

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 759 543**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/52</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/58</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/54</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/06</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/42</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/44</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/46</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/48</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/50</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.06.2016 PCT/JP2016/066458**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **05.01.2017 WO17002523**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.06.2016 E 16817632 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2019 EP 3318650**

54 Título: **Aleación austenítica resistente al calor y estructura soldada**

30 Prioridad:

**01.07.2015 JP 2015132552**

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

**11.05.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HIRATA, HIROYUKI;  
SEMBA, HIROYUKI;  
JOTOKU, KANA;  
ISEDA, ATSURO;  
ONO, TOSHIHIDE y  
TANAKA, KATSUKI**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

**ES 2 759 543 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 austenítica resistente al calor y estructura soldada

**5 Campo técnico**

La presente invención se refiere a una aleación austenítica resistente al calor y a una estructura soldada que incluye esta aleación.

**10 Antecedentes**

En los últimos años, se han hecho esfuerzos a nivel mundial para elevar las temperaturas y presiones del vapor durante la operación de calderas de potencia térmica o similares a fin de reducir las descargas al medioambiente. Los materiales usados en tubos sobrecalentadores o tubos recalentadores han de tener una resistencia a las altas temperaturas y una resistencia a la corrosión elevadas.

Para cumplir estos requisitos, se han divulgado varias aleaciones austeníticas resistentes al calor que contienen grandes cantidades de nitrógeno.

20 Por ejemplo, el documento JP 2004-250783 A propone un acero inoxidable austenítico con una resistencia a las altas temperaturas y una resistencia a la corrosión mejoradas, en el que el contenido de N es de un 0,1 a un 0,35 % y el contenido de Cr es superior al 22 % e inferior al 30 %, y especifica una microestructura metálica.

25 El documento JP 2009-084606 A propone un acero inoxidable austenítico con una resistencia a las altas temperaturas y una resistencia a la corrosión mejoradas, en el que el contenido de N es de un 0,1 a un 0,35 % y el contenido de Cr es superior al 22 % e inferior al 30 %, y especifica los elementos de las impurezas.

30 El documento JP 2012-1749 A divulga un acero austenítico resistente al calor una resistencia a las altas temperaturas y una operabilidad en caliente mejoradas, que contiene de un 0,09 a un 0,30 % de N y tiene grandes cantidades de Mo y W en adición compuesta.

El documento WO 2009/044796 A1 divulga un acero inoxidable austenítico de gran resistencia que contiene de un 0,03 a un 0,35 % de N y uno o más de Nb, V y Ti.

35 El documento JP2013-044013 divulga un acero inoxidable austenítico de alta resistencia resistente al calor que incluye, en % en masa, C: un 0,02-0,08 %, Si: superior a 0,3-0,8 %, Mn: 0,6-2,0 %, P:  $\leq 0,04$  %, S:  $\leq 0,010$  %, Ni: superior a 15-26 %, Cr: 18-23 %, W: 1,8-4,2 %, Mo:  $\leq 0,5$  %, Nb: 0,2-0,5 %, Al: 0,001-0,040 %, N: 0,07-0,13 %, siendo el resto Fe y las impurezas inevitables, y que cumple las siguientes fórmulas (1) y (2).

$$W+2Mo = 2,8 \text{ a } 4,2 \% (1).$$

$$Ni+27C+23N+0,2Mn+0,3Cu-1,2(Cr+Mo+0,5W)-0,5Si-0,3Nb+10 \geq 9,5 \% (2)$$

40 El documento JP2013-067843 divulga un acero inoxidable austenítico de alta resistencia resistente al calor que contiene, en % en masa, un 0,02-0,08 % de C,  $> 0,3-0,8$  % de Si, 0,6-2,0 % de Mn,  $\leq 0,040$  % de P,  $\leq 0,005$  % de S,  $> 15-26$  % de Ni, 18-23 % de Cr, 1,8-4,2 % de W,  $\leq 0,5$  % de Mo, 0,2-0,5 % de Nb, 0,001-0,040 % de Al, 0,07-0,13 % de N,  $< 0,001$  % de B, siendo el resto Fe y las impurezas inevitables, y que cumple las tres fórmulas siguientes:  $0,05 \% \leq Nb-0,031(C+N) \leq 0,15 \%$ ;  $2,8 \% \leq W+2Mo \leq 4,2 \%$ ; y  $9,5 \% \leq Ni+27C+23N+0,2Mn+0,3Cu-1,2(Cr+Mo+0,5W)-0,5Si-0,3Nb+10$  %.

50 El documento JPS63-183155 divulga la preparación de una aleación que tiene una composición que consiste, en peso, en un 0,02-0,2 % de C, 0,3-1,5 % de Si, 0,3-1,5 % de Mn, 18-30 % de Cr, 20-50 % de Ni, 0,5-5,0 % de Mo, 1,0-5,0 % de W, 0,05-0,4 % de Nb, 0,01-0,2 % de Ti, 0,003-0,008 % de B,  $\leq 0,04$  % de P,  $\leq 0,005$  % de S, 0,02-0,3 % de N, siendo el resto Fe y las impurezas inevitables, y en la que se cumple  $Mo+W \leq 6,0$  %.

55 El documento JP H11-277292 divulga un acero que contiene, en peso, un 0,03-0,13 % de C, 0,2-4 % de Mn, 1-5 % de Cu, 15/25 % de Ni, 15-25 % de Cr, 0,5-3 % de W, 0,15-1,5 de Nb, 0,1-0,35 % de N, 0,001-0,01 % de B,  $\leq 0,01$  % de Al,  $\leq 0,01$  % de O, 0-1,5 % de Mo, 0-0,01 de Ca, 0-0,01 % de Mg, 0-0,02 % de Zr, 0-0,02 % de Hf y 0,02 % de Ta. En este caso, el Si y el Nb cumplen la fórmula,  $Si \leq 0,2Nb+0,25$ , y también el Ni, el Cu y el Cr cumplen la fórmula  $0,7 \leq (Ni+Cu)/Cr \leq 1,4$ .

**60 Descripción de la invención**

Estas aleaciones austeníticas resistentes al calor se sueldan habitualmente para ensamblaje y se usan después a altas temperaturas. Sin embargo, cuando se usan estructuras soldadas que emplean aleaciones austeníticas

resistentes al calor con altos contenidos de N a altas temperaturas durante un periodo de tiempo prolongado, se pueden producir grietas denominadas grietas de deformación por endurecimiento inducido por precipitación (SIPH) en las zonas afectadas por el calor de la soldadura.

