

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 764 836**

51 Int. Cl.:

B23K 35/02	(2006.01)	B23K 35/30	(2006.01)
B32B 15/01	(2006.01)	C22C 38/00	(2006.01)
C21D 9/50	(2006.01)	C22C 38/26	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)		
C22C 38/04	(2006.01)		
C22C 38/06	(2006.01)		
C22C 38/22	(2006.01)		
C22C 38/24	(2006.01)		
C22C 38/60	(2006.01)		
B23K 9/18	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.11.2011 PCT/JP2011/076791**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **31.05.2012 WO12070524**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.11.2011 E 11843589 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2019 EP 2610029**

54 Título: **Metal de soldadura y método para soldadura por arco sumergido**

30 Prioridad:

24.11.2010 JP 2010261806

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

04.06.2020

73 Titular/es:

**KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (100.0%)
10-26 Wakinohama-cho 2-chome Chuo-ku Kobe-shi
Hyogo 651-8585 , JP**

72 Inventor/es:

**OTSU, MINORU;
YAMASHITA, KEN;
KOIKE, HAYATO;
TANIGUCHI, GENICHI;
TAKAUCHI, HIDEAKI;
CHEN, LIANG y
SAKATA, MIKIHIRO**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 764 836 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

Metal de soldadura y método para soldadura por arco sumergido

5 La presente invención se refiere a un metal de soldadura para su uso con acero Cr-Mo de alta resistencia, usándose el metal de soldadura para la soldadura de acero Cr-Mo de alta resistencia (Cr: 2,00 a 3,25 y Mo: 0,90 a 1,20), y siendo particularmente eficaz para la soldadura de acero Cr-Mo de alta resistencia que contiene V como componente esencial además de Cr y Mo, y además contiene Nb, Ti, B, Ca, y similares, según sea necesario. La presente invención también se refiere a un método de soldadura por arco sumergido.

10 Dado que el acero Cr-Mo que contiene 2,25 % a 3 % en masa de Cr y 1 % en masa de Mo tiene buenas propiedades de alta temperatura, se ha utilizado ampliamente como material para su uso en entornos de alta temperatura y alta presión, tal como una caldera, un recipiente de reactor químico, o similar. Dado que estas estructuras son a menudo grandes y de paredes gruesas, soldadura de arco sumergido, que tiene alta eficiencia de soldadura, se emplea principalmente para la soldadura de las estructuras. Asimismo, dado que las condiciones de servicio de alta temperatura y presión más alta tienden a usarse para realizar la operación del equipo con alta eficiencia, el uso del acero existente requiere, de manera poco práctica, que las estructuras soldadas tengan paredes más gruesas. En consecuencia, para evitar que las estructuras tengan paredes gruesas incluso en condiciones de alta temperatura y alta presión, el acero Cr-Mo de alta resistencia al cual se añade V o el acero Cr-Mo de alta resistencia al cual se añaden V, Nb, y similares han tenido un uso práctico.

25 También se ha requerido que los materiales de soldadura sean superiores a los materiales de soldadura existentes en términos de resistencia a temperatura ambiente, resistencia a altas temperaturas, dureza, resistencia a la fluencia, resistencia a la fragilidad por ductibilidad (menos fragilidad durante el uso en un ambiente de alta temperatura), resistencia al agrietamiento en caliente (menos agrietamiento durante la solidificación), resistencia al agrietamiento en frío (resistente a la aparición de fractura retardada por hidrógeno) y resistencia al agrietamiento SR (resistente a la aparición de agrietamiento intercrystalino debido a la precipitación y el envejecimiento). Los PTL 1 y 2 proponen métodos de soldadura por arco sumergido para formar un metal de soldadura que tenga las propiedades descritas anteriormente.

30 El documento FR 2 939 340 A1 desvela un método de soldadura por arco sumergido para aceros Cr-Mo-V utilizando un alambre de soldadura en combinación con un fundente, en el que el alambre de soldadura tiene una composición que consiste en, en peso, C: 0,05 a 0,15 %, Mn: 0,4 a 1,3 %, Si: 0,07 a 0,20 %, Cr: 2 a 2,8 %, Mo: 0,5 a 1,2 %, Ni: 0,01 a 0,2 %, S: 0,001 a 0,01 %, P: 0,001 a 0,012 %, Sb: 1 a 20 ppm, Pb: 0,01 a 3 ppm, Bi: 0,01 a 3 ppm, V: 0,10 a 0,35 % siendo el resto Fe e impurezas inevitables. El documento JP H03-258490 A desvela un método de soldadura por arco sumergido para aceros de baja aleación Cr-Mo usando un alambre, que contiene, en peso, de 0,05 a 0,15 % de C, de 0,01 a 0,15 % de Si, de 0,40 a 1,00 % de Mn, de 1,80 a 3,80 % de Cr y de 0,80 a 1,30 % de Mo, y un fundente horneado que contiene de 15 a 25 % de CaF₂, de 3 a 10 % de carbonato metálico en términos de CO₂, y de 1,0 a 3,5 % de uno o dos o más tipos de Si, Mn y Al.

40 PTL 1: Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 6-328292
PTL 2: Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 9-192881

45 Sin embargo, incluso en el caso en que la soldadura se realiza mediante los métodos de soldadura por arco sumergido desvelados en las PTL 1 y 2 anteriores, todavía no se han alcanzado suficientes propiedades en términos de satisfacción de los requisitos recientes para mejorar la tenacidad del metal de soldadura a una temperatura más baja.

50 En vista de los problemas anteriores, un objeto de la presente invención es proporcionar un metal de soldadura para su uso con acero Cr-Mo de alta resistencia, teniendo el metal de soldadura estabilidad, alta tenacidad y alta resistencia al agrietamiento SR, y un método de soldadura por arco sumergido para formar el metal de soldadura.

