

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 764 162**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01) C22C 38/46	(2006.01)
C22C 38/58	(2006.01) C22C 38/04	(2006.01)
C21D 8/00	(2006.01) C22C 38/52	(2006.01)
B23K 35/30	(2006.01) B23K 103/04	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)	
C22C 38/42	(2006.01)	
C22C 38/44	(2006.01)	
C22C 38/48	(2006.01)	
C22C 38/50	(2006.01)	
C22C 38/54	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.06.2016 PCT/JP2016/066462**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **05.01.2017 WO17002524**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.06.2016 E 16817633 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2019 EP 3318651**

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

30 Prioridad:

01.07.2015 JP 2015132548

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

02.06.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 764 162 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 unión soldada

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a una aleación austenítica resistente al calor y a una unión soldada que usa esta aleación como material base.

10 Antecedentes en la técnica

En los últimos años, se han realizado esfuerzos mundiales para aumentar las temperaturas y presiones durante el funcionamiento de calderas de energía térmica o similares para reducir las cargas al medio ambiente. Se requiere que los materiales utilizados en los tubos de recalentadores o tubos de recalentadores tengan una mejor resistencia a la alta temperatura y resistencia a la corrosión.

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

20 Por ejemplo, la patente JP Sho62 (1987)-133048 A desvela un acero austenítico con buena resistencia a altas temperaturas que contiene 0,05 a 0,35 % de N y 0,05 a 1,5 % de Nb. La patente JP 2000-256803 A desvela un acero inoxidable austenítico con buena resistencia a altas temperaturas y ductilidad que contiene 0,05 a 0,3 % de N, donde la Nb (%) / Cu (%) es 0,05 a 0,2 % y la cantidad de Nb no disuelto después de un proceso de solución es $0,04 \times \text{Cu} (\%)$ a $0,085 \times \text{Cu} (\%)$.

25 La patente JP 2000-328198 A desvela un acero inoxidable austenítico con buena resistencia a altas temperaturas y trabajabilidad en caliente que contiene 0,05 a 0,3 % de N y 2 a 6 % de Cu, donde el contenido total de uno o más de Y, La, Ce y Nd es 0,01 a 0,2 % y el valor representado por una expresión relacional de Mn, Mg, Ca, Y, La, Ce, Nd, Al, Cu y S está en un rango predeterminado.

30 La patente JP 2003-268503 A desvela una tubería de acero inoxidable austenítico con buena resistencia a altas temperaturas y resistencia a la oxidación por vapor que contiene 0,005 a 0,2 % de N, donde el tamaño de grano es pequeño, es decir, el índice de tamaño de grano es 7 o más. El documento WO 2013/073055 A1 desvela un acero inoxidable austenítico con buena resistencia a altas temperaturas y resistencia a la oxidación por vapor que contiene 35 0,005 a 0,3 % de N, donde la capa superficial está cubierta con una capa procesada con alta densidad de energía que tiene un espesor promedio de 5 a 30 μm .

La patente JP 2013-44013 A desvela un acero austenítico resistente al calor con buena resistencia a altas temperaturas y tenacidad posterior al envejecimiento que contiene 0,07 a 0,13 % de N, donde el equilibrio de austenita se ajusta con Mo, W y otros elementos de aleación. La patente JP 2014-88593 A desvela un acero inoxidable austenítico con buena resistencia a altas temperaturas y resistencia a la oxidación que contiene 0,10 a 40 0,35 % de N y 0,25 a 0,8 % de Ta.

El documento WO 2009/044796 A1 desvela un acero inoxidable austenítico de alta resistencia que contiene 0,03 a 45 0,35 % de N y uno o más de Nb, V y Ti.

La patente US 2014/0154128 desvela un acero inoxidable austenítico resistente al calor que comprende C: 0,05 a 0,2 %, Si: 0,1 a 1 %, Mn: 0,1 a 2,5 %, Cu: 1 a 4 %, Ni: 7 a 12 %, Cr: 16 a 20 %, Nb: 0,1 a 0,6 %, Zr: 0,05 a 0,4 %, Ce: 0,005 a 0,1 %, Ti: 0,1 a 0,6 %, B: 0,0005 a 0,005 %, N: 0,001 a 0,15 %, S: 0,005 % o menos (excepto 0 %), y P: 50 0,05 % o menos (excepto 0 %), con el resto de hierro e impurezas inevitables.

La patente JP H11-285889 desvela un material de soldadura TIG que tiene una soldabilidad superior para acero austenítico resistente al calor que contiene, en % en peso, 0,01-0,05 de C, 0,1-1,0 de Si, 0,5-1,5 de Mn, <0,01 de P, <0,005 de S, 14,0-22,0 de Cr, 10,0-20,0 de Ni, 0,5-2,5 de Mo, 0,5-4,0 de W, 0,1-0,5 de Nb, 0,5-4,0 de Cu, <0,04 de 55 Al, 0,3-0,8 de V, 0,10-0,30 de N, y el resto de Fe e impurezas inevitables; y ese equivalente de Ni/equivalente de Cr es de 0,50-0,90, en el que el equivalente de Cr se obtiene mediante una fórmula $\text{Cr} + \text{Mo} + 0,5\text{W} + 1,5\text{Si} + 0,5\text{Nb} + 5\text{V} + 3\text{Al}$, mientras que el equivalente de Ni se obtiene mediante una fórmula $\text{Ni} + 30\text{C} + 30 (\text{N}-0,045) + 0,44\text{Cu} + 0,87$.

60 La patente JP H10-225792 desvela un material de soldadura que contiene 0,01 a 0,05 % de C, 0,1 a 1,0 % de Si, 0,5 a 1,5 % de Mn, 0,01 % de P o menos, 0,005 % de S o menos, 14,0 a 23,0 % de Cr, 10,0 a 16,0 % de Ni, 0,5 a 2,5 % de Mo, 0,5 a 4,0 % (W), 0,1 a 0,5 % de Nb, 0,04 % de Al o menos, 0,3 a 0,8 % (V) y 0,10 a 0,30 % de N en peso y consiste en hierro como el resto e impurezas inevitables.