- 5 El documento WO 2009/044796 A1 comentado previamente indica que la limitación de las cantidades de los elementos que causan la fragilidad de los límites de los granos y de los elementos que refuerzan los interiores de los granos a determinados intervalos, previene el agrietamiento que podría producirse durante el uso a lo largo de un periodo de tiempo prolongado. De hecho, estos materiales evitan el agrietamiento en determinadas condiciones.
- 10 Sin embargo, en los últimos años, se ha extendido el uso de aleaciones austeníticas resistentes al calor con cantidades elevadas de W, Mo, etc. añadidos a las mismas a fin de mejorar adicionalmente propiedades tales como la resistencia a las altas temperaturas. Para algunas condiciones de soldadura, formas y tamaños de las estructuras, por ejemplo, estas aleaciones austeníticas resistentes al calor puede que no eviten el agrietamiento de una manera estable. Más específicamente, puede que no eviten el agrietamiento de una manera estable para aportes de calor de soldadura grandes, espesores de placas pesadas o temperaturas de uso elevadas tal como por encima de 650 °C.
- 15

Un objeto de la presente invención es proporcionar una aleación austenítica resistente al calor que proporcione una buena resistencia al agrietamiento y una buena resistencia a las altas temperaturas de una manera estable.

- 20 Una aleación austenítica resistente al calor de acuerdo con una realización de la presente invención tiene una composición química, en % en masa, de: un 0,04 a un 0,14 % de C; de un 0,05 a un 1 % de Si; de un 0,5 a un 2,5 % de Mn; hasta un 0,03 % de P; menos de un 0,001 % de S; de un 23 a un 32 % de Ni; de un 20 a un 25 % de Cr; de un 1 a un 5 % de W; de un 0,1 a un 0,6 % de Nb; de un 0,12 a un 0,6 % de V; de un 0,1 a un 0,3 % de N; de un 0,0005 a un 0,01 % de B; de un 0,001 a un 0,02 % de Sn; hasta un 0,03 % de Al; hasta un 0,02 % de O; de un 0 a un 0,5 % de Ti; de un 0 a un 2 % de Co; de un 0 a un 4 % de Cu; de un 0 a un 4 % de Mo; de un 0 a un 0,02 % de Ca; de un 0 a un 0,02 % de Mg; de un 0 a un 0,2 % de REM; siendo el resto Fe e impurezas, teniendo la aleación una microestructura con un tamaño de grano, representado por el número de tamaño de grano de acuerdo con la norma ASTM E112, de 2,0 o superior e inferior a 7,0.
- 25

- 30 La presente invención proporciona una aleación austenítica resistente al calor que confiere una buena resistencia al agrietamiento y una buena resistencia a las altas temperaturas de una manera estable.

#### Breve descripción de las figuras

- 35 La Figura 1 es una vista transversal de un bisel producido en los Ejemplos que muestra la forma de la ranura del mismo.

#### Realizaciones para llevar a cabo la invención

- 40 Los presentes inventores llevaron a cabo una investigación detallada para resolver los problemas comentados previamente y revelaron los siguientes descubrimientos.

- Los inventores investigaron minuciosamente las grietas SIPH que se producían durante el uso en juntas soldadas que empleaban aleaciones austeníticas resistentes al calor con altos contenidos de N. Descubrieron que (1) aparecían grietas a lo largo de los límites de los granos en las zonas afectadas por el calor de la soldadura con granos gruesos cerca de las líneas de fusión, y (2) se detectaba una clara concentración de S sobre las superficies fracturadas de las grietas. Descubrieron además que (3) habían precipitado grandes cantidades de nitruros y carbonitruros dentro de los granos cerca de las grietas. Esto era particularmente significativo para altos contenidos de Nb. Adicionalmente, descubrieron (4) que cuanto mayor era el tamaño de grano inicial de la aleación austenítica resistente al calor usada, mayor era el tamaño de grano en las zonas afectadas por el calor de la soldadura y mayor la probabilidad de que se produjera un agrietamiento.
- 45
- 50

- A partir de estos descubrimientos, los inventores asumieron que las grietas SIPH se producían debido a las grandes cantidades de nitruros y carbonitruros que precipitaban dentro de los granos durante el uso a altas temperaturas y, por tanto, era menos probable que se deformaran los interiores de los granos, lo que llevaba a una concentración de deformaciones por fluencia lenta sobre los límites de los granos y finalmente a aberturas. El S se separa sobre los límites de los granos durante la soldadura o durante el uso y, por tanto, disminuye la fuerza de unión de los límites de los granos. Asimismo, cuanto mayor el tamaño de grano, menor es el área de los límites de los granos por unidad de volumen. Los límites de los granos funcionan como sitios para producir núcleos para las partículas de nitruros y carbonitruros. Así, cuanto menores los límites de los granos, mayores son las cantidades de nitruros y carbonitruros que precipitan dentro de los granos. Además, las deformaciones por fluencia lenta que son causadas por fuerzas externas aplicadas durante el uso, por ejemplo tensiones residuales de soldadura, es menos probable que se concentren sobre determinados límites de los granos. Por tanto, los inventores concluyeron que cuanto mayor es el tamaño de grano inicial del material de base, mayor es la probabilidad de que se produzca un agrietamiento. En particular, concluyeron que, a altas temperaturas por encima de 650 °C, los precipitados se depositan en cortos intervalos de tiempo y, además, se produce la separación en los límites de los granos en fases tempranas, lo que
- 55
- 60
- 65

hace más evidentes los problemas.

Para evitar tal agrietamiento, es eficaz la reducción de los elementos que aumentan la resistencia a la deformación dentro de los granos empleando el endurecimiento por precipitación o el endurecimiento por soluto. Sin embargo, estos elementos son indispensables para proporcionar una suficiente resistencia a la deformación por fluencia lenta a altas temperaturas. Así pues, la prevención de las grietas y la provisión de suficiente resistencia a la deformación por fluencia lenta a altas temperaturas son una a costa de la otra y son difíciles de conseguir al mismo tiempo.

