8 | 256 | 62 | 59 | 40 | |
| 14 | 14 | 87,8 | 82,4 | 169,6 | 260 | 69 | 62 | 43 | |
| 15 | 15 | 82,7 | 76,2 | 175,1 | 249 | 54 | 56 | 37 | |
| 16 | *A | 68,2 | 83,8 | 164,2 | 260 | 66 | 61 | 39 | |
| 17 | *B | 93,0 | 89,1 | 154,2 | 263 | 74 | 63 | 44 | |
| 18 | *C | 68,8 | 83,2 | 159,4 | 259 | 64 | 58 | 37 | |
| 19 | *D | 91,4 | 67,4 | 158,1 | 255 | 62 | 57 | 38 | |
| 20 | *E | 90,5 | 64,8 | 157,9 | 257 | 63 | 60 | 37 | |
| 21 | *F | 89,3 | 65,5 | 163,7 | 260 | 65 | 61 | 39 | |
| 22 | *G | 69,4 | 68,2 | 164,0 | 261 | 66 | 41 | 15 | |
| 23 | *H | 89,7 | 84,1 | 165,0 | 251 | 19 | 59 | 15 | |
| 24 | *I | 84,2 | 80,8 | 171,2 | 250 | 28 | 60 | 14 | |
| 25 | *J | 81,7 | 82,0 | 168,9 | 252 | 21 | 57 | 11 | |
| 26 | *K | 80,1 | 72,9 | 171,7 | 243 | 25 | 55 | 14 | |
| 27 | *L | 89,3 | 85,3 | 164,8 | 250 | 24 | 58 | 16 | |
| 28 | *M | 89,0 | 84,1 | 165,0 | 252 | 18 | 59 | 12 | |
| 29 | *N | 80,2 | 71,8 | 171,7 | 243 | 22 | 56 | 10 | |

El signo * indica que se salen de las condiciones reguladas por la presente invención.

5 De la tabla 3, tomando en consideración los ensayos nº de 1 a 15 empleando las aleaciones de 1 a 15 es evidente que son excelentes todos los parámetros de la resistencia a la rotura por fluencia, la ductilidad y la tenacidad antes y después del envejecimiento a 750°C durante 10.000 horas y la mecanizabilidad en caliente a 1180°C y 950°C.

10 En cambio, tomando en consideración los ensayos nº de 16 a 29 empleando las aleaciones de A a N, que son ejemplos comparativos que se desvían de las condiciones reguladas por la presente invención, aunque la ductilidad y la tenacidad antes del envejecimiento sean equivalentes a las de los ensayos nº de 1 a 15 recién mencionados, que pertenecen a los ejemplos de la invención, por lo menos uno de los parámetros de la resistencia a la rotura por fluencia, la ductilidad y la tenacidad después del envejecimiento y la mecanizabilidad en caliente es peor que los de dichos ensayos nº de 1 a 15, es decir, en el caso del ensayo nº 16 la aleación A contiene Mo y tiene casi el mismo valor que el de la aleación 2 empleada para el ensayo nº 2 en el equivalente de Mo representado por la fórmula de [Mo + 0,5 x W] y otros elementos constitutivos en casi la misma cantidad que en dicha aleación 2. Sin embargo, dicha aleación A no contiene W; y por lo tanto, la resistencia a la rotura por fluencia y la ductilidad a una temperatura elevada de 1180°C son bajas.

20 En el caso del ensayo nº 17, la composición química de la aleación B es casi equivalente a la de la aleación 1, empleada en el ensayo nº 1. Sin embargo, el contenido de W de dicha aleación B es del "3,13 %", que es inferior al valor regulado por la presente invención; y por lo tanto la resistencia a la rotura por fluencia es baja.

25 En el caso del ensayo nº 18, la composición química de la aleación C es casi equivalente a la de la aleación 2, empleada en el ensayo nº 2. Es decir, el equivalente de Mo de la aleación C, representada por la fórmula de [Mo + 0,5 x W], es casi la misma que la de la aleación 2. Sin embargo, dicha aleación C contiene Mo y por lo tanto el contenido de W de la misma es "2,26 %", que es inferior al valor regulado por la presente invención y por ello en el caso del ensayo nº 18, la resistencia a la rotura por fluencia y la ductilidad a temperatura elevada a 1180°C son bajas.