65 La patente JP 2013-067843 desvela un acero austenítico resistente al calor que contiene, en % en masa, 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 y el resto de Fe con impurezas inevitables, y que satisface las siguientes tres fórmulas: $0,05 \% \leq \text{Nb}-0,031 (\text{C} + \text{N}) (-0,744\text{Nb}-0,772) \leq 0,15 \%$; $2,8 \% \leq \text{W} + 2\text{Mo} \leq 4,2 \%$; y $9,5 \% \leq \text{Ni} + 27\text{C} + 23\text{N} + 0,2\text{Mn} + 0,3\text{Cu}-1,2 (\text{Cr} + \text{Mo} + 0,5\text{W})-0,5\text{Si}-0,3\text{Nb} + 10 \%$.

5

Divulgación de la invención

Estas aleaciones austeníticas resistentes al calor generalmente se sueldan para ensamblar y a continuación se usan a altas temperaturas. Sin embargo, cuando las estructuras soldadas que usan aleaciones austeníticas resistentes al calor que tienen altos contenidos de N se usan a altas temperaturas durante un período prolongado de tiempo, pueden producirse grietas denominadas grietas de endurecimiento por precipitación inducida por deformación (SIPH) en las zonas afectadas por el calor de la soldadura.

El documento WO 2009/044796 A1 descrito anteriormente establece que limitar las cantidades de los elementos que causan fragilización de los límites de los granos y los elementos que fortalecen los interiores de los granos a ciertos rangos evita el agrietamiento que se produciría durante el uso durante un período prolongado de tiempo. De hecho, estos materiales evitan el agrietamiento bajo ciertas condiciones. Sin embargo, en los últimos años, se ha generalizado el uso de aleaciones austeníticas resistentes al calor con grandes cantidades de W, Mo, etc., para mejorar aún más las propiedades, como la resistencia a altas temperaturas. Para algunas condiciones de soldadura, formas y tamaños de estructura, por ejemplo, estas aleaciones austeníticas resistentes al calor pueden no evitar el agrietamiento de manera estable. Más específicamente, es posible que no eviten el agrietamiento de manera estable para altas entradas de calor de soldadura, espesores de placa pesados o altas temperaturas de uso, tales como superiores a 650 °C.

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

Una aleación austenítica resistente al calor de acuerdo con una realización de la presente invención tiene una composición química, en % en masa, de: 0,04 a 0,15 % de C; 0,05 a 1 % de Si; 0,3 a 2,5 % de Mn; hasta 0,04 % de P; hasta 0,0015 % de S; 2 a 4 % de Cu; 11 a 16 % de Ni; 16 a 20 % de Cr; 2,2 a 5 % de W; 0,1 a 0,8 % de Nb; 0,05 a 0,35 % de Ti; 0,001 a 0,015 % de N; 0,0005 a 0,01 % de B; hasta 0,03 % de Al; hasta 0,02 % de O; 0 a 0,02 % de Sn; 0 a 0,5 % de V; 0 a 2 % de Co; 0 a 5 % de Mo; 0 a 0,02 % de Ca; 0 a 0,02 % de Mg; 0 a 0,2 % de MTR; y el resto es Fe e impurezas, la aleación que tiene una microestructura con un tamaño de grano representado por un índice de tamaño de grano de acuerdo con la norma ASTM E112 de 2,0 o más y menos de 7,0.

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

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es una vista en sección transversal de un bisel producido para los Ejemplos, que muestra la forma de la ranura del mismo.

Realizaciones para llevar a cabo la invención

Los presentes inventores realizaron una investigación detallada para resolver los problemas discutidos anteriormente y revelaron los siguientes hallazgos.

Los inventores investigaron a fondo las grietas de SIPH que se producen, durante el uso, en uniones soldadas utilizando aleaciones austeníticas resistentes al calor con alto contenido de N. Descubrieron que (1) se desarrollaron grietas a lo largo de los límites de grano en zonas afectadas por el calor de la soldadura con granos gruesos cerca de las líneas de fusión, y (2) se detectó una clara concentración de S en las superficies fracturadas de las grietas. Descubrieron además que (3) grandes cantidades de nitruros y carbonitruros habían precipitado dentro de los granos cerca de las grietas. Además, descubrieron que (4) cuanto mayor era el tamaño de grano inicial de la aleación austenítica resistente al calor utilizada, mayor era el tamaño de grano en las zonas afectadas por el calor de la soldadura y era más probable que se produjeran grietas.

A partir de estos hallazgos, asumieron que se produjeron grietas de SIPH porque grandes cantidades de nitruros y carbonitruros precipitan dentro de los granos durante el uso a altas temperaturas y, por lo tanto, es menos probable que los interiores de los granos se deformen, lo que da lugar a la concentración de deformaciones de fluencia en los límites de los granos y finalmente a aberturas. El S se segrega en los límites de grano durante la soldadura o durante el uso y, por lo tanto, disminuye la fuerza de unión de los límites de grano. Además, cuanto mayor es el tamaño de grano, menor es el área de los límites de grano por unidad de volumen. Los límites de grano funcionan como sitios para producir núcleos para partículas de nitruro y carbonitruro. Por lo tanto, cuanto más pequeños son los límites de los granos, mayores son las cantidades de nitruros y carbonitruros que precipitan dentro de los granos. Además, es más probable que las deformaciones por fluencia causadas por fuerzas externas aplicadas durante el

uso, por ejemplo, la tensión residual de soldadura, se concentren en ciertos límites de grano. Por lo tanto, los inventores concluyeron que cuanto mayor es el tamaño de grano inicial del material base, es más probable que se produzcan grietas. En particular, concluyeron que, a altas temperaturas por encima de 650 °C, los precipitados precipitan en cortos períodos de tiempo y, además, la segregación del límite de grano se produce en las primeras etapas, lo que hace que los problemas sean más evidentes.

Para evitar este tipo de grietas, es eficaz reducir los elementos que aumentan la resistencia a la deformación dentro de los granos mediante el refuerzo de la precipitación o el refuerzo de solutos. Sin embargo, estos elementos son indispensables para proporcionar suficiente resistencia a la fluencia a altas temperaturas. Por lo tanto, la prevención de grietas y la provisión de suficiente resistencia a la fluencia a altas temperaturas suponen un compromiso y son difíciles de lograr al mismo tiempo.