Tras una amplia investigación, los inventores revelaron que, a fin de evitar un agrietamiento SIPH en una aleación austenítica resistente al calor que contiene de un 0,04 a un 0,14 % de C, de un 0,05 a un 1 % de Si, de un 0,5 a un 2,5 % de Mn, hasta un 0,03 % de P, de un 23 a un 32 % de Ni, de un 20 a un 25 % de Cr, de un 1 a un 5 % de W, de un 0,1 a un 0,3 % de N, de un 0,0005 a un 0,01 % de B, hasta un 0,03 % de Al, hasta un 0,02 % de O, es eficaz controlar exactamente que los contenidos de Nb y S se encuentren en el intervalo de un 0,1 a un 0,6 % y por debajo del 0,001 %, respectivamente, y que tenga un tamaño de grano inicial del material de base, representado por el número de tamaño de grano definido por la Sociedad Estadounidense para Materiales y Ensayos (ASTM), de 2,0 o superior. Sin embargo, si el tamaño de grano es más fino que el necesario y el contenido de Nb es limitado, la resistencia a la deformación por fluencia lenta del material de base no alcanza el valor especificado. Así, los inventores encontraron que el tamaño de grano, representado por el número de tamaño de grano, ha de ser inferior a 7,0. Adicionalmente, revelaron que el V, que tiene una propiedad de menor endurecimiento por precipitación que el Nb, a un contenido de un 0,12 a un 0,6 %, es necesario para conseguir una resistencia a la deformación por fluencia lenta predeterminada sin perjudicar la resistencia al agrietamiento SIPH.

Aunque los inventores determinaron que estas etapas prevenían de hecho el agrietamiento SIPH, descubrieron durante la investigación que podía surgir otro problema.

Tal como se ha comentado previamente, las aleaciones austeníticas resistentes al calor se sueldan generalmente para ensamblaje. Cuando se sueldan, se usa normalmente un material de carga. Sin embargo, para piezas pequeñas con un espesor de pared fino, o incluso para componentes con espesores de pared gruesos para pasada de raíz o soldadura discontinua, se puede llevar a cabo una soldadura por arco en atmósfera gaseosa sin usar un material de carga. Si la profundidad de penetración es insuficiente en este momento, las superficies no soldadas limitantes permanecen como defectos de la soldadura, y no se puede conseguir la resistencia requerida de una junta soldada. Aunque el S reduce la resistencia al agrietamiento SIPH, el S tiene el efecto de aumentar la profundidad de penetración. Así pues, los inventores descubrieron que el problema de una profundidad de penetración insuficiente tiende a ser evidente si el contenido de S se controla exactamente para que sea inferior al 0,001 % a fin de abordar el problema de la resistencia al agrietamiento SIPH.

Para evitar una profundidad de penetración insuficiente, se puede aumentar simplemente el aporte de calor de soldadura. Sin embargo, el aumento del aporte de calor de soldadura hace que los granos sean más gruesos en las zonas afectadas por el calor de la soldadura, y los inventores no pudieron evitar el agrietamiento SIPH incluso cuando el tamaño de grano inicial del material de base tenía número de tamaño de grano de 2,0 o superior.

Tras una investigación adicional, los inventores descubrieron que, a fin de evitar una profundidad de penetración insuficiente de una manera estable, es eficaz tener un contenido de Sn en el intervalo de un 0,001 a un 0,02 %. Concluyeron que esto es debido a que el Sn se puede evaporar rápidamente de la superficie del baño de fusión durante la soldadura e ionizar en el arco para contribuir a la formación de un flujo de cargas eléctricas, aumentando así la densidad de corriente del arco.

La presente invención se realizó basándose en los descubrimientos comentados previamente. A continuación se describirá con detalle una aleación austenítica resistente al calor de acuerdo con una realización de la presente invención.

[Composición química]

La aleación austenítica resistente al calor de acuerdo con la presente realización tiene la composición química que se describe a continuación. En la siguiente descripción, "%" en el contenido de un elemento significa porcentaje en masa.

C: de un 0,04 a un 0,14 %

El carbono (C) estabiliza la microestructura austenítica y forma finas partículas de carburo para mejorar la resistencia a la deformación por fluencia lenta durante su uso a altas temperaturas. Es necesario que la aleación contenga un 0,04 % o más de C a fin de que estos efectos estén suficientemente presentes. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de C, precipitan grandes cantidades de carburos, lo que reduce la resistencia al agrietamiento SIPH. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 0,14 %. El límite inferior del contenido de C es preferentemente de un 0,05 % y, más preferentemente, de un 0,06 %. El límite superior del contenido de C es preferentemente de un 0,13 % y, más preferentemente, de un 0,12 %.

Si: de un 0,05 a un 1 %

5 El silicio (Si) tiene un efecto desoxidante y es eficaz en la mejora de la resistencia a la corrosión y la resistencia a la oxidación a altas temperaturas. Es necesario que la aleación contenga un 0,05 % o más de Si a fin de que estos efectos estén suficientemente presentes. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de Si, la estabilidad de la microestructura disminuye, lo que reduce la tenacidad y la resistencia a la deformación por fluencia lenta. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 1 %. El límite inferior del contenido de Si es preferentemente de un 0,08 % y, más preferentemente, de un 0,1 %. El límite superior del contenido de Si es preferentemente de un 0,6 % y, más preferentemente, de un 0,5 %.

Mn: de un 0,5 a un 2,5 %

15 Al igual que el Si, el manganeso (Mn) tiene un efecto desoxidante. El Mn también contribuye a la estabilización de la microestructura austenítica. Es necesario que la aleación contenga un 0,5 % o más de Mn a fin de que estos efectos estén suficientemente presentes. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de Mn esto provoca la fragilidad de la aleación y disminuye la deformación plástica. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 2,5 %. El límite inferior del contenido de Mn es preferentemente de un 0,6 % y, más preferentemente, de un 0,7 %. El límite superior del contenido de Mn es preferentemente de un 2 % y, más preferentemente, de un 1,5 %.

P: hasta un 0,03 %

25 El fósforo (P) está contenido en la aleación como una impureza y, durante la soldadura, se separa sobre los límites de los granos en las zonas afectadas por el calor de la soldadura, aumentando así la susceptibilidad de agrietamiento por licuación. El P disminuye también la deformación plástica tras el uso durante un periodo de tiempo prolongado. En vista de ello, se debe fijar un límite superior para el contenido de P, el cual debe ser de un 0,03 % o inferior. El límite superior del contenido de P es preferentemente de un 0,028 % y, más preferentemente, de un 0,025 %. Es preferente minimizar el contenido de P; no obstante, una reducción excesiva supone un coste mayor de fabricación del acero. En vista de ello, el límite inferior del contenido de P es preferentemente de un 0,0005 % y, más preferentemente de un 0,0008 %.

S: menos de un 0,001 %

35 Al igual que el P, el azufre (S) está contenido en la aleación como una impureza y, durante la soldadura, se separa sobre los límites de los granos en las zonas afectadas por el calor de la soldadura, aumentando así la susceptibilidad de agrietamiento por licuación. El S también se separa sobre los límites de los granos durante el uso a lo largo de un periodo de tiempo prolongado y genera fragilidad, lo que reduce significativamente la resistencia al agrietamiento SIPH. Para evitar estos efectos, dentro de los límites de la composición química de la presente realización, el contenido de S ha de ser inferior a un 0,001 %. El límite superior del contenido de S es preferentemente de un 0,0008 % y, más preferentemente, de un 0,0005 %. Es preferente minimizar el contenido de S; no obstante, una reducción excesiva supone un coste mayor de fabricación del acero. En vista de ello, el límite inferior del contenido de S es preferentemente de un 0,0001 % y, más preferentemente de un 0,0002 %.