El metal de soldadura de acuerdo con la presente invención es un metal de soldadura obtenido realizando soldadura por arco sumergido, teniendo el metal de soldadura una composición que consiste en:

55 C: de 0,05 % a 0,15 % en masa;
Si: de 0,10 % a 0,25 % en masa;
Mn: de 0,50 % a 1,30 % en masa;
60 Cr: de 2,00 % a 3,25 % en masa;
Mo: de 0,90 % a 1,20 % en masa;
V: de 0,20 % a 0,40 % en masa;
Nb: de 0,010 % a 0,040 % en masa;
O: de 250 a 450 ppm;
Al: 0,040 % en masa o menos;
65 P: 0,010 % en masa o menos;
S, Sn, Sb y As: cada uno 0,010 % en masa o menos; y

Bi y Pb: cada uno 1,0 ppm o menos,

siendo el resto Fe e impurezas inevitables. En la microestructura, la proporción de granos de cristal con una superficie de partículas de $400 \mu\text{m}^2$ o menos en relación con todos los granos de cristal es del 70 % o más.

El método de soldadura por arco sumergido según la presente invención incluye realizar soldadura por arco sumergido usando un alambre de soldadura en combinación con un fundente en las siguientes condiciones de soldadura: una cantidad de entrada de calor de soldadura controlada para estar en el intervalo de 20 a 50 kJ/cm y un grosor de acumulación (mm) por capa controlada para ser 0,15 veces o menos la cantidad de entrada de calor (kJ/cm). El alambre de soldadura tiene una composición que consiste en

C: de 0,09 % a 0,19 % en masa,

Si: 0,30 % en masa o menos,

Mn: de 0,50 % a 1,40 % en masa,

Cr: de 2,00 % a 3,80 % en masa,

Mo: de 0,90 % a 1,20 % en masa,

V: de 0,25 % a 0,45 % en masa, y

Nb: de 0,010 % a 0,040 % en masa,

siendo el resto Fe e impurezas inevitables. El fundente contiene un carbonato en una cantidad de 3,0 % a 12,0 % en masa en términos de CO_2 .

Un metal de soldadura según la presente invención tiene estabilidad, alta tenacidad y alta resistencia al agrietamiento SR y es excelente en términos de usabilidad de soldadura en la soldadura de acero inoxidable.

[Fig. 1] La figura 1 es un diagrama que ilustra una forma de ranura.

[Fig. 2] La figura 2 es un diagrama de temperatura para describir un método de PWHT.

[Fig. 3] La figura 3 es un diagrama para describir un método de enfriamiento por etapas de un metal depositado.

[Fig. 4] Las figuras 4(a) a 4(e) son diagramas para describir un método para tomar muestras de un espécimen de prueba cilíndrico.

A continuación, se describirá con detalle la presente invención. En la década de 1990, cuando el acero Cr-Mo de alta resistencia entró en uso práctico, en general, se requería un valor de impacto (vE-18 °C) de 55 J o más a -18 °C para el acero Cr-Mo de alta resistencia en términos de tenacidad. Sin embargo, recientemente, se ha requerido un valor de impacto (vE-30 °C) de 55 J o más a -30 °C. Esto es, se ha requerido una mejora en la propiedad de impacto a una temperatura más baja.

Para satisfacer dicho requisito de mejora en la propiedad de impacto a baja temperatura, se intentó mejorar la tenacidad a baja temperatura de un metal de soldadura ajustando la composición del metal de soldadura. Aunque el objetivo se alcanzó de media, a veces hubo casos en los que se observó una tenacidad significativamente baja. En la evaluación de la tenacidad del metal de soldadura, en la que se muestrearon de forma sucesiva $N = 3$ a 5 piezas de prueba para cada temperatura de las piezas de prueba que se habían soldado y utilizado en la prueba, hubo un gran número de casos en los que todas las piezas de prueba, o, en muchos casos, una o dos piezas de prueba tenían una tenacidad significativamente baja y, por lo tanto, no cumplían con las especificaciones requeridas.

Como resultado de un estudio comparativo entre piezas de prueba que tenían alta tenacidad y piezas de prueba que tenían un valor bajo, aunque no se confirmó ninguna diferencia en los componentes químicos, resultó que la diferencia entre las piezas de prueba que tenían alta tenacidad y las piezas de prueba que tenían baja tenacidad podría clasificarse en función de la finura de la microestructura. Específicamente, resultó que las piezas de prueba que tenían baja tenacidad siempre tenían una microestructura que incluía principalmente una zona de fundición. Se considera que los granos gruesos de la zona de fundición provocan que la tenacidad sea inestable.

En consecuencia, se realizó un estudio sobre la estabilización de la tenacidad formando un metal de soldadura de una zona recalentada que incluye principalmente granos finos. Sin embargo, la estabilización no pudo lograrse solo ajustando los componentes del metal de soldadura. Dado que las placas gruesas con un grosor de varias decenas de milímetros a varios cientos de milímetros se utilizan para estructuras en las que se utiliza acero Cr-Mo de alta resistencia, la soldadura multicapa se emplea incluso en el caso de la soldadura por arco sumergido (SAW). Por tanto, se realizó otro estudio desde el aspecto del procedimiento de soldadura. Como resultado, controlando el grosor de acumulación por capa, durante la soldadura de una capa, se produjo un efecto de recalentamiento de la capa anterior y, por lo tanto, se formó un metal de soldadura que incluía principalmente una zona recalentada. Además, aunque generalmente se ha considerado que es efectivo reducir el aporte de calor de soldadura y aumentar la velocidad de enfriamiento para reducir el tamaño de grano en una microestructura, los inventores de la presente invención han descubierto que todavía son insuficientes. Incluso en el caso de baja entrada de calor, por ejemplo, cuando la soldadura se realizó en condiciones de alta tensión y baja tensión, hubo casos en los que el grosor de la capa aumentó debido a una penetración profunda o similar y, por lo tanto, no se proporcionó suficiente recalentamiento causado por la siguiente capa, lo que resultó en que quedaban granos gruesos. Por el contrario, se confirmó que, incluso en el caso de una alta entrada de calor, cuando se realizó la soldadura para que la penetración fuera poco profunda y se mantuviera un cierto grosor de capa, los granos se redujeron suficientemente en tamaño

por recalentamiento causado por la siguiente capa.