Después de una extensa investigación, los inventores revelaron que, para evitar el agrietamiento por SIPH en una aleación austenítica resistente al calor que contiene 0,04 a 0,15 % de C, 0,05 a 1 % de Si, 0,3 a 2,5 % de Mn, hasta 0,04 % de P, 2 a 4 % de Cu, 11 a 16 % de Ni, 16 a 20 % de Cr, 0,1 a 0,8 % de Nb, 0,05 a 0,35 % de Ti, 0,0005 a 0,01 % de B, hasta 0,03 % de Al y hasta 0,02 % de O, es efectivo controlar exactamente el contenido de N hasta 0,015 % y el contenido de S hasta 0,0015 %, y tener un tamaño de grano inicial del material base representado por un índice de tamaño de grano según lo definido por la American Society for Testing and Material (ASTM) de 2,0 o más.

Sin embargo, si el contenido de N se reduce excesivamente o el tamaño del grano es más fino de lo necesario, la resistencia a la fluencia del material base no alcanza un valor especificado. Por lo tanto, los inventores descubrieron que el contenido de N debe ser del 0,001 % o mayor y que el tamaño de grano representado por el índice de tamaño de grano debe ser menor a 7,0. Además, revelaron que el W, que contribuye a la resistencia a la fluencia por medio del refuerzo de solutos en una etapa temprana de calentamiento y precipita lentamente en forma de fase de Laves durante el uso durante un período prolongado de tiempo, debe estar contenido del 2 al 5 % para alcanzar una resistencia específica a la fluencia sin afectar la resistencia a SIPH.

Si bien los inventores determinaron que estas etapas realmente evitan el agrietamiento por SIPH, descubrieron durante la investigación que podría surgir otro problema.

Como se ha descrito anteriormente, las aleaciones austeníticas resistentes al calor generalmente se sueldan para el ensamblaje. Cuando se sueldan, generalmente se usa un material de relleno. Sin embargo, para piezas pequeñas con espesores de pared delgados, o incluso para componentes con espesores de pared gruesos para el arrastre de raíces o la soldadura por puntos, la soldadura por arco de protección de gas puede realizarse sin usar un material de relleno. Si la profundidad de penetración es insuficiente en este momento, las superficies contiguas sin soldar permanecen como defectos de soldadura, y no se puede obtener la resistencia requerida de una unión soldada. Mientras que el S reduce la resistencia al agrietamiento por SIPH, el S tiene el efecto de aumentar la profundidad de penetración. Por lo tanto, los inventores descubrieron que puede producirse el problema de una profundidad de penetración insuficiente si el contenido de S se controla exactamente para que sea de 0,0015 % o menos a fin de abordar el problema de la resistencia al agrietamiento por SIPH.

Para evitar una profundidad de penetración insuficiente, simplemente puede aumentarse el aporte de calor de soldadura. Sin embargo, el aumento del aporte de calor de soldadura provoca el engrosamiento del grano en zonas afectadas por el calor de la soldadura, y los inventores no pudieron evitar el agrietamiento por SIPH incluso cuando el tamaño de grano inicial del material base tenía un índice de tamaño de grano de 2,0 o más.

Después de más investigación, los inventores descubrieron que, para evitar una profundidad de penetración insuficiente de manera estable, es efectivo tener un contenido de Sn en el rango de 0,001 a 0,02 %. Llegaron a la conclusión de que esto se debe a que el Sn puede evaporarse fácilmente de la superficie de la reserva fundida durante la soldadura e ionizarse en el arco para contribuir a la formación de una trayectoria electrificante, aumentando así la densidad de corriente del arco.

La presente invención se realizó en base a los hallazgos discutidos anteriormente. Ahora se describirá en 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 descrita a continuación. En la siguiente descripción, "%" en el contenido de un elemento significa porcentaje en masa.

C: 0,04 a 0,15 %

El carbono (C) estabiliza la microestructura de austenita y forma partículas finas de carburo para mejorar la resistencia a la fluencia durante el uso a altas temperaturas. Es necesario un contenido del 0,04 % o más de C para

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 por SIPH. En vista de esto, el límite superior debe ser del 0,15 %. El límite inferior del contenido de C es preferiblemente del 0,05 %, y más preferiblemente del 0,06 %. El límite superior del contenido de C es preferiblemente del 0,13 %, y más

5 preferiblemente del 0,12 %.

Si: 0,05 a 0 %

10 El silicio (Si) tiene un efecto desoxidante y es efectivo para mejorar la resistencia a la corrosión y la resistencia a la oxidación a altas temperaturas. Es necesario un contenido del 0,05 % o más de Si para que estos efectos estén suficientemente presentes. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de Si, la estabilidad de la microestructura disminuye, lo que disminuye la tenacidad y la resistencia a la fluencia.

15 En vista de esto, el límite superior debe ser del 1 %. El límite inferior del contenido de Si es preferiblemente del 0,08 %, y más preferiblemente del 0,1 %. El límite superior del contenido de Si es preferiblemente del 0,5 %, y más preferiblemente del 0,35 %.

Mn: 0,3 a 2,5 %

20 Similar al Si, el manganeso (Mn) tiene un efecto desoxidante. El Mn también contribuye a la estabilización de la microestructura de austenita. Es necesario un contenido del 0,3 % o más de Mn para que estos efectos estén suficientemente presentes. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de Mn, esto provoca la fragilización de la aleación y disminuye la ductilidad por fluencia. En vista de esto, el límite superior debe ser del 2,5 %. El límite inferior del contenido de Mn es preferiblemente del 0,4 %, y más preferiblemente del 0,5 %. El límite superior del contenido

25 de Mn es preferiblemente del 2 %, y más preferiblemente del 1,5 %.

P: hasta 0,04 %

30 El fósforo (P) está contenido en la aleación en forma de impureza y, durante la soldadura, se segrega en los límites del grano en las zonas afectadas por el calor de la soldadura, lo que aumenta la susceptibilidad al agrietamiento por licuación. El P también disminuye la ductilidad por fluencia después del uso durante un período prolongado de tiempo. En vista de esto, se debe establecer un límite superior para el contenido de P, que debe ser del 0,04 % o inferior. El límite superior del contenido de P es preferiblemente del 0,035 %, y más preferiblemente del 0,03 %. Es

35 preferible minimizar el contenido de P; sin embargo, reducirlo en exceso provoca un mayor coste de fabricación del acero. En vista de esto, el límite inferior del contenido de P es preferiblemente del 0,0005 %, y más preferiblemente del 0,0008 %.