Ni: de un 23 a un 32 %

45 El níquel (Ni) es un elemento indispensable para proporcionar una estabilidad suficiente de la fase austenítica durante el uso a lo largo de un periodo de tiempo prolongado. Es necesario que la aleación contenga un 23 % o más de Ni a fin de que estos efectos estén suficientemente presentes dentro de los límites de los contenidos de Cr y W de la presente realización. Sin embargo, el Ni es un elemento costoso y unas grandes cantidades de Ni contenidas significan un mayor coste. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 32 %. El límite inferior del contenido de Ni es preferentemente de un 25 % y, más preferentemente, de un 25,5 %. El límite superior del contenido de Ni es preferentemente de un 31,5 % y, más preferentemente, de un 31 %.

Cr: de un 20 a un 25 %

55 El cromo (Cr) es un elemento indispensable para proporcionar una resistencia a la oxidación y una resistencia a la corrosión suficientes a altas temperaturas. El Cr también forma finas partículas de carburo para proporcionar igualmente una suficiente resistencia a la deformación por fluencia lenta. Es necesario que la aleación contenga un 20 % o más de Cr a fin de que estos efectos estén suficientemente presentes dentro de los límites del contenido de Ni de la presente realización. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de Cr, la estabilidad de la microestructura de la fase austenítica se deteriora a altas temperaturas, lo que disminuye la resistencia a la deformación por fluencia lenta. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 25 %. El límite inferior del contenido de Cr es preferentemente de un 20,5 % y, más preferentemente, de un 21 %. El límite inferior del contenido de Cr es preferentemente de un 24,5 % y, más preferentemente, de un 24 %.

65 W: de un 1 a un 5 %

El tungsteno (W) se disuelve en la matriz o forma compuestos intermetálicos finos para contribuir significativamente a la mejora de la resistencia a la deformación por fluencia lenta y de la resistencia a la tracción a altas temperaturas. Es necesario que la aleación contenga un 1 % o más de W a fin de que estos efectos estén suficientemente presentes. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de W, la resistencia a la deformación dentro de los granos llega a ser elevada y disminuye la resistencia al agrietamiento SIPH y puede aumentar la resistencia a la deformación por fluencia lenta. Además, el W es un elemento costoso y unas grandes cantidades de W contenidas significan un mayor coste. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 5 %. El límite inferior del contenido de W es preferentemente de un 1,2 % y, más preferentemente, de un 1,5 %. El límite superior del contenido de W es preferentemente de un 4,5 % y, más preferentemente, de un 4 %.

Nb: de un 0,1 a un 0,6 %

El niobio (Nb) precipita en forma de finas partículas de carbonitruro MX y, además, precipita en forma de fase Z (CrNbN) dentro de los granos para contribuir significativamente a la mejora de la resistencia a la deformación por fluencia lenta y de la resistencia a la tracción a altas temperaturas. Es necesario que la aleación contenga un 0,1 % o más de Nb a fin de que estos efectos estén suficientemente presentes. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de Nb, la propiedad de endurecimiento de estos precipitados es demasiado elevada, lo que reduce la resistencia al agrietamiento SIPH y causa una disminución de la deformación plástica y la tenacidad. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 0,6 %. El límite inferior del contenido de Nb es preferentemente de un 0,12 % y, más preferentemente, de un 0,15 %. El límite superior del contenido de Nb es preferentemente de un 0,55 % y, más preferentemente, de un 0,5 %.

V: de un 0,12 a un 0,6 %

El vanadio (V) precipita en forma de finas partículas de carbonitruro MX dentro de los granos para contribuir a la mejora de la resistencia a la deformación por fluencia lenta y de la resistencia a la tracción a altas temperaturas. Es necesario que la aleación contenga un 0,1 % o más de V a fin de que estos efectos estén suficientemente presentes. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de V, precipitan grandes cantidades de carbonitruros, lo que reduce la resistencia al agrietamiento SIPH y causa una disminución de la deformación plástica y la tenacidad. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 0,6 %. El límite inferior del contenido de V es preferentemente de un 0,12 % y, más preferentemente, de un 0,15 %. El límite superior del contenido de V es preferentemente de un 0,55 % y, más preferentemente, de un 0,5 %.

N: de un 0,1 a un 0,3 %

El nitrógeno (N) estabiliza la microestructura austenítica y se disuelve en la matriz o precipita en forma de nitruros para contribuir a la mejora de la resistencia a las altas temperaturas. Es necesario que la aleación contenga un 0,1 % o más de N a fin de que estos efectos estén suficientemente presentes. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de N, este se disuelve durante el uso durante un corto periodo de tiempo, o precipitan grandes cantidades de partículas finas de nitruro dentro de los granos durante el uso a lo largo de un periodo de tiempo prolongado, aumentando así la resistencia a la deformación dentro de los granos, lo que reduce la resistencia al agrietamiento SIPH. Asimismo disminuyen la deformación plástica y la tenacidad. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 0,3 %. El límite inferior del contenido de N es preferentemente de un 0,12 % y, más preferentemente, de un 0,14 %. El límite superior del contenido de N es preferentemente de un 0,28 % y, más preferentemente, de un 0,26 %.

B: de un 0,0005 a un 0,01 %

El boro (B) proporciona partículas finas de carburo dispersadas en los límites de los granos para mejorar la resistencia a la deformación por fluencia lenta y se separa sobre los límites de los granos para reforzar los límites de los granos. Es necesario que la aleación contenga un 0,0005 % o más de B a fin de que estos efectos estén suficientemente presentes. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de B, el ciclo térmico de soldadura durante la soldadura hace que una gran cantidad de B se separe en las zonas afectadas por el calor de la soldadura cerca de los límites fundidos hasta reducir el punto de fusión de los límites de los granos, aumentando de este modo la susceptibilidad de agrietamiento por licuación. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 0,01 %. El límite inferior del contenido de B es preferentemente de un 0,0008 % y, más preferentemente, de un 0,001 %. El límite superior del contenido de B es preferentemente de un 0,008 % y, más preferentemente, de un 0,006 %.