30 En el caso del ensayo nº 19, la composición química de la aleación D es casi equivalente a la de la aleación 1, empleada en el ensayo nº 1. Sin embargo, dicha aleación D no contiene B; y por lo tanto, la resistencia a la rotura por fluencia y la ductilidad a temperatura elevada a 950°C son bajas.

35 En el caso del ensayo nº 20, la composición química de la aleación E es casi equivalente a la de la aleación 1, empleada en el ensayo nº 1. Sin embargo, dicha aleación E no contiene Nd; y por lo tanto, la resistencia a la rotura por fluencia y la ductilidad a temperatura elevada a 950°C son bajas.

40 En el caso del ensayo nº 21, la composición química de la aleación F es casi equivalente a la de la aleación 4, empleada en el ensayo nº 4. Sin embargo, el valor representado por la fórmula de [Nd + 13,4 x B] es inferior al valor regulado por la presente invención; y por lo tanto la resistencia a la rotura por fluencia y la ductilidad a temperatura elevada a 950°C son bajas.

45 En el caso del ensayo nº 22, la composición química de la aleación G es casi equivalente a la de la aleación 5, empleada en el ensayo nº 5. Sin embargo, el valor representado por la fórmula de [Nd + 13,4 x B] es mayor que el valor regulado por la presente invención; y por lo tanto la resistencia a la rotura por fluencia y la ductilidad a temperatura elevada a 1180°C y a 950°C son bajas.

50 En el caso del ensayo nº 23, la composición química de la aleación H es casi equivalente a la de la aleación 1, empleada en el ensayo nº 1. Sin embargo, el contenido de Sn y el valor representado por la fórmula de [Sn + Pb] son mayores que los regulados por la presente invención; y por lo tanto el alargamiento y el valor de impacto después del envejecimiento a 750°C durante 10.000 horas son notablemente bajos.

55 En el caso del ensayo nº 24, la composición química de la aleación I es casi equivalente a la de la aleación 6, empleada en el ensayo nº 6. Sin embargo, el contenido de Pb superior al regulado por la presente invención; y por lo tanto el alargamiento y el valor de impacto después del envejecimiento a 750°C durante 10.000 horas son notablemente bajos.

60 En el caso del ensayo nº 25, la composición química de la aleación J es casi equivalente a la de la aleación 7, empleada en el ensayo nº 7. Sin embargo, el contenido de Sb y el valor representado por la fórmula de [Sb + Zn + As] son superiores a los regulados por la presente invención; y por lo tanto el alargamiento y el valor de impacto después del envejecimiento a 750°C durante 10.000 horas son notablemente bajos.

65 En el caso del ensayo nº 26, la composición química de la aleación K es casi equivalente a la de la aleación 8, empleada en el ensayo nº 8. Sin embargo, el contenido de Zn y el valor representado por la fórmula de [Sb + Zn + As] son superiores a los regulados por la presente invención; y por lo tanto el alargamiento y el valor de impacto después del envejecimiento a 750°C durante 10.000 horas son notablemente bajos.

5 En el caso del ensayo nº 27, la composición química de la aleación L es casi equivalente a la de la aleación 1, empleada en el ensayo nº 1. Sin embargo, el contenido de As y el valor representado por la fórmula de [Sb + Zn + As] son superiores a los regulados por la presente invención; y por lo tanto el alargamiento y el valor de impacto después del envejecimiento a 750°C durante 10.000 horas son notablemente bajos.

10 En el caso del ensayo nº 28, la composición química de la aleación M es casi equivalente a la de la aleación 1, empleada en el ensayo nº 1. Sin embargo, el valor representado por la fórmula de [Sn + Pb] es superior al regulado por la presente invención; y por lo tanto el alargamiento y el valor de impacto después del envejecimiento a 750°C durante 10.000 horas son notablemente bajos.