S: menos de 0,0015 %

40 De manera similar al P, el azufre (S) está contenido en la aleación en forma de impureza y, durante la soldadura, se segrega en los límites de grano en las zonas afectadas por el calor de la soldadura, lo que aumenta la susceptibilidad al agrietamiento por licuación. El S también se segrega en los límites de grano durante el uso durante un período prolongado de tiempo y provoca fragilidad, lo que reduce significativamente la resistencia al agrietamiento por SIPH. Para evitar estos efectos dentro de los límites de la composición química de la presente

45 realización, el contenido de S debe ser de hasta el 0,0015 %. El límite superior del contenido de S es preferiblemente del 0,0012 %, y más preferiblemente del 0,001 %. Es preferible minimizar el contenido de S; sin embargo, reducirlo en exceso provoca un mayor coste de fabricación del acero. En vista de esto, el límite inferior del contenido de S es preferiblemente del 0,0001 %, y más preferiblemente del 0,0002 %.

50 Cu: 2 a 4 %

El cobre (Cu) estabiliza la microestructura de la austenita y precipita en forma de partículas finas durante el uso para contribuir a la mejora de la resistencia a la fluencia. Es necesario un contenido del 2 % o más de Cu para que estos efectos estén presentes. Por otro lado, si contiene una cantidad excesiva de Cu, esto causa una disminución en la

55 trabajabilidad en caliente. En vista de esto, el límite superior debe ser del 4 %. El límite inferior del contenido de Cu es preferiblemente del 2,3 %, y más preferiblemente del 2,5 %. El límite superior del contenido de Cu es preferiblemente del 3,8 %, y más preferiblemente del 3,5 %.

Ni: 11 a 16 %

60 El níquel (Ni) es un elemento indispensable para proporcionar suficiente estabilidad de la fase de austenita durante el uso durante un período prolongado de tiempo. Es necesario un contenido del 11 % o más de Ni para que este efecto esté suficientemente presente dentro de los límites de los contenidos de Cr y W de la presente realización. Sin embargo, el Ni es un elemento costoso, y grandes cantidades de Ni contenidas significan mayores costes.

65 En vista de esto, el límite superior debe ser del 16 %. El límite inferior del contenido de Ni es preferiblemente del 12 %, y más preferiblemente del 13 %. El límite superior del contenido de Ni es preferiblemente del 15,5 %, y más

preferiblemente del 15 %.

Cr: 16 a 20 %

- 5 El cromo (Cr) es un elemento indispensable para proporcionar suficiente resistencia a la oxidación y resistencia a la corrosión a altas temperaturas. El Cr también forma partículas finas de carburo que también contribuyen a la provisión de suficiente resistencia a la fluencia. Es necesario un contenido del 16 % o más de Cr para 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 de austenita a altas temperaturas se deteriora, lo que disminuye la resistencia a la fluencia. En vista de esto, el límite superior debe ser del 20 %. El límite inferior del contenido de Cr es preferiblemente del 16,5 %, y más preferiblemente del 17 %. El límite superior del contenido de Cr es preferiblemente del 19,5 %, y más preferiblemente del 19 %.

W: 2,2 a 5 %

- 15 El wolframio (W) se disuelve en la matriz y, además, retrasa la producción de una fase sigma, que es una fase de compuesto intermetálico dañina, y precipita en forma de partículas finas de la fase de Laves para contribuir significativamente a la mejora de la resistencia a la fluencia y a la resistencia a la tracción a altas temperaturas. Es necesario un contenido del 2 % o más de W para que estos efectos estén suficientemente presentes. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de W, la resistencia a la deformación con los granos aumenta y la resistencia al agrietamiento por SIPH se reduce, y puede disminuir la resistencia a la fluencia. Además, el W es un elemento costoso, y grandes cantidades de W contenidas significan mayores costes. En vista de esto, el límite superior debe ser del 5 % y el límite inferior del 2,2 %. El límite inferior del contenido de W es preferiblemente del 2,5 %. El límite superior del contenido de W es preferiblemente del 4,8 %, y más preferiblemente del 4,5 %.

Nb: 0,1 a 0,8 %

- 25 El niobio (Nb) precipita en forma de partículas finas de carbonitruro dentro de los granos para contribuir a la mejora de la resistencia a la fluencia y la resistencia a la tracción a altas temperaturas. Es necesario un contenido del 0,1 % o más de Nb para que estos efectos estén suficientemente presentes. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de Nb, precipitan grandes cantidades de carbonitruros, lo que reduce la resistencia al agrietamiento por SIPH y provoca una disminución de la ductilidad por fluencia y la tenacidad. En vista de esto, el límite superior debe ser del 0,8 %. El límite inferior del contenido de Nb es preferiblemente del 0,12 %, y más preferiblemente del 0,15 %. El límite superior del contenido de Nb es preferiblemente del 0,7 %, y más preferiblemente del 0,65 %.

Ti: 0,05 a 0,35 %

- 35 Similar al Nb, el titanio (Ti) forma partículas finas de carbonitruro para contribuir a la mejora de la resistencia a la fluencia y la resistencia a la tracción a altas temperaturas. Es necesario un contenido del 0,05 % o más de Ti para que estos efectos estén presentes. Por otro lado, si contiene una cantidad excesiva de Ti, se producen grandes cantidades de precipitados, lo que reduce la resistencia al agrietamiento por SIPH, y la ductilidad por fluencia y la tenacidad disminuyen. En vista de esto, el límite superior debe ser del 0,35 %. El límite inferior del contenido de Ti es preferiblemente del 0,08 %, y más preferiblemente del 0,12 %. El límite superior del contenido de Ti es preferiblemente del 0,32 %, y más preferiblemente del 0,3 %.

N: 0,001 a 0,015 %

- 45 El nitrógeno (N) estabiliza la microestructura de austenita y se disuelve en la matriz o precipita en forma de nitruros para contribuir a la mejora de la resistencia a altas temperaturas. Es necesario un contenido del 0,001 % o más de N para que estos efectos estén suficientemente presentes. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de N, se disuelve durante su uso en un corto período de tiempo, o grandes cantidades de partículas finas de nitruro precipitan dentro de los granos durante su uso en un período prolongado de tiempo, lo que aumenta la resistencia a la deformación dentro de los granos, que reduce la resistencia al agrietamiento por SIPH. Además, la ductilidad por fluencia y la tenacidad disminuyen. En vista de esto, el límite superior debe ser del 0,015 %. El límite inferior del contenido de N es preferiblemente del 0,002 %, y más preferiblemente del 0,004 %. Para definir un límite superior, el contenido de N es preferiblemente inferior al 0,015 %, y más preferiblemente no superior al 0,012 %, y aún más preferiblemente no superior al 0,01 %.