También se realizó un estudio sobre la definición de granos finos y sobre el efecto de la distribución de granos finos sobre la tenacidad. El estudio se realizó sobre la base del método para medir granos de cristal de acuerdo con la norma ASTM E112, JIS G0551 y similares. Como resultado, se descubrió que era eficaz especificar el área de la zona recalentada, esto es, una zona de grano fino, definiendo el área del grano de cristal de la zona recalentada, esto es, la zona de grano fino, en $400 \mu\text{m}^2$ o menos. En los estudios experimentales realizados por los inventores de la presente invención, fue difícil lograr una proporción de grano fino del 100 % en el procedimiento de soldadura real. Sin embargo, los inventores de la presente invención descubrieron que la tenacidad era estable incluso en el caso de que se mezclara una cierta proporción de granos gruesos. Por tanto, la región que incluye granos finos se definió como una región que tiene un área de grano de cristal de $400 \mu\text{m}^2$ o menos. Asimismo, se confirmó el intervalo de la proporción de grano fino en el que se logra la estabilización y la mejora de la tenacidad.

A continuación, se describirán con detalle las razones para la adición de componentes, las limitaciones de la composición y las limitaciones de los valores de los granos de cristal según la presente invención.

(A) En primer lugar, se describirán las razones de la limitación de los componentes químicos de un alambre sólido.

"C: de 0,09 % a 0,19 % en masa "

Se añade C para mantener la resistencia a temperatura ambiente, resistencia a altas temperaturas, resistencia a la fluencia y tenacidad de un metal de soldadura. Para establecer el contenido de C del metal de soldadura en 0,05 % a 0,15 % en masa, el contenido de C del alambre sólido tiene que restringirse. Por tanto, el contenido de C del alambre sólido se establece en de 0,09 % a 0,19 % en masa.

"Si: de 0,30 % en masa o menos"

Si tiene un efecto de desoxidación y una función de control del contenido de O, que desempeña un papel importante en la presente invención. Dado que el contenido de Si del metal de soldadura debe ser del 0,10 % al 0,25 % en masa, el contenido de Si del alambre sólido se establece en 0,30 % en masa o menos.

"Mn: de 0,50 % a 1,40 % en masa "

Como con Si, Mn también tiene un efecto de desoxidación y una función de control del contenido de O, que desempeña un papel importante en la presente invención. Además, Mn mejora la resistencia y tenacidad a altas temperaturas. En consecuencia, el contenido de Mn del metal de soldadura debe ser de 0,50 % a 1,30 % en masa. Por tanto, en consideración del rendimiento en el metal de soldadura, el contenido de Mn del alambre sólido se establece en de 0,50 % a 1,40 % en masa.

"Cr: de 2,00 % a 3,80 % en masa y Mo: de 0,90 % a 1,20 % en masa "

Cr y Mo son componentes fundamentales del acero de alta resistencia 2,25 % de Cr-1 % de Mo. Es necesario añadir ciertas cantidades de Cr y Mo como componentes de metal base del metal de soldadura del alambre sólido. Específicamente, incluso cuando el contenido de Cr del alambre sólido es inferior al 2,00 % en masa o superior al 3,80 % en masa, o incluso cuando el contenido de Mo del alambre sólido es inferior al 0,90 % en masa o superior al 1,20 % en masa, se exhibe el efecto según la presente invención. Sin embargo, los componentes del metal de soldadura resultante están en el intervalo de componentes de metal de base que no se utilizan realmente en el entorno de alta temperatura previsto. Por tanto, el contenido de Cr del alambre sólido se establece en de 2,00 % a 3,80 % en masa. El contenido de Mo del alambre sólido se establece en de 0,90 % a 1,20 % en masa.

"V: de 0,25 % a 0,45 % en masa y Nb: de 0,010 % a 0,040 % en masa "

V tiene el efecto de mejorar la resistencia a temperatura ambiente, la resistencia a altas temperaturas y la resistencia a la fluencia del metal de soldadura. Para establecer que el contenido de V del metal de soldadura sea de 0,20 % a 0,40 % en masa, el contenido de V del alambre sólido debe ser de 0,25 % a 0,45 % en masa. Nb tiene el mismo efecto que V. Para establecer el contenido de Nb del metal de soldadura en 0,010 % a 0,040 % en masa, el contenido de Nb del alambre sólido debe ser de 0,010 % a 0,040 % en masa.

(B) A continuación, se describirán las razones de la limitación de los componentes químicos de un fundente.

"Carbonato de metal (en términos de CO_2): de 3 % a 12 % en masa "

El CO_2 derivado de un carbonato metálico tiene el efecto de mejorar la resistencia al agrietamiento en frío al reducir el contenido de hidrógeno difundible en el metal de soldadura y el efecto de controlar el contenido de O. Para producir tal efecto, el contenido de carbonato metálico en términos de CO_2 debe ser de 3 % o más en masa. Sin

embargo, cuando el contenido de carbonato metálico en términos de CO₂ supera el 12 % en masa, el contenido de O del metal de soldadura excede el límite superior del intervalo especificado en la presente invención y se reduce la tenacidad. Por tanto, el contenido de carbonato metálico en términos de CO₂ se establece en de 3 % a 12 % en masa. Los ejemplos del carbonato metálico incluyen CaCO₃, BaCO₃ y MgCO₃, todos los cuales tienen el mismo efecto siempre que su contenido en términos de CO₂ se encuentre dentro del intervalo descrito anteriormente.