Sn: de un 0,001 a un 0,02 %

El estaño (Sn) tiene el efecto de aumentar la profundidad de penetración durante la soldadura mediante evaporación a partir del baño de fusión para aumentar la densidad de corriente del arco. Es necesario que la aleación contenga un 0,001 % o más de Sn a fin de que estos efectos estén suficientemente presentes. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de Sn, la susceptibilidad de agrietamiento por licuación en las zonas afectadas por el calor de la soldadura durante la soldadura y la susceptibilidad de agrietamiento SIPH durante el uso llegan a ser elevadas. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 0,02 %. El límite inferior del contenido de Sn es preferentemente de un

0,0015 % y, más preferentemente, de un 0,002 %. El límite superior del contenido de Sn es preferentemente de un 0,018 % y, más preferentemente, de un 0,015 %.

Al: hasta un 0,03 %

5 El aluminio (Al) tiene un efecto desoxidante. Sin embargo, si la aleación contiene una cantidad excesiva de Al, se deteriora la limpieza de la aleación, lo que disminuye la operabilidad en caliente. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 0,03 %. El límite superior del contenido de Al es preferentemente de un 0,025 % y, más preferentemente, de un 0,02 %. No es necesario fijar un límite inferior; no obstante, cabe señalar que una reducción  
10 excesiva del Al genera un aumento del coste de fabricación del acero. En vista de ello, el límite inferior del contenido de Al es preferentemente de un 0,0005 % y, más preferentemente de un 0,001 %. El Al tal como se usa en el presente documento significa Al soluble en ácido (Al sol.).

O: hasta un 0,02 %

15 El oxígeno (O) está contenido en la aleación como una impureza y tiene el efecto de aumentar la profundidad de penetración durante la soldadura. Sin embargo, si la aleación contiene una cantidad excesiva de O, disminuye la operabilidad en caliente y se deterioran la tenacidad y la ductilidad. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 0,02 %. El límite superior del contenido de O es preferentemente de un 0,018 % y, más preferentemente, de un  
20 0,015 %. No es necesario fijar un límite inferior; no obstante, cabe señalar que una reducción excesiva del O genera un aumento del coste de fabricación del acero. En vista de ello, el límite inferior del contenido de O es preferentemente de un 0,0005 % y, más preferentemente de un 0,0008 %.

25 El resto de la composición química de la aleación austenítica resistente al calor en la presente realización es Fe e impurezas. "Impureza", tal como se usa en el presente documento, significa un elemento que procede de un mineral o escoria usado como materia prima para la aleación resistente al calor que se está fabricando a escala industrial o un elemento que ha entrado desde el entorno o similar durante el proceso de fabricación.

30 En la composición química de la aleación austenítica resistente al calor en la presente realización, parte del Fe puede estar sustituido por uno o más elementos seleccionados de uno de los grupos primero a tercero proporcionados a continuación. Todos los elementos enumerados seguidamente son elementos opcionales. Es decir, ninguno de los elementos enumerados más adelante puede estar contenido en la aleación austenítica resistente al calor de la presente realización. O solo uno o algunos de ellos pueden estar contenidos.

35 Más específicamente, por ejemplo, solamente un grupo se puede seleccionar de entre los grupos primero a tercero y uno o más elementos se pueden seleccionar de este grupo. En este caso, no es necesario seleccionar todos los elementos que pertenecen al grupo seleccionado. Asimismo, una pluralidad de grupos se puede seleccionar de entre los grupos primero a tercero y uno o más elementos se pueden seleccionar de cada uno de estos grupos. Nuevamente, no es necesario seleccionar todos los elementos que pertenecen a los grupos seleccionados.

40 Primer grupo - Ti: de un 0 a un 0,5 %

El elemento que pertenece al primer grupo es el Ti. El Ti mejora la resistencia a la deformación por fluencia lenta de la aleación mediante endurecimiento por precipitación.

45 Ti: de un 0 a un 0,5 %

50 Análogamente al Nb y al V, el titanio (Ti) se combina con el carbono o el nitrógeno para formar partículas finas de carburo o carbonitruro, contribuyendo así a la mejora de la resistencia a la deformación por fluencia lenta. Estos efectos están presentes si la aleación contiene una pequeña cantidad de Ti. Por otro lado, si contiene una cantidad excesiva de Ti, se producen grandes cantidades de precipitados, lo que reduce la resistencia al agrietamiento SIPH y la deformación plástica. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 0,5 %. El límite inferior del contenido de Ti es preferentemente de un 0,01 % y, más preferentemente, de un 0,03 %. El límite superior del contenido de Ti es preferentemente de un 0,45 % y, más preferentemente, de un 0,4 %.

55 Segundo grupo - Co: de un 0 a un 2 %, Cu: de un 0 a un 4 %, Mo: de un 0 a un 4 %

Los elementos que pertenecen al segundo grupo son Co, Cu, y Mo. Estos elementos mejoran la resistencia a la deformación por fluencia lenta de la aleación.

60 Co: de un 0 a un 2 %

65 Análogamente al Ni, el cobalto (Co) es un elemento formador de austenita, y aumenta la estabilidad de la microestructura austenítica para contribuir a la mejora de la resistencia a la deformación por fluencia lenta. Estos efectos están presentes si la aleación contiene una pequeña cantidad de Co. Sin embargo, el Co es un elemento muy costoso y unas grandes cantidades de Co contenidas significan un mayor coste. En vista de ello, el límite

superior debe ser de un 2 %. El límite inferior del contenido de Co es preferentemente de un 0,01 % y, más preferentemente, de un 0,03 %. El límite superior del contenido de Co es preferentemente de un 1,8 % y, más preferentemente, de un 1,5 %.

5 Cu: de un 0 a un 4 %

10 Análogamente al Ni y al Co, el cobre (Cu) estabiliza la microestructura austenítica y precipita en forma de finas partículas durante el uso para contribuir a la mejora de la resistencia a la deformación por fluencia lenta. Estos efectos están presentes si la aleación contiene una pequeña cantidad de Cu. Por otra parte, si contiene una cantidad excesiva de Cu, esto causa una reducción de la operabilidad en caliente. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 4 %. El límite inferior del contenido de Cu es preferentemente de un 0,01 % y, más preferentemente, de un 0,03 %. El límite superior del contenido de Cu es preferentemente de un 3,8 % y, más preferentemente, de un 3,5 %.

15 Mo: de un 0 a un 4 %

20 Análogamente al W, el molibdeno (Mo) se disuelve en la matriz y contribuye a la mejora de la resistencia a la deformación por fluencia lenta y de la resistencia a la tracción a altas temperaturas. Estos efectos están presentes si la aleación contiene una pequeña cantidad de Mo. Por otro lado si contiene una cantidad excesiva de Mo, la resistencia a la deformación dentro de los granos llega a ser elevada y se reduce la resistencia al agrietamiento SIPH y puede aumentar la resistencia a la deformación por fluencia lenta. Además, el Mo es un elemento costoso y unas grandes cantidades de Mo contenidas significan un mayor coste. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 4 %. El límite inferior del contenido de Mo es preferentemente de un 0,01 % y, más preferentemente, de un 0,03 %. El límite superior del contenido de Mo es preferentemente de un 3,8 % y, más preferentemente, de un 3,5 %.