B: 0,0005 a 0,01 %

- 60 El boro (B) proporciona partículas finas de carburo de límite de grano dispersas para mejorar la resistencia a la fluencia, y se segrega en los límites de grano para fortalecer los límites de grano. Es necesario un contenido del 0,0005 % o más de B para que estos efectos estén suficientemente presentes. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de B, el ciclo térmico de la soldadura durante la soldadura hace que una gran cantidad de B se segregue en las zonas afectadas por el calor de la soldadura cerca de los límites de fusión disminuyendo el punto de fusión de los límites de grano, y aumentando así la susceptibilidad al agrietamiento por licuación. En vista de esto, el

límite superior debe ser del 0,01 %. El límite inferior del contenido de B es preferiblemente del 0,0008 %, y más preferiblemente del 0,001 %. El límite superior del contenido de B es preferiblemente del 0,008 %, y más preferiblemente del 0,006 %.

5 Al: hasta 0,03 %

El aluminio (Al) tiene un efecto desoxidante. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de Al, la limpidez de la aleación se deteriora, lo que disminuye la trabajabilidad en caliente. En vista de esto, el límite superior debe ser del 0,03 %. El límite superior del contenido de Al es preferiblemente del 0,025 %, y más preferiblemente del 0,02 %. No es necesario establecer un límite inferior; sin embargo, debe tenerse en cuenta que la disminución excesiva de Al provoca un aumento en el coste de fabricación del acero. En vista de esto, el límite inferior del contenido de Al es preferiblemente del 0,0005 %, y más preferiblemente del 0,001 %. Al, como se usa en el presente documento, significa Al soluble en ácido (Al sol.).

15 O: hasta 0,02 %

El oxígeno (O) está contenido en la aleación en forma de impureza y tiene el efecto de aumentar la profundidad de penetración durante la soldadura. Sin embargo, si contiene una cantidad excesiva de O, la trabajabilidad en caliente disminuye y la tenacidad y la ductilidad se deterioran. En vista de esto, el límite superior debe ser del 0,02 %. El límite superior del contenido de O es preferiblemente del 0,018 %, y más preferiblemente del 0,015 %. No es necesario establecer un límite inferior; aun así, debe tenerse en cuenta que la disminución excesiva de O provoca un aumento en el coste de fabricación del acero. En vista de esto, el límite inferior del contenido de O es preferiblemente del 0,0005 %, y más preferiblemente del 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 se origina a partir de mineral o chatarra utilizada como materia prima para la aleación resistente al calor que se fabrica de forma industrial o un elemento que ha entrado desde el medio ambiente o similares 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 reemplazarse por Sn. El Sn es un elemento opcional. Es decir, la composición química de la aleación austenítica resistente al calor en la presente realización no tiene por qué contener Sn.

Sn: 0 a 0,02 %

35 El estaño (Sn) tiene el efecto de aumentar la profundidad de penetración durante la soldadura al evaporarse de la reserva fundida para aumentar la densidad de corriente del arco. Este efecto está presente si contiene una pequeña cantidad de Sn; estos efectos serán significativos si contiene un 0,001 % o más de Sn. Por otro lado, si contiene una cantidad excesiva de Sn, la susceptibilidad al agrietamiento por licuación en las zonas afectadas por el calor de la soldadura durante la soldadura y la susceptibilidad al agrietamiento por SIPH durante el uso se vuelven altas. En vista de esto, el límite superior debe ser del 0,02 %. El límite inferior del contenido de Sn es más preferiblemente del 0,0015 %, y aún más preferiblemente del 0,002 %. El límite superior del contenido de Sn es preferiblemente del 0,018 %, y más preferiblemente del 0,015 %.

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

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

Primer grupo – V: 0 a 0,5 %

60 El elemento que pertenece al primer grupo es el V. El V mejora la resistencia a la fluencia de la aleación a través del refuerzo de la precipitación.

V: 0 a 0,5 %

65 Al igual que Nb y Ti, el vanadio (V) se combina con carbono o nitrógeno para formar partículas finas de carburo o carbonitruro, lo que contribuye a mejorar la resistencia a la fluencia. Estos efectos están presentes si contiene una pequeña cantidad de V. Por otro lado, si contiene una cantidad excesiva de V, se producen grandes cantidades de

precipitados, lo que reduce la resistencia a SIPH y la ductilidad por fluencia. En vista de esto, el límite superior debe ser del 0,5 %. El límite inferior del contenido de V es preferiblemente del 0,01 %, y más preferiblemente del 0,03 %. El límite superior del contenido de V es preferiblemente del 0,45 %, y más preferiblemente del 0,4 %.

5 Segundo grupo – Co: 0 a 2 %, Mo: 0 a 5 %

Los elementos que pertenecen al segundo grupo son el Co y el Mo. Estos elementos mejoran la resistencia a la fluencia de la aleación.

10 Co: 0 a 2 %

Al igual que el Ni y el Cu, el cobalto (Co) es un elemento formador de austenita, y aumenta la estabilidad de la microestructura de austenita para contribuir a la mejora de la resistencia a la fluencia. Estos efectos están presentes si contiene una pequeña cantidad de Co. Sin embargo, el Co es un elemento muy costoso, y grandes cantidades de Co contenidas significan mayores costes. En vista de esto, el límite superior debe ser del 2 %. El límite inferior del contenido de Co es preferiblemente del 0,01 %, y más preferiblemente del 0,03 %. El límite superior del contenido de Co es preferiblemente del 1,8 %, y más preferiblemente del 1,5 %.

20 Mo: 0 a 5 %

El molibdeno (Mo) se disuelve en la matriz y contribuye a mejorar la resistencia a la fluencia y la resistencia a la tracción a altas temperaturas. Estos efectos están presentes si 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 se vuelve alta y la resistencia al agrietamiento por SIPH se reduce, mientras se facilita la producción de una fase sigma que es una fase de compuesto intermetálico perjudicial y puede disminuir la resistencia a la fluencia. Además, el Mo es un elemento costoso, y grandes cantidades de Mo contenidas significan mayores costes. En vista de esto, el límite superior debe ser del 5 %. El límite inferior del contenido de Mo es preferiblemente del 0,01 %, y más preferiblemente del 0,03 %. El límite superior del contenido de Mo es preferiblemente del 4,8 %, y más preferiblemente del 4,5 %.