(C) A continuación, se describirán las razones de la limitación de las condiciones de soldadura. "Entrada de calor de soldadura: de 20 a 50 kJ/cm "

Los inventores de la presente invención han descubierto que la selección adecuada de una entrada de calor de soldadura conduce a la formación de un metal de soldadura que tiene una buena resistencia, propiedad de ductibilidad, resistencia al agrietamiento en caliente y resistencia al agrietamiento en frío de manera equilibrada. Con una entrada de calor de soldadura de menos de 20 kJ/cm, la propiedad de endurecimiento por temple aumenta excesivamente, que mejora la resistencia pero disminuye la tenacidad y la resistencia al agrietamiento SR. Una entrada de calor de soldadura superior a 50 kJ/cm da como resultado un aumento en el contenido de oxígeno del metal de soldadura y la degradación de la propiedad de temple, que engrosa una microestructura y degrada la resistencia, la tenacidad y la resistencia a la fragilidad por ductibilidad.

"El grosor de acumulación (mm) por capa es 0,15 veces o menos la cantidad de calor (kJ/cm)"

Los inventores de la presente invención han descubierto que controlar un grosor de acumulación por capa en el momento de soldar un metal de soldadura que tiene una composición ajustada para estar dentro del siguiente intervalo permite que el número de granos gruesos en una zona de fundición sea significativamente reducido por recalentamiento, lo que da como resultado la formación de una microestructura que tiene una tenacidad estable y que incluye principalmente granos finos. Cuando se supone que el grosor máximo de la capa (mm) es 0,15 veces la cantidad de entrada de calor de soldadura calculada en unidades de kJ/cm, con un grosor de acumulación superior al grosor máximo de capa de cada entrada de calor de soldadura, el efecto de recalentamiento causado por la siguiente capa se vuelve insuficiente, que evita la formación de una microestructura con granos suficientemente finos y da como resultado una tenacidad inestable. Preferentemente, el grosor de acumulación (mm) está en el siguiente intervalo: grosor de acumulación (mm) ≤ entrada de calor (kJ/cm) x 0,12. Dentro del intervalo, de las piezas de prueba de impacto N = 3 a 5, casi ninguna pieza de prueba muestra un valor extraordinariamente bajo.

(D) A continuación, se describirán las razones de las limitaciones en la composición y microestructura del metal de soldadura. "C: de 0,05 % a 0,15 % en masa "

En general, un alto contenido de O del metal de soldadura da como resultado una disminución significativa en la resistencia a altas temperaturas, la resistencia a la fluencia y la tenacidad. En particular, las disminuciones son significativas cuando el contenido de O del metal de soldadura es 0,025 % en masa o más. A través del estudio realizado por el inventor de la presente invención, se descubrió que establecer el contenido de C del metal de soldadura en 0,05 % a 0,15 % en masa mejora significativamente estas propiedades. Sin embargo, un contenido de C del metal de soldadura de menos de 0,05 % en masa da como resultado una resistencia y tenacidad insuficientes, y un contenido de C que excede de 0,15 % en masa da como resultado una resistencia excesivamente alta y una reducción de la tenacidad. Por tanto, el contenido de C del metal de soldadura se establece en 0,05 % a 0,15 % en masa.

"Si: de 0,10 % a 0,25 % en masa "

Si tiene un efecto de desoxidación y una función de control del contenido de O. Para exhibir tales efectos, el contenido de Si del metal de soldadura debe ser del 0,10 % en masa o más. Sin embargo, un contenido de Si superior al 0,25 % en masa da como resultado degradaciones de la resistencia a la fragilidad por ductibilidad y la resistencia al agrietamiento SR y también da como resultado una resistencia excesivamente alta, lo que provoca una reducción en la tenacidad. Por tanto, el contenido de Si del metal de soldadura se establece en de 0,10 % a 0,25% en masa.

"Mn: de 0,50 % a 1,30 % en masa "

Como con C, el Mn tiene el efecto de mejorar la resistencia y la tenacidad a altas temperaturas. Además, Mn tiene un efecto de desoxidación y una función de control del contenido de O. Sin embargo, un contenido de Mn inferior al 0,50 % da como resultado una resistencia y tenacidad insuficientes. Un contenido de Mn superior al 1,30 % en masa da como resultado una reducción de la resistencia a la fluencia y la degradación de la resistencia a la fragilidad por ductibilidad. Por tanto, el contenido de Mn del metal de soldadura se establece en 0,50 % a 1,30 % en masa.

"Cr: de 2,00 % a 3,25 % en masa y Mo: de 0,90 % a 1,20 % en masa "

Cr y Mo son componentes fundamentales de acero de alta resistencia (2,25 % a 3 % en masa) Cr-1 % en masa de acero Mo. Cuando el contenido de Cr del metal de soldadura es inferior al 2,00 % en masa o superior al 3,25 % en

ES 2 764 836 T3

masa, o cuando el contenido de Mo del metal de soldadura es inferior al 0,90 % en masa o superior al 1,20 % en masa, se exhibe el efecto de la presente invención. Sin embargo, estos están en la gama de componentes de metal de base que no se utilizan realmente en el entorno de alta temperatura previsto. Por tanto, el contenido de Cr del metal de soldadura se establece en de 2,00 % a 3,25 % en masa. El contenido de Mo del metal de soldadura se establece en de 0,90 % a 1,20 % en masa.

"V: de 0,20 a 0,40 en masa "

V es uno de los elementos que aumentan la actividad de Cr y reducen la actividad de C. V también tiene el efecto de suprimir la precipitación de cementita. Sin embargo, con un contenido de V superior al 0,40 % en masa, precipita una gran cantidad de carburo de MC, lo que da como resultado una reducción de la tenacidad. Con un contenido de V inferior a 0,20 %, la resistencia a la fluencia disminuye. Por tanto, el contenido de V del metal de soldadura se establece en de 0,20 % a 0,40 % en masa.