15 En el caso del ensayo nº 29, la composición química de la aleación N es casi equivalente a la de la aleación 8, empleada en el ensayo nº 8. Sin embargo, el valor representado por la fórmula de [Sb + Zn + As] es superior al regulado por la presente invención; y por lo tanto el alargamiento y el valor de impacto después del envejecimiento a 750°C durante 10.000 horas son notablemente bajos.

APLICABILIDAD INDUSTRIAL

20 La aleación basada en el Ni resistente al calor de la presente invención es una aleación, con la que puede lograrse una resistencia mecánica mucho mayor que con la aleación convencional basada en el Ni resistente al calor, la ductilidad y la tenacidad después de un largo período de uso a temperatura elevada se mejoran de forma notable y además la temperatura de ductilidad cero y la mecanizabilidad en caliente se siguen mejorando también. Por lo tanto, esta aleación basada en el Ni resistente al calor puede emplearse de modo conveniente como material para tuberías, material para planchas gruesas, para elementos de presión resistente al calor, como material en barra, 25 como material para forjado y similares, para calderas de generación de electricidad, para plantas de la industria química y similares.

REIVINDICACIONES

1. Una aleación basada en el Ni resistente al calor, que contiene, en porcentaje en peso, el C: menos del 0,08 %, Si: 1 % o menos, Mn: 1 % o menos, Cr: de no menos del 15 % a menos del 28 %, Fe: 15 % o menos, W: de más del 5 % a no más del 20 %, Al: de más del 0,5 % a no más del 2 %, Ti: de más del 0,5 % a no más del 1,7 %, Nd: del 0,001 al 0,1 % y B: del 0,0005 al 0,01 %, y que opcionalmente puede contener Mo: 15 % o menos, Co: 20 % o menos, Nb: 1,0 % o menos, V: 1,5 % o menos, Zr: 0,2 % o menos, Hf: 1 % o menos, 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, Ta: 8 % o menos y Re: 8 % o menos, el resto está formado por el Ni y las impurezas, en las que los contenidos de P, S, Sn, Pb, Sb, Zn y As de dichas impurezas son P: 0,03 % o menos, S: 0,01 % o menos, Sn: 0,020 % o menos, Pb: 0,010 % o menos, Sb: 0,005 % o menos, Zn: 0,005 % o menos y As: 0,005 % o menos y además cumple las siguientes fórmulas de (1) a (3):

$$0,015 \leq Nd + 13,4 \times B \leq 0,13 \quad (1),$$

$$Sn + Pb \leq 0,025 \quad (2),$$

$$Sb + Zn + As \leq 0,010 \quad (3);$$

en la que cada símbolo de elemento de las fórmulas de (1) a (3) representa el contenido del elemento en cuestión en porcentaje en peso,

en la que la aleación basada en el Ni resistente al calor contiene, en porcentaje en peso, uno o más elementos de uno o más grupos elegidos entre los siguientes grupos de <1> a <3>:

<1> V: de no menos del 0,02 % al 1,5 % o menos, Zr: de no menos del 0,005 % al 0,2 % o menos y Hf: de no menos del 0,005 % al 1 % o menos,

<2> Mg: de no menos del 0,0005 % al 0,05 % o menos, Ca: de no menos del 0,0005 % al 0,05 % o menos, Y: de no menos del 0,0005 % al 0,5 % o menos, La: de no menos del 0,0005 % al 0,5 % o menos y Ce: de no menos del 0,0005 % al 0,5 % o menos,

<3> Ta: de no menos del 0,01 % al 8 % o menos y Re: de no menos del 0,01 % al 8 % o menos.

2. La aleación basada en el Ni resistente al calor según la reivindicación 1, que contiene, en porcentaje en peso, uno o más elementos de no menos del 3 % al 15 % o menos de Mo que cumple la siguiente fórmula (4) y de más del 5 % al 20 % o menos de Co:

$$Mo + 0,5 \times W \leq 18 \quad (4);$$

en la que cada símbolo de elemento de la fórmula (4) representa el contenido en porcentaje en peso del elemento en cuestión.

3. La aleación basada en el Ni resistente al calor según la reivindicación 1 ó 2, en la que el contenido de Ni es superior al 60 % en peso.