25 Tercer grupo - Ca: de un 0 a un 0,02 %, Mg: de un 0 a un 0,02 %, REM: de un 0 a un 0,2 %

30 Los elementos que pertenecen al tercer grupo son Ca, Mg y REM. Estos elementos mejoran la operabilidad en caliente de la aleación.

Ca: de un 0 a un 0,02 %

35 El calcio (Ca) mejora la operabilidad en caliente durante la fabricación. Este efecto está presente si la aleación contiene una pequeña cantidad de Ca. Por otra parte, si contiene una cantidad excesiva de Ca, este se combina con oxígeno hasta disminuir significativamente la limpieza de la aleación, lo que reduce la operabilidad en caliente. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 0,02 %. El límite inferior del contenido de Ca es preferentemente de un 0,0005 % y, más preferentemente, de un 0,001 %. El límite superior del contenido de Ca es preferentemente de un 0,01 % y, más preferentemente, de un 0,005 %.

40 Mg: de un 0 a un 0,02 %

45 Análogamente al Ca, el magnesio (Mg) mejora la operabilidad en caliente durante la fabricación. Este efecto está presente si la aleación contiene una pequeña cantidad de Mg. Por otra parte, si contiene una cantidad excesiva de Mg, este se combina con oxígeno hasta disminuir significativamente la limpieza de la aleación, lo que reduce la operabilidad en caliente. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 0,02 %. El límite inferior del contenido de Mg es preferentemente de un 0,0005 % y, más preferentemente, de un 0,001 %. El límite superior del contenido de Mg es preferentemente de un 0,01 % y, más preferentemente, de un 0,005 %.

50 REM: de un 0 a un 0,2 %

55 Análogamente al Ca y al Mg, los metales de las tierras raras (REM) mejoran la operabilidad en caliente durante la fabricación. Este efecto está presente si la aleación contiene una pequeña cantidad de REM. Por otra parte, si contiene una cantidad excesiva de REM, estos se combinan con oxígeno hasta disminuir significativamente la limpieza de la aleación, lo que reduce la operabilidad en caliente. En vista de ello, el límite superior debe ser de un 0,2 %. El límite inferior del contenido de REM es preferentemente de un 0,0005 % y, más preferentemente, de un 0,001 %. El límite superior del contenido de REM es preferentemente de un 0,15 % y, más preferentemente, de un 0,1 %.

60 "REM" es un término colectivo para un total de 17 elementos, es decir, Sc, Y y los lantánidos, y el "contenido de REM" es el contenido total de uno o más elementos REM. Los REM están contenidos normalmente en mischmetal. Así, por ejemplo, se puede añadir mischmetal de modo que el contenido de REM esté en el intervalo anteriormente indicado.

65 En particular, el Nd tiene una gran afinidad por el S y el P, y tiene el efecto de reducir la susceptibilidad de agrietamiento por licuación en las soldaduras mediante la formación de sulfuros o fosfuros y, por tanto, es más preferente usar Nd.

[Microestructura]

Número de tamaño de grano: 2,0 o superior e inferior a 7,0.

5 La aleación austenítica resistente al calor de acuerdo con la presente realización tiene una microestructura con un número de tamaño de grano, representado por el número de tamaño de grano de acuerdo con la norma ASTM E112, de 2,0 o superior e inferior a 7,0.

10 A fin de conferir una suficiente resistencia al agrietamiento SIPH a las zonas afectadas por el calor de la soldadura de una estructura soldada usando la aleación austenítica resistente al calor de la presente realización, los granos de la microestructura antes de la soldadura han de ser granos finos, es decir, su tamaño, representado por el número de tamaño de grano de acuerdo con la norma ASTM E112, ha de ser 2,0 o superior, para evitar que los granos en las zonas afectadas por el calor de la soldadura lleguen a ser excesivamente gruesos incluso después de haber sido  
15 perjudicados por el ciclo térmico de la soldadura. Por otro lado, si los granos son tan finos que tienen un número de tamaño de grano de 7,0 o superior, no se obtiene la resistencia a la deformación por fluencia lenta requerida. En vista de ello, el número de tamaño de grano debe ser 2,0 o superior e inferior a 7,0.

20 La microestructura con el tamaño de grano especificado previamente se puede proporcionar para efectuar un tratamiento térmico sobre la aleación con la composición química especificada anteriormente en las condiciones apropiadas. Esta microestructura se puede conseguir, por ejemplo, conformando la aleación con la composición química especificada anteriormente en una forma predeterminada mediante trabajo en caliente o trabajo en frío antes de efectuar un tratamiento térmico en solución en el que se mantiene a temperaturas de 900 a 1250 °C durante un periodo de 3 a 60 minutos antes de enfriar con agua. Cuanto mayor es la temperatura de mantenimiento  
25 del tratamiento térmico en solución y mayor es el tiempo de mantenimiento en la misma, mayor llega a ser el tamaño de grano (es decir, menor llega a ser el número de tamaño de grano). Más preferentemente, el tratamiento térmico en solución implica mantener la aleación a temperaturas de 1120 a 1220 °C durante un periodo de 3 a 45 minutos antes de enfriar con agua y, más preferentemente aún, mantener la aleación a temperaturas de 1140 a 1210 °C durante un periodo de 3 a 30 minutos antes de enfriar con agua.

30 Se ha descrito la aleación austenítica resistente al calor de acuerdo con una realización de la presente invención. La presente realización proporciona una aleación austenítica resistente al calor que confiere una buena resistencia al agrietamiento y una buena resistencia a las altas temperaturas de una manera estable.

35 **Ejemplos**

La presente invención se describirá con más detalle a continuación usando ejemplos. La presente invención no se limita a estos ejemplos.