"Nb: de 0,010 % a 0,040 % en masa "

En comparación con el caso en el que V se añade solo, Nb tiene el efecto de mejorar aún más la resistencia a temperatura ambiente, la resistencia a altas temperaturas y la resistencia a la fluencia. Sin embargo, con un contenido de Nb inferior al 0,010 % en masa, el efecto es insuficiente. Con un contenido de Nb superior al 0,040 % en masa, la resistencia aumenta excesivamente, lo que provoca una reducción en la tenacidad. Por tanto, el contenido de V del metal de soldadura se establece en de 0,010 % a 0,040 % en masa.

"Al: de 0,040 % en masa o menos"

Al tiene la función de reducir la tenacidad. Cuando el contenido de Al del metal de soldadura supera el 0,040 % en masa, una reducción de la tenacidad se vuelve significativa. Por tanto, el límite superior del contenido de Al del metal de soldadura se establece en 0,040 % en masa.

"P: 0,010 % en masa o menos"

P es un elemento que se segrega en los límites del grano y reduce la resistencia del límite del grano. Cuando el contenido de P del metal de soldadura supera el 0,010 % en masa, la resistencia del límite del grano disminuye y es muy probable que se produzca agrietamiento SR. Además, la segregación de P en los límites del grano da como resultado la degradación de la resistencia a la fragilidad por ductibilidad. Por tanto, el contenido de P del metal de soldadura se establece en 0,010 % en masa o menos.

"S, Sn, Sb y As: cada 0,010 % en masa o menos "

Los ejemplos de elementos que se mezclan inevitablemente en el metal de soldadura incluyen S, Sn, Sb y As además de P, Al y O. Un alto contenido de estos elementos da como resultado la aparición de agrietamiento SR y fragilidad por ductibilidad. Por tanto, los contenidos de S, Sn, Sb y As están configurados para ser 0,010 % en masa.

"Bi y Pb: cada 1,0 ppm o menos "

Los ejemplos de elementos que inevitablemente se mezclan en el metal de soldadura también incluyen Bi y Pb. Incluso una pequeña cantidad de estos elementos causa una degradación significativa de la resistencia al agrietamiento SR. Por tanto, los contenidos de Bi y Pb del metal de soldadura están configurados cada uno para que sean 1,0 ppm o menos.

"O: de 250 a 450 ppm"

O forma óxidos metálicos en el metal de soldadura y sirve como núcleo de un grano de cristal. Con un contenido de O inferior a 250 ppm, la cantidad de óxido metálico generado es pequeña y, en consecuencia, el número de granos de cristal es pequeño, lo que hace que los granos se vuelvan gruesos y, por lo tanto, se reduce la tenacidad. Con un contenido de O superior a 450 ppm, la cantidad de óxidos como inclusiones no metálicas es excesivamente grande, lo que da como resultado una reducción de la tenacidad. Por tanto, el contenido de O del metal de soldadura se establece en de 250 a 450 ppm. Preferentemente, el contenido de O del metal de soldadura se establece en de 300 a 400 ppm. "En la microestructura, la proporción de granos de cristal con una superficie de partículas de $400 \mu\text{m}^2$ o menos en relación con todos los granos de cristal es del 70 % o más"

Se descubrió que, cuando la proporción de los granos de cristal con un área de superficie de partículas de $400 \mu\text{m}^2$ o menos, que se definen como granos finos, es inferior al 70 % en la microestructura, en al menos 1 o 2 de $N = 6$ pruebas de impacto, se observó un bajo valor de impacto ($vE-30^\circ\text{C}$) de menos de 54 J a -30°C . Por tanto, en la microestructura, la proporción de granos de cristal con una superficie de partículas de $400 \mu\text{m}^2$ o menos en relación con todos los granos de cristal es del 70 % o más. Preferentemente, la proporción de granos de cristal con una superficie de partículas de $400 \mu\text{m}^2$ o menos en relación con todos los granos de cristal es del 90 % o más. En este

caso, la tenacidad permanece estable a un alto valor. Al ajustar el contenido de O del metal de soldadura para que sea de 250 a 450 ppm dentro del intervalo de composición del metal de soldadura especificado en la presente invención, la proporción de grano fino podría mantenerse en un 70 % o más, y cada valor de impacto a baja temperatura a -30 °C (vE-30 °C) podría superar los 46 J con certeza. Asimismo, ajustando el contenido de O de 300 a 400 ppm y el grosor de la capa según las condiciones de soldadura, la proporción de grano fino podría ser del 90 % o más y cada energía de impacto (vE-30 °C) podría superar los 55 J, que son valores altos estables.

Ejemplos

Los ejemplos de la presente invención se describirán en comparación con los ejemplos comparativos, que están fuera del alcance de la presente invención. El metal base descrito en la Tabla 1 a continuación se procesó en una placa de prueba formando una forma de ranura entre un material a soldar 1 para tener un ángulo de ranura de 10° y un espacio de raíz de 25 mm como se muestra en la Fig.1. Un material de refuerzo 2 estaba dispuesto en el fondo de la ranura. La soldadura se realizó en las condiciones de soldadura descritas en la Tabla 4 a continuación usando un alambre sólido que tiene una composición descrita en la Tabla 2 a continuación y un fundente que tiene una composición descrita en la Tabla 3 a continuación en combinación. Después de soldar, se realizaron dos niveles de PWHT mostrados en la Fig. 2. Las piezas de prueba que debían someterse a una prueba de evaluación de propiedades de fragilidad se sometieron al enfriamiento por etapas que se muestra en la figura 3. Se realizaron pruebas mecánicas en un metal depositado de la siguiente manera descrita en la Tabla 5.