30 Tercer grupo – Ca: 0 a 0,02 %, Mg: 0 a 0,02 %, MTR: 0 a 0,2 %

Los elementos que pertenecen al tercer grupo son el Ca, el Mg y el MTR. Estos elementos mejoran la trabajabilidad en caliente de la aleación.

35 Ca: 0 a 0,02 %

El calcio (Ca) mejora la trabajabilidad en caliente durante la fabricación. Este efecto está presente si contiene una pequeña cantidad de Ca. Por otro lado, si contiene una cantidad excesiva de Ca, se combina con oxígeno para disminuir significativamente la limpieza de la aleación, lo que disminuye la trabajabilidad en caliente. En vista de esto, el límite superior debe ser del 0,02 %. El límite inferior del contenido de Ca es preferiblemente del 0,0005 %, y más preferiblemente del 0,001 %. El límite superior del contenido de Ca es preferiblemente del 0,01 %, y más preferiblemente del 0,005 %.

45 Mg: 0 a 0,02 %

Similar al Ca, el magnesio (Mg) mejora la trabajabilidad en caliente durante la fabricación. Este efecto está presente si contiene una pequeña cantidad de Mg.

Por otro lado, si contiene una cantidad excesiva de Mg, se combina con oxígeno para disminuir significativamente la limpieza de la aleación, lo que disminuye la trabajabilidad en caliente. En vista de esto, el límite superior es del 0,02 %. El límite inferior del contenido de Mg es preferiblemente del 0,0005 %, y más preferiblemente del 0,001 %. El límite superior del contenido de Mg es preferiblemente del 0,01 %, y más preferiblemente del 0,005 %.

55 MTR: 0 a 0,2 %

Similar al Ca y al Mg, los metales de tierras raras (MTR) mejoran la trabajabilidad en caliente durante la fabricación. Este efecto está presente si contiene una pequeña cantidad de MTR. Por otro lado, si contiene una cantidad excesiva de MTR, se combina con oxígeno para disminuir significativamente la limpieza de la aleación, lo que disminuye la trabajabilidad en caliente. En vista de esto, el límite superior debe ser del 0,2 %. El límite inferior del contenido de MTR es preferiblemente del 0,0005 %, y más preferiblemente del 0,001 %. El límite superior del contenido de MTR es preferiblemente del 0,15 %, y más preferiblemente del 0,1 %.

"MTR" es un término colectivo para un total de 17 elementos, es decir, Sc, Y y los lantánidos, y "contenido de MTR" significa el contenido total de uno o más elementos MTR. Los MTR generalmente están contenidos en metal de Misch. Por lo tanto, por ejemplo, se puede añadir metal de Misch a la aleación de manera que el contenido de MTR

esté en el rango indicado anteriormente.

Microestructura

5 Índice de tamaño de grano: 2,0 o más y menos de 7,0

La aleación austenítica resistente al calor de acuerdo con la presente realización tiene una microestructura que tiene un tamaño de grano representado por un índice de tamaño de grano de acuerdo con la norma ASTM E112 de 2,0 o más y menos de 7,0.

10 Para proporcionar suficiente resistencia al agrietamiento por SIPH a las zonas afectadas por el calor de soldadura de una estructura soldada utilizando la aleación austenítica resistente al calor de la presente realización, los granos de la microestructura antes de la soldadura deben ser granos finos, es decir, su tamaño como se representa por el índice de tamaño de grano de acuerdo con la norma ASTM E112 debe ser de 2,0 o más, para evitar que los granos
15 en las zonas afectadas por el calor de la soldadura se vuelvan excesivamente gruesos incluso después de verse afectados por el ciclo de calor de la soldadura. Por otro lado, si los granos son tan finos que tienen un tamaño de grano de 7,0 o más, no se obtiene la resistencia a la fluencia requerida. En vista de esto, el índice de tamaño de grano debe ser de 2,0 o más y menos de 7,0.

20 La microestructura que tiene el tamaño de grano especificado anteriormente puede proporcionarse realizando un tratamiento térmico en la aleación con la composición química especificada anteriormente en condiciones apropiadas. Esta microestructura se puede lograr, por ejemplo, moldeando la aleación de la composición química especificada anteriormente en una forma predeterminada trabajando en caliente o en frío antes de realizar un tratamiento térmico en solución en el que se mantiene a temperaturas de 1000 a 1250 °C durante 3 a 60 minutos
25 antes de enfriar el agua. Cuanto mayor sea la temperatura de mantenimiento del tratamiento térmico de la solución y mayor sea el tiempo de mantenimiento, mayor será el tamaño de grano (es decir, menor será el índice de tamaño de grano). Más preferiblemente, el tratamiento térmico en solución implica mantener la aleación a temperaturas de 1150 a 1250 °C durante 3 a 45 minutos antes de enfriar con agua, y aún más preferiblemente mantener la aleación a temperaturas de 1170 a 1240 °C durante 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 proporciona buena resistencia al agrietamiento y resistencia a altas temperaturas de 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 marcados de A a L que tienen las composiciones químicas mostradas en la Tabla 1 se fundieron en un laboratorio y se formaron lingotes, que se sometieron a forjado en caliente y laminado en caliente en el rango de temperatura de 1000 a 1150 °C para proporcionar placas con un espesor de 20 mm. Estas placas se sometieron adicionalmente a laminación en frío a un espesor de 16 mm. Las placas se sometieron a un tratamiento térmico en solución en el que se mantuvieron a 1200 °C durante un período de tiempo predeterminado antes de enfriar con
45 agua. Después del tratamiento térmico de la solución, se mecanizaron en 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 de la solución, se tomaron muestras que se utilizarán 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.