40 Los materiales etiquetados con las referencias A a J que tienen las composiciones químicas mostradas en la Tabla 1 se fundieron en un laboratorio y se colaron en lingotes, los cuales se sometieron a forja en caliente y laminado en caliente en un intervalo de temperaturas de 1000 a 1150 °C para proporcionar placas con un espesor de 20 mm. Estas placas se sometieron después a laminado en frío hasta un espesor de 16 mm. Las placas se sometieron a un  
45 tratamiento térmico en solución en el que se mantuvieron a 1200 °C durante un periodo de tiempo predeterminado antes de enfriar con agua. Tras el tratamiento térmico en solución, estas se mecanizaron para dar placas con un espesor de 14 mm, una anchura de 50 mm y una longitud de 100 mm. De otras placas sometidas al tratamiento térmico en solución se tomaron muestras que se iban a usar para la observación de la microestructura y se midió el tamaño de grano de la microestructura de cada muestra de acuerdo con la norma ASTM E 112. A partir del material  
50 A se prepararon materiales con diferentes tamaños de grano, modificando el tiempo de mantenimiento del tratamiento térmico en solución en el intervalo de 3 a 30 minutos.

[Tabla 1]

TABLA 1

Ref.	Composición química (en % en masa, resto de Fe e impurezas)																Otros
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Nb	V	N	B	Al	O	Sn		
A	0,09	0,28	0,98	0,017	0,0008	30,2	21,8	3,3	0,25	0,21	0,197	0,0023	0,005	0,009	0,004		
B	0,08	0,32	1,02	0,008	0,0006	28,5	22,0	3,0	0,23	0,22	0,206	0,0017	0,006	0,008	0,012	Nd: 0,023	
C	0,10	0,25	1,10	0,016	0,0005	27,1	21,7	2,7	0,18	0,19	0,174	0,0018	0,005	0,009	0,001	Ti: 0,12, Ca: 0,002, Cu: 0,41, Mo: 0,03	
D	0,07	0,34	1,18	0,014	0,0004	30,6	22,3	2,9	0,21	0,19	0,185	0,0026	0,004	0,010	0,016	Nd: 0,015 Co: 0,08, Mg: 0,001	
E	0,07	0,29	0,82	0,017	0,0002	29,8	22,4	2,8	0,22	0,21	0,211	0,0024	0,012	0,004	- *		
F	0,11	0,29	0,96	0,021	0,0021 *	30,5	21,9	3,1	0,38	0,31	0,198	0,0015	0,007	0,008	- *	Ti: 0,18	
G	0,09	0,30	0,98	0,023	0,0003	30,3	22,0	2,7	0,42	0,29	0,215	0,0044	0,003	0,009	0,033 *	Nd: 0,010	
H	0,08	0,25	0,95	0,015	0,0008	22,4 *	24,6	2,5	0,45	0,21	0,221	0,0024	0,004	0,010	0,010		
I	0,08	0,25	1,04	0,015	0,0007	30,9	22,0	3,1	0,24	0,20	0,188	0,0019	0,004	0,008	0,003	REM: 0,018	
J	0,07	0,26	0,85	0,015	0,0006	25,6	24,5	2,2	0,16	0,08 *	0,165	0,0018	0,006	0,009	0,004		

\* indica que el valor está fuera del intervalo especificado por la presente invención.

[Soldabilidad]

La ranura mostrada en la Fig. 1 se proporcionó a lo largo de la dirección longitudinal de cada placa producida tal como se ha descrito previamente. Con placas ranuradas limitantes entre sí, dos juntas para cada referencia se sometieron a soldadura a tope usando soldadura por arco con tungsteno y gas para producir juntas soldadas. La soldadura no usó material de carga y la cantidad de aporte de calor fue de 5 kJ/cm.

Aquellas de las juntas soldadas obtenidas que tenían cordones de soldadura con una anchura de 2 mm o superior a lo largo de toda la longitud de la línea de soldadura para ambas partes de la junta, se determinó que tenían buena soldabilidad en fabricación y que, por tanto, habían superado la prueba. Aquellas que tenían una porción para cada parte de la junta en la que no estaba presente el cordón de soldadura se determinó que tenían mala soldabilidad en fabricación y que, por tanto, eran "no aceptables".

[Resistencia al agrietamiento de la soldadura]

Cada una de las juntas soldadas descritas anteriormente, con solamente una primera capa soldada (es decir, la pasada de raíz) se colocó sobre una placa de acero comercial equivalente a la placa SM400B especificada por la norma JIS G 3106 (2008) (con un espesor de 30 mm, una anchura de 200 mm y una longitud de 200 mm) y se efectuó una soldadura bajo control sobre las cuatro caras usando una varilla de soldadura por arco cubierto ENi 6625 especificada por la norma JIS Z 3224 (2010). Después, se usó un alambre TIG equivalente al alambre SNI 6625 especificado por la norma JIS Z 3334 (2011) para llevar a cabo una soldadura multicapa en la ranura mediante soldadura TIG con una aporte de calor de 10 a 15 kJ/cm, produciendo así juntas soldadas, dos para cada referencia.

Se efectuó de nuevo un envejecimiento sobre una de las partes de las juntas soldadas para cada referencia a 700 °C durante 500 horas. Se tomaron muestras de cinco puntos sobre cada una de las juntas soldadas brutas y de las juntas soldadas después del envejecimiento, con la superficie de observación representada por una sección transversal de la junta (es decir, una sección perpendicular al cordón de soldadura). Se efectuaron un pulido espejo y un ataque químico sobre estas muestras antes de la inspección mediante microscopía óptica para determinar si había grietas en las zonas afectadas por el calor de la soldadura. Las juntas soldadas en las que no se encontraron grietas en ninguna de las cinco muestras se determinó que eran "buenas" y aquellas en las que se encontraron grietas en una muestra se determinó que eran "aceptables" y que, por tanto, habían superado la prueba. Aquellas juntas soldadas en las que se encontraron grietas en dos o más muestras se determinó que eran "no aceptables".

[Resistencia a la rotura por fluencia]

De aquellas juntas soldadas brutas que habían superado la prueba de resistencia al agrietamiento de la soldadura, se tomaron muestras redondas para la prueba de rotura por fluencia de modo que el centro de la porción paralela estaba hecho de metal soldado. La prueba de rotura por fluencia se efectuó a 700 °C y a 167 MPa, condiciones que dan como resultado un tiempo de fractura previsto para el material de base de aproximadamente 1000 horas. El material de base se fracturó y aquellas juntas en las que el tiempo de fractura era de un 90 % o más del tiempo de fractura del material de base (es decir, 900 horas o más) se determinó que habían superado la prueba.

[Resultados de la evaluación del rendimiento]

Los resultados de la evaluación del rendimiento se muestran en la Tabla 2. La Tabla 2 muestra también el número de tamaño de grano de la aleación austenítica resistente al calor para cada referencia.