[Tabla 1]

Composición de la placa de acero de prueba (% en masa)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Nb	Fe
P1	0,11	0,08	0,56	0,004	0,002	2,41	0,98	0,31	0,025	Resto
P2	0,10	0,08	0,55	0,004	0,002	3,05	1,05	0,29	0,027	Resto

[Tabla 2]

		C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	Otros
Ejemplo	W1	0,16	0,15	1,08	2,52	1,00	0,38	0,030	Al: 0,12
	W2	0,12	0,21	1,25	2,58	1,05	0,38	0,021	
	W3	0,17	0,16	1,13	2,52	1,02	0,38	0,030	Al: 0,12
	W4	0,14	0,18	1,13	3,20	0,98	0,38	0,012	
Ejemplo comparativo	W5	0,07	0,20	1,21	2,55	1,04	0,38	0,028	
Ejemplo	W6	0,09	0,21	1,26	2,57	1,05	0,38	0,023	
	W7	0,19	0,21	1,28	2,60	1,03	0,38	0,020	
Ejemplo comparativo	W8	0,21	0,19	1,23	2,54	1,04	0,38	0,024	
Ejemplo	W9	0,12	0,11	1,30	2,56	1,00	0,38	0,025	
	W10	0,13	0,23	0,51	2,58	1,04	0,38	0,022	
Ejemplo comparativo	W11	0,14	0,22	1,27	2,59	1,02	0,22	0,024	
Ejemplo	W12	0,13	0,20	1,25	2,60	1,03	0,25	0,020	
	W13	0,14	0,22	1,31	2,61	1,04	0,44	0,023	
Ejemplo comparativo	W14	0,14	0,24	1,28	2,57	1,03	0,46	0,020	
Ejemplo	W15	0,12	0,20	1,22	2,59	1,06	0,38	0,040	
Ejemplo comparativo	W16	0,13	0,25	1,26	2,55	1,04	0,38	0,045	
	W17	0,12	0,24	1,26	2,55	1,05	0,38	0,023	P: 0,012
	W18	0,12	0,23	1,22	2,56	1,05	0,38	0,019	S: 0,015
	W19	0,12	0,22	1,25	2,60	1,02	0,38	0,020	Sn: 0,011
	W20	0,12	0,21	1,23	2,58	1,05	0,38	0,020	Sb: 0,011
	W21	0,12	0,23	1,24	2,59	1,06	0,38	0,022	As: 0,011

[Tabla 3]

	Carbonato de metal				La cantidad añadida (ppm) inferior a 1,0 ppm está por debajo del límite de detección	
	Tipo	Contenido	Contenido en términos de CO ₂	Bi	Pb	
Ejemplo	F1	CaCO ₃	10	4,4	-	-
	F2	BaCO ₃	16	3,6	-	-
	F3	CaCO ₃	16	7,0	-	-
	F4	CaCO ₃	26	11,4	-	-

(continuación)

	Carbonato de metal			La cantidad añadida (ppm) inferior a 1,0 ppm está por debajo del límite de detección		
	Tipo	Contenido	Contenido en términos de CO ₂	Bi	Pb	
Ejemplo comparativo	F5	CaCO ₃	6	2,6	-	-
	F6	CaCO ₃	30	13,2	-	-
	F7	CaCO ₃	16	7,0	2,2	-
	F8	CaCO ₃	16	7,0	-	1,9

[Tabla 4]

		Condiciones de soldadura						
		Polaridad	Corriente (A)	Voltaje (V)	Velocidad de soldadura (cm/min)	Entrada de calor (kJ/cm)	Entrada de calor x 0,15 (x 0,13)	grosor de acumulación (mm)
Ejemplo comparativo	Y1	DCEP	500	28	50	16,8	2,5 (2,2)	2,7
Ejemplo comparativo	Y2	AC	525	29	50	18,3	2,7 (2,4)	2,7
Ejemplo	Y3	DCEP	500	28	40	21,0	3,2 (2,7)	2,7
Ejemplo	Y4	AC	550	31	40	25,6	3,8 (3,3)	3,5
Ejemplo	Y5	AC	650	35	30	45,5	6,8 (5,9)	4,1
Ejemplo comparativo	Y6	AC	700	36	30	50,4	7,6 (6,6)	4,1

5

[Tabla 5]

Detalles de la prueba		PWHT (°C x h)	Localización del espécimen de prueba	Especimen de prueba
Ensayo de tracción	Temperatura ambiente	700 x 32	Centro de grosor de placa	JIS Z3111 No. A1
	454 °C	700 x 32		JIS G0567 (Diámetro: 6 mm)
Ensayo de impacto Charpy		700 x 8		JIS Z3111 No. 4
Prueba de fragilidad por ductibilidad		700 x 8 + enfriamiento por etapas		JIS Z3111 No. 4
Prueba de fractura por fluencia		700 x 32		JIS Z2273 (Diámetro: 6 mm)

De las piezas de prueba que habían sido tratadas térmicamente bajo los dos niveles de condiciones PWHT (tratamiento térmico posterior a la soldadura), las piezas de prueba que habían sido tratadas térmicamente durante un período de tiempo más largo (32 h) se sometieron a una prueba de tracción y una prueba de fractura por fluencia.

10 En cuanto a la resistencia, se realizó una evaluación de "Bueno" cuando la resistencia a la tracción a temperatura ambiente fue de 585 a 760 MPa (PWHT 700 °C x 32 h) para alcanzar el objetivo de tener una resistencia igual a ASTM A542 Tipo D Clase 4A. En cuanto a la resistencia a la tracción a alta temperatura (454 °C), se realizó una evaluación de "Bueno" cuando se midieron 460 MPa (PWHT 700 C x 32 h) o más. En cuanto a la prueba de fractura por fluencia, se realizó una evaluación de "Bueno" cuando el tiempo no interrumpido fue de 900 h o más en
15 condiciones de carga de 210 MPa a 540 °C de acuerdo con la norma ASME Sec VIII. El tiempo máximo de prueba fue de 2000 h.

Las piezas de prueba que habían sido sometidas a PWHT durante un período de tiempo más corto (8 h) se sometieron a observación de microestructura y a una prueba de evaluación de la propiedad de fragilidad y tenacidad.