50 [Tabla 1]

TABLA 1

Marca	Composición química (en % en masa, el resto es Fe e impurezas)																
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	W	Nb	Ti	N	B	Al	O	Sn	Otros
A	0,08	0,25	0,82	0,020	0,0014	3,0	14,5	18,1	3,4	0,45	0,19	0,003	0,0021	0,003	0,009	-	
B	0,11	0,22	0,79	0,019	0,0003	3,1	14,1	17,8	3,2	0,42	0,20	0,004	0,0034	0,011	0,003	-	Ca: 0,002
C	0,07	0,22	0,75	0,018	0,0004	2,8	13,9	17,8	3,6	0,46	0,23	0,014	0,0019	0,010	0,005	-	
D	0,09	0,19	0,78	0,010	0,0003	3,3	14,3	18,2	3,5	0,45	0,17	0,005	0,0020	0,002	0,011	0,002	
E	0,08	0,24	0,81	0,008	0,0013	3,0	13,5	18,4	3,7	0,38	0,16	0,013	0,0025	0,002	0,010	0,004	
F	0,10	0,17	0,55	0,007	0,0006	2,4	15,2	17,9	3,0	0,40	0,21	0,006	0,0024	0,002	0,008	0,015	Mo: 0,12, MTR: 0,005
G	0,06	0,19	0,62	0,005	0,0009	2,8	14,7	18,2	2,4	0,32	0,25	0,010	0,0032	0,008	0,012	0,018	Co: 0,08, V: 0,08, Mg: 0,002
H	0,09	0,20	0,77	0,023	0,0023*	3,0	13,5	17,8	3,2	0,55	0,18	0,005	0,0020	0,004	0,007	-	
I	0,09	0,19	0,81	0,025	0,0008	3,1	13,6	18,1	3,3	0,54	0,20	0,004	0,0023	0,002	0,014	0,034*	
J	0,08	0,23	0,69	0,019	0,0012	2,5	14,2	18,3	3,1	0,49	0,16	0,122*	0,0019	0,003	0,011	0,016	
K	0,14	0,21	0,65	0,026	0,0014	2,7	14,0	18,5	3,6	0,62	0,32	0,018*	0,0015	0,003	0,010	0,003	
L	0,08	0,24	0,80	0,022	0,0013	2,9	12,5	18,8	1,8 *	0,30	0,15	0,004	0,0011	0,006	0,008	-	
*Indica que el valor está fuera del rango especificado por la presente invención.																	

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

Soldabilidad en la fabricación

La ranura mostrada en la Fig. 1 se proporcionó a lo largo de la dirección longitudinal de cada placa producida como se describe anteriormente. Con las placas ranuradas contiguas entre sí, dos uniones para cada marca fueron sometidas a soldadura a tope utilizando soldadura por arco de gas-wolframio para producir uniones soldadas. La soldadura no utilizó material de relleno, y la cantidad de aporte de calor fue de 5 kJ/cm.

Se determinó que las uniones soldadas obtenidas que tenían cordones traseros a lo largo de toda la línea de soldadura para ambas partes de la unión tenían buena soldabilidad en la fabricación y, por lo tanto, habían pasado la prueba. Se determinó que las uniones que habían superado la prueba que tenían cordones traseros con una anchura de 2 mm o más en toda la longitud eran "buenas", y las que tenían una porción de cordón con una anchura menor de 2 mm eran "aceptables". Se determinó que aquellas que tenían una parte para cualquiera de las partes de la unión en las que no estaba presente ningún cordón posterior eran "inaceptables".

Resistencia al agrietamiento de soldadura

Cada una de las uniones soldadas descritas anteriormente, con solo una primera capa soldada (es decir, arrastre de raíces), se colocó en 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 la soldadura de restricción se realizó en los cuatro lados utilizando una varilla de soldadura por arco cubierto ENi 6625 especificada por la norma JIS Z 3224 (2010). Posteriormente, se usó un cable TIG equivalente al cable SNI 6625 especificado por la norma JIS Z 3334 (2011) para realizar una soldadura multicapa en la ranura mediante soldadura TIG con una entrada de calor de 10 a 15 kJ/cm, produciendo así uniones soldadas, dos por cada marca.

El envejecimiento se realizó en una de las piezas de unión soldada para cada marca a 700 °C durante 500 horas. Se tomaron muestras de cinco puntos en cada una de las uniones soldadas y uniones soldadas después del envejecimiento, con la superficie de observación representada por una sección transversal de la unión (es decir, la sección transversal perpendicular a los cordones de soldadura). Se realizaron pulido y grabado en espejo en estas muestras antes de la inspección por microscopía óptica para determinar si había grietas en las zonas afectadas por el calor de la soldadura. Se determinó que las uniones soldadas donde no se encontraron grietas en ninguna de las cinco muestras eran "buenas" y aquellas donde se encontraron grietas en una muestra se consideraron "aceptables", y por lo tanto, pasaban la prueba. Se determinó que las uniones soldadas donde se encontraron grietas en dos o más muestras eran "inaceptables".

Fuerza de fluencia-ruptura

De esas uniones tal como fueron soldadas que han pasado la prueba de resistencia al agrietamiento por soldadura, se tomaron muestras de prueba de ruptura por fluencia de barra redonda de tal forma que el centro de la porción paralela estaba hecho de metal soldado. La prueba de ruptura por fluencia se realizó a 700 °C y bajo 186 MPa, condiciones que resultan en un tiempo de fractura objetivo para el material base de aproximadamente 1000 horas. El material base se fracturó y se determinó que las uniones en las que el tiempo de fractura era del 90 % o más del tiempo de fractura del material base (es decir, 900 horas o más) habían "pasado" la prueba.

Resultados de la evaluación del rendimiento

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

[Tabla 2]

TABLA 2

Marca	Índice de tamaño de grano	Soldabilidad en la fabricación	Agrietamiento de soldadura		Resultados de la prueba de ruptura por fluencia
			soldadas	envejecida	
A-1	2,8	buena	buena	buena	pasa
A-2	4,2	buena	buena	buena	pasa
A-3	5,7	buena	buena	buena	pasa
A-4	6,6	buena	buena	buena	pasa
A-5	1,8*	buena	buena	inaceptable	no probado
A-6	8,4*	buena	buena	buena	no pasa
B	4,5	aceptable	buena	buena	pasa
C	5,2	aceptable	buena	buena	pasa
D	4,8	buena	buena	buena	pasa
E	4,6	buena	buena	buena	pasa
F	4,1	buena	buena	buena	pasa

(continuación)

Marca	Índice de tamaño de grano	Soldabilidad en la fabricación	Agrietamiento de soldadura		Resultados de la prueba de ruptura por fluencia
G	4,4	buena	aceptable	aceptable	pasa
H	3,9	buena	aceptable	inaceptable	no probado
I	3,7	buena	inaceptable	inaceptable	no probado
J	3,9	buena	buena	inaceptable	no probado
K	4,2	buena	buena	inaceptable	no probado
L	4,4	buena	buena	buena	no pasa

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

Cada una de las uniones soldadas utilizando aleaciones austeníticas resistentes al calor con las marcas A-1 a A-4 como material base tenía una composición química adecuada, donde el tamaño de grano inicial del material base tenía un tamaño de grano de 2,0 o más y menos de 7,0. Cada una de estas uniones soldadas tenía un cordón posterior con una anchura de 2 mm o más a lo largo de toda la longitud después del arrastre de raíces, y tenía una buena soldabilidad en la fabricación. Además, aunque el espesor del material 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 significa una buena resistencia al agrietamiento. Además, la resistencia a la ruptura por fluencia a altas temperaturas fue suficiente.