[Tabla 2]

50

TABLA 2

Ref.	Número de tamaño de grano	Soldabilidad en fabricación	Arietamiento de la soldadura		Resultado de la prueba de rotura por fluencia
			junta soldada bruta	envejecida	
A-1	2,3	superada	buenas	buenas	superada
A-2	3,7	superada	buenas	buenas	superada
A-3	5,4	superada	buenas	buenas	superada
A-4	6,8	superada	buenas	buenas	superada
A-5	1,7 *	superada	aceptable	no aceptable	no ensayada
A-6	7,5 *	superada	buenas	buenas	no superada
B	3,5	superada	buenas	buenas	superada
C	3,4	superada	buenas	buenas	superada
D	3,6	superada	aceptable	aceptable	superada
E	3,1	no aceptable	buenas	buenas	superada
F	3,6	superada	aceptable	no aceptable	no ensayada
G	3,4	superada	no aceptable	no aceptable	no ensayada

(continuación)

Ref.	Número de tamaño de grano	Soldabilidad en fabricación	Agrietamiento de la soldadura		Resultado de la prueba de rotura por fluencia
H	3,8	superada	buena	buena	no superada
I	3,5	superada	buena	buena	superada
J	3,2	superada	buena	buena	no superada

\* indica que el valor está fuera del intervalo especificado por la presente invención.

5 Cada una de las juntas soldadas que emplean las aleaciones austeníticas resistentes al calor con las referencias A-1 a A-4, B a D e I como material de base tenían una composición química apropiada, en la que el tamaño de grano inicial del material de base tenía un tamaño de grano de 2,0 o superior e inferior a 7,0. Cada una de estas juntas soldadas tenía un cordón de soldadura a lo largo de toda la longitud después de la pasada de raíz y tenía buena soldabilidad en fabricación. Además, aunque el espesor del material de base era de 14 mm, que es relativamente grande, no se produjeron grietas en las zonas afectadas por el calor de la soldadura incluso después del envejecimiento, lo que significaba una buena resistencia al agrietamiento. Asimismo, la resistencia a la rotura por fluencia a altas temperaturas era suficiente.

15 En la junta soldada que emplea la aleación austenítica resistente al calor con la referencia A-5 como material de base, se produjeron grietas, que se cree que son grietas SIPH, tras el envejecimiento. Esto es debido probablemente a que el tamaño de grano de la aleación austenítica resistente al calor con la referencia A-5 era demasiado grande.

20 La junta soldada que emplea la aleación austenítica resistente al calor con la referencia A-6 como material de base tiene buena resistencia al agrietamiento, aunque el tiempo de la rotura por fluencia estaba por debajo del previsto. Esto es debido probablemente a que el tamaño de grano de la aleación austenítica resistente al calor con la referencia A-6 era demasiado pequeño.

25 En la junta soldada que emplea la aleación austenítica resistente al calor con la referencia E como material de base, no estaba presente el cordón de soldadura en algunas porciones después de la pasada de raíz. Esto es debido probablemente a que el contenido de Sn de la aleación austenítica resistente al calor con la referencia E era demasiado bajo.

30 La junta soldada que emplea la aleación austenítica resistente al calor con la referencia F como material de base, no contenía Sn sino una gran cantidad de S de modo que se produjo suficiente cordón de soldadura. Sin embargo, se produjeron grietas, que se cree que son grietas SIPH, tras el envejecimiento.

35 En la junta soldada que emplea la aleación austenítica resistente al calor con la referencia G como material de base, directamente después de la soldadura y tras el envejecimiento, se produjeron grietas, que se cree que son grietas por licuación y grietas SIPH, respectivamente. Esto es debido probablemente a que el contenido de Sn de la aleación austenítica resistente al calor con la referencia G era demasiado alto.

40 En la junta soldada que emplea la aleación austenítica resistente al calor con la referencia H como material de base, la soldabilidad en fabricación y la resistencia al agrietamiento de la soldadura eran buenas aunque no se consiguió la resistencia a la deformación por fluencia lenta requerida. Esto es debido probablemente a que el contenido de Ni de la aleación austenítica resistente al calor con la referencia H era demasiado bajo, lo que perjudicaba la estabilidad de la fase.

45 En la junta soldada que emplea la aleación austenítica resistente al calor con la referencia J como material de base, igualmente, no se consiguió la resistencia a la deformación por fluencia lenta requerida. Esto es debido probablemente a que la cantidad de V contenida en la aleación austenítica resistente al calor con la referencia J era menor que el límite inferior.

#### Aplicabilidad industrial

50 La presente invención se puede emplear adecuadamente como aleación austenítica resistente al calor usada como una pieza de alta temperatura tal como una tubería de vapor principal o una tubería de vapor de recalentamiento de alta temperatura en una caldera de potencia térmica.

**REIVINDICACIONES**

1. Una aleación austenítica resistente al calor que tiene una composición química, en % en masa, de:

- 5 un 0,04 a un 0,14 % de C;  
 un 0,05 a un 1 % de Si;  
 un 0,5 a un 2,5 % de Mn;  
 hasta un 0,03 % de P;  
 menos de un 0,001 % de S;
- 10 un 23 a un 32 % de Ni;  
 un 20 a un 25 % de Cr;  
 un 1 a un 5 % de W;  
 un 0,1 a un 0,6 % de Nb;  
 un 0,12 a un 0,6 % de V;
- 15 un 0,1 a un 0,3 % de N;  
 un 0,0005 a un 0,01 % de B;  
 un 0,001 a un 0,02 % de Sn;  
 hasta un 0,03 % Al sol.;  
 hasta un 0,02 % de O;
- 20 un 0 a un 0,5 % de Ti;  
 un 0 a un 2 % de Co;  
 un 0 a un 4 % de Cu;  
 un 0 a un 4 % de Mo;  
 un 0 a un 0,02 % de Ca;
- 25 un 0 a un 0,02 % de Mg;  
 un 0 a un 0,2 % de REM; y  
 siendo el resto Fe e impurezas,  
 teniendo la aleación una microestructura con un tamaño de grano, representado por el número de tamaño de grano de acuerdo con la norma ASTM E112, de 2,0 o superior e inferior a 7,0.
- 30

2. La aleación austenítica resistente al calor de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la composición química contiene uno o más elementos seleccionados entre uno de los grupos primero a tercero proporcionados a continuación, en % en masa:

- 35 primer grupo: de un 0,01 a un 0,5 % de Ti;  
 segundo grupo: de un 0,01 a un 2 % de Co, de un 0,01 a un 4 % de Cu y de un 0,01 a un 4 % de Mo; y  
 tercer grupo: de un 0,0005 a un 0,02 % de Ca; de un 0,0005 a un 0,02 % de Mg; y de un 0,0005 a un 0,2 % de REM.

40 3. Un junta soldada que emplea la aleación austenítica resistente al calor de acuerdo con la reivindicación 1 o 2 como material de base.

*Fig.1*