20 En la observación de la microestructura, se observaron grietas frías y también se determinó la proporción de grano fino. Las piezas de prueba se grabaron con nital y luego se observaron las microestructuras utilizando un microscopio óptico con un sistema de procesamiento de imágenes. La proporción de granos que tienen un cierto tamaño se midió automáticamente usando un software para medir el tamaño de grano de cristal conforme a JIG G0551 y ASTM E112. En cuanto a la dureza, que normalmente se mide con N = 3, la tenacidad se midió con N = 6
25 para confirmar la estabilidad. Se realizó una evaluación de "Bueno" cuando el valor de impacto (vE-30 °C) fue de 55 J en promedio y 46 J como mínimo. En cuanto a la propiedad de fragilidad por ductibilidad, se dio una evaluación de "Bueno" cuando vTr55 (una temperatura de transición de Charpy que indica 55 J) y ΔvTr55 (una cantidad de transición de vTr55 después del enfriamiento por etapas) satisfizo $vTr55 + 3.0\Delta vTr55 \leq 0$ °C.

30 En cuanto al método de evaluación de la resistencia al agrietamiento SR, con referencia al "Study on stress relief

annealing cracking (Segundo informe)" (Kiuchi, et al., Journal of the Japan Welding Society, Vol. 33, No. 9 (1964), p. 718), se muestreó un espécimen de prueba cilíndrico como se muestra en la figura 4, se refundió con soldadura TIG mientras se somete a tensión de flexión, y se trató térmicamente a 625 °C durante 10 horas con tensión de tracción residual aplicada a una muesca en forma de U. Se realizó una evaluación de "Bueno" cuando no se observaron grietas en el fondo de la muesca en forma de U.

5

Dado que el contenido de impurezas inevitables, tales como P, S, Sn, Sb, y As se añade desde el alambre es sustancialmente constante y estable a un valor bajo; se considera que prácticamente no tiene sentido especificar el límite superior. Sin embargo, como se anticipó la adición de impurezas a través del fundente y similares, se dio la limitación en el metal de soldadura. Dado que la adición a través del fundente fue difícil durante las pruebas en los Ejemplos, la adición se realizó a través del alambre. Se añadieron Bi y Pb a través del fundente, ya que las materias primas adecuadas estaban disponibles.

10

Los resultados de la prueba se describen en las Tablas 6 a 9 a continuación.

15

[Tabla 6]

Grupo	N.º	Alambre	Fundente	Placa de acero	Condiciones de soldadura	Composiciones químicas del metal depositado (% en masa)									
						C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb			
Ejemplo	1	W2	F2	P1	Y4	0,08	0,24	1,30	2,45	0,99	0,34	0,015			
	2	W2	F4	P1	Y4	0,08	0,18	1,19	2,41	1,04	0,33	0,016			
	3	W3	F3	P1	Y3	0,08	0,18	1,19	2,52	1,03	0,34	0,016			
	4	W6	F2	P1	Y4	0,05	0,20	1,22	2,49	1,02	0,34	0,015			
	5	W7	F1	P1	Y4	0,15	0,17	1,13	2,47	1,03	0,34	0,017			
	6	W9	F1	P1	Y4	0,06	0,10	1,25	2,49	1,00	0,34	0,013			
	7	W10	F3	P1	Y4	0,07	0,19	0,50	2,47	1,02	0,34	0,015			
	8	W12	F3	P1	Y4	0,08	0,19	1,12	2,51	1,02	0,20	0,013			
	9	W13	F3	P1	Y4	0,08	0,18	1,15	2,52	1,03	0,39	0,014			
	10	W4	F3	P2	Y4	0,09	0,15	1,11	3,14	1,00	0,34	0,011			
	11	W15	F1	P1	Y4	0,06	0,19	1,12	2,51	1,05	0,34	0,04			
	12	W1	F3	P1	Y3	0,08	0,15	0,82	2,44	1,04	0,32	0,018			
	13	W2	F3	P1	Y5	0,08	0,20	1,18	2,45	1,02	0,34	0,015			
	14	W1	F3	P1	Y1	0,08	0,19	1,20	2,34	1,03	0,34	0,014			
	15	W2	F2	P1	Y2	0,08	0,18	1,18	2,50	1,02	0,34	0,013			
	16	W2	F2	P1	Y6	0,08	0,17	1,15	2,45	1,02	0,34	0,015			
	17	W2	F7	P1	Y4	0,08	0,18	1,16	2,49	1,03	0,34	0,014			
	18	W2	F8	P1	Y4	0,08	0,19	1,13	2,47	1,04	0,34	0,015			
	19	W2	F5	P1	Y4	0,09	0,38	1,41	2,28	1,01	0,31	0,021			
	20	W2	F6	P1	Y4	0,08	0,16	1,07	2,21	1,01	0,31	0,014			
	21	W3	F5	P1	Y3	0,08	0,19	1,17	2,51	1,02	0,34	0,016			
	22	W5	F2	P1	Y4	0,03	0,21	1,20	2,51	1,03	0,34	0,016			
	23	W8	F1	P1	Y4	0,18	0,17	1,14	2,45	1,04	0,34	0,016			
	24	W9	F4	P1	Y5	0,06	0,08	1,07	2,40	1,00	0,33	0,011			
	25	W10	F6	P1	Y5	0,07	0,16	0,45	2,45	1,02	0,34	0,013			
	26	W11	F3	P1	Y4	0,08	0,18	1,18	2,48	1,04	0,18	0,016			
	27	W14	F3	P1	Y4	0,08	0,18	1,16	2,53	1,02	0,42	0,012			
	28	W4	F6	P2	Y4	0,08	0,15	1,08	3,08	1,01	0,33	0,005			
	29	W16	F1	P1	Y4	0,07	0,23	1,13	2,46	1,04	0,34	0,043			
	30	W17	F3	P1	Y4	0,07	0,19	1,18	2,49	1,03	0,34	0,015			
	31	W18	F3	P1	Y4	0,08	0,16	1,12	2,49	1,01	0,34	0,014			
	32	W19	F3	P1	Y4	0,08	0,16	1,14	2,49	1,03	0,34	0,018			
	33	W20	F3	P1	Y4	0,08	0,18	1,15	2,49	1,03	0,34	0,011			
	34	W21	F3	P1	Y4	0,08	0,17	1,16	2,49	1,05	0,34	0,013			
Ejemplo comparativo															