En cada una de las uniones soldadas que utilizan aleaciones austeníticas resistentes al calor con las Marcas B y C como material base, la composición química era apropiada y el tamaño de grano inicial del material base, representado por el índice de tamaño de grano, era de 2,0 o más y menos de 7,0. Cada una de estas uniones soldadas tenía algunas porciones de cordón posterior con una anchura pequeña, pero eran aceptables. Estas uniones soldadas tenían buena resistencia al agrietamiento y resistencia a la fluencia a altas temperaturas.

En cada una de las uniones soldadas que utilizan aleaciones austeníticas resistentes al calor con las Marcas D a G como material base, la composición química era apropiada y el tamaño de grano inicial del material base, representado por el índice de tamaño de grano, era de 2,0 o más y menos de 7,0. Cada una de estas uniones soldadas tenía un cordón posterior con una anchura de 2 mm o más en toda la longitud después del arrastre de raíces, y tenía una buena soldabilidad en la fabricación. Estas uniones soldadas proporcionaron buena soldabilidad en la fabricación de una manera estable, presumiblemente porque la composición química del material base incluía Sn. Además, estas uniones soldadas tenían buena resistencia al agrietamiento y resistencia a la fluencia a altas temperaturas.

En la unión soldada utilizando la aleación austenítica resistente al calor con la Marca A-5 como material base, se produjeron grietas que se cree que son grietas de SIPH después del envejecimiento. Esto se debe presumiblemente a que el tamaño de grano de la aleación austenítica resistente al calor con la Marca A-5 era demasiado grande.

La unión soldada utilizando la aleación austenítica resistente al calor con la Marca A-6 como material base tenía buena resistencia al agrietamiento, pero el tiempo de ruptura por fluencia estaba por debajo del objetivo. Esto se debe presumiblemente a que el tamaño de grano de la aleación austenítica resistente al calor con la Marca A-6 era demasiado pequeño.

La unión soldada utilizando la aleación austenítica resistente al calor con la Marca H como material base tenía buena soldabilidad en la fabricación, pero se produjeron grietas, que se cree que son grietas de SIPH, después del envejecimiento. Esto se debe presumiblemente a que el contenido de S en la aleación austenítica resistente al calor con la Marca H era demasiado alto.

En la unión soldada utilizando la aleación austenítica resistente al calor con la Marca I como material base, directamente después de soldar y después del envejecimiento, se produjeron grietas que se cree que son grietas de licuación y grietas de SIPH, respectivamente. Esto se debe presumiblemente a que el contenido de Sn de la aleación austenítica resistente al calor con la Marca I era demasiado alto.

En las uniones soldadas que utilizan aleaciones austeníticas resistentes al calor con las Marcas J y K como material base, se produjeron grietas que se cree que son grietas de SIPH después del envejecimiento. Esto se debe presumiblemente a que los contenidos de N en las aleaciones austeníticas resistentes al calor con las Marcas J y K eran demasiado altos y, por lo tanto, precipitaron cantidades excesivas de carbonitruros en los granos. En estas uniones soldadas, no se evitaron las grietas de SIPH a pesar de que se redujo el contenido de S en el material base y se controló el tamaño del grano para que estuviera en el rango especificado.

La unión soldada utilizando la aleación austenítica resistente al calor con la Marca L como material base tenía buena soldabilidad en la fabricación y resistencia al agrietamiento por soldadura, pero el tiempo de ruptura por fluencia estaba por debajo del objetivo. Esto se debe presumiblemente a que la cantidad de W contenida en la aleación

austenítica resistente al calor con la Marca L estaba por debajo del límite inferior.

Aplicabilidad industrial

- 5 La presente invención puede usarse adecuadamente como una aleación austenítica resistente al calor usada como una parte a alta temperatura tal como un tubo de vapor principal o un tubo de vapor de recalentamiento a alta temperatura en una caldera de energía térmica.

REIVINDICACIONES

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

- 5 0,04 a 0,15 % de C;
0,05 a 1 % de Si;
0,3 a 2,5 % de Mn;
hasta 0,04 % de P;
hasta 0,0015 % de S;
- 10 2 a 4 % de Cu;
11 a 16 % de Ni;
16 a 20 % de Cr;
2,2 a 5 % de W;
0,1 a 0,8 % de Nb;
- 15 0,05 a 0,35 % de Ti;
0,001 a 0,015 % de N;
0,0005 a 0,01 % de B;
hasta 0,03 % de Al;
hasta 0,02 % de O;
- 20 0 a 0,02 % de Sn;
0 a 0,5 % de V;
0 a 2 % de Co;
0 a 5 % de Mo;
0 a 0,02 % de Ca;
- 25 0 a 0,02 % de Mg;
0 a 0,2 % de MTR; y
el resto que es Fe e impurezas,
la aleación que tiene una microestructura con un tamaño de grano representado por un índice de tamaño de
grano de acuerdo con la norma ASTM E112 de 2,0 o más y menos de 7,0.

2. La aleación austenítica resistente al calor de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la composición química contiene, en % en masa:

0,001 a 0,02 % de Sn.

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

primer grupo: 0,01 a 0,5 % de V;
segundo grupo: 0,01 a 2 % de Co y 0,01 a 5 % de Mo; y
tercer grupo: 0,0005 a 0,02 % de Ca; 0,0005 a 0,02 % de Mg; y 0,0005 a 0,2 % de MTR.

4. Una unión soldada que utiliza la aleación austenítica resistente al calor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 como material base.

Fig. 1