[Tabla 7]

Grupo	N.º	Composiciones químicas del metal depositado (% en masa)								
		Al	P	S	Sn	Sb	As	Bi	Pb	O
Ejemplo	1	0,006	0,005	0,002	0,002	0,003	0,003	-	-	260
	2	0,005	0,004	0,002	0,002	0,002	0,003	-	-	430
	3	0,038	0,004	0,002	0,002	0,002	0,003	-	-	280
	4	0,006	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-	390
	5	0,006	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-	320
	6	0,004	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-	400
	7	0,004	0,006	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-	410
	8	0,006	0,005	0,002	0,002	0,003	0,002	-	-	350
	9	0,006	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-	350
	10	0,006	0,005	0,002	0,002	0,001	0,002	-	-	400
	11	0,006	0,006	0,003	0,002	0,002	0,001	-	-	310
	12	0,029	0,006	0,001	0,002	0,001	0,003	-	-	340
	13	0,005	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002	-	-	390
	14	0,031	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	-	-	380
	15	0,007	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001	-	-	340
	16	0,006	0,004	0,002	0,002	0,002	0,003	-	-	400
Ejemplo comparativo	17	0,006	0,005	0,002	0,002	0,002	0,003	2,1	-	320
	18	0,006	0,005	0,003	0,002	0,003	0,003	-	1,9	340
	19	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-	180
	20	0,004	0,004	0,002	0,002	0,002	0,003	-	-	470
	21	0,041	0,005	0,002	0,002	0,002	0,003	-	-	240
	22	0,005	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-	390
	23	0,005	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-	300
	24	0,003	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-	470
	25	0,004	0,006	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-	460
	26	0,006	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-	330
	27	0,006	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	-	-	340
	28	0,005	0,005	0,003	0,002	0,002	0,002	-	-	440
	29	0,006	0,005	0,002	0,003	0,002	0,002	-	-	290
	30	0,006	0,012	0,002	0,002	0,002	0,003	-	-	330
	31	0,004	0,005	0,011	0,002	0,002	0,003	-	-	350
	32	0,006	0,005	0,002	0,011	0,002	0,003	-	-	330
	33	0,006	0,006	0,002	0,002	0,011	0,003	-	-	320
	34	0,005	0,005	0,002	0,002	0,002	0,011	-	-	340

ES 2 764 836 T3

[Tabla 8]

		Proporción de grano fino	usabilidad de soldadura	Resistencia al agrietamiento en caliente	Resistencia al agrietamiento en frío	Resistencia al agrietamiento SR
Ejemplo	1	75	Buena	Buena	Buena	Buena
	2	97	Buena	Buena	Buena	Buena
	3	92	Buena	Buena	Buena	Buena
	4	100	Buena	Buena	Buena	Buena
	5	96	Buena	Buena	Buena	Buena
	6	100	Buena	Buena	Buena	Buena
	7	98	Buena	Buena	Buena	Buena
	8	98	Buena	Buena	Buena	Buena
	9	97	Buena	Buena	Buena	Buena
	10	100	Buena	Buena	Buena	Buena
	11	94	Buena	Buena	Buena	Buena
	12	99	Buena	Buena	Buena	Buena
	13	100	Buena	Buena	Buena	Buena
	14	81	Buena	Buena	Buena	Buena
	15	83	Buena	Buena	Buena	Buena
	16	72	Buena	Buena	Buena	Buena
Ejemplo comparativo	17	97	Buena	Buena	Buena	Mala
	18	95	Buena	Buena	Buena	Mala
	19	55	Buena	Buena	Buena	-
	20	100	Mala	Buena	Buena	-
	21	73	Buena	Buena	Buena	-
	22	97	Buena	Buena	Buena	-
	23	91	Buena	Buena	Buena	-
	24	100	Mala	Buena	Buena	-
	25	100	Mala	Buena	Buena	-
	26	100	Buena	Buena	Buena	Buena
	27	98	Buena	Buena	Buena	-
	28	100	Buena	Buena	Buena	Buena
	29	83	Buena	Buena	Buena	-
	30	98	Buena	Buena	Buena	Mala
	31	100	Buena	Buena	Buena	Mala
	32	99	Buena	Buena	Buena	Mala
	33	97	Buena	Buena	Buena	Mala
	34	98	Buena	Buena	Buena	Mala

[Tabla 9]

Grupo	N.º	Resistencia a la tracción (MPa)		vE-30 °C (55 J o más de media, 46 J o más para cada valor medido)							Promedio	Propiedad de fragilidad por ductibilidad $vTr55 + 3,0 \Delta vTr55$	540 °C X 210 MPa tiempo de fractura por fluencia (h)
		Temperatura ambiente	454 °C	1	2	3	4	5	6				
Ejemplo	1	640	503	60	85	90	87	58	90	78,3	-4	1103	
	2	656	512	57	80	90	59	85	87	76,3	-12	1010	
	3	681	528	60	91	83	78	92	84	81,3	-9	1086	
	4	622	493	60	61	57	70	65	63	62,7	-11	1007	
	5	675	532	71	67	59	64	65	69	65,8	-10	2000	
	6	635	498	58	61	65	63	62	67	62,7	-11	1113	
	7	609	481	61	63	67	64	65	64	64	-20	1034	
	8	620	491	65	80	77	75	72	76	74,2	-21	998	
	9	652	507	75	62	61	78	74	79	71,5	-18	2000	
	10	621	487	72	86	73	75	74	73	75,5	-13	978	
	11	678	521	60	57	62	61	59	64	60,5	-8	2000	
	12	648	519	78	81	65	72	75	69	73,3	-24	2000	
	13	642	517	80	92	85	78	87	84	84,3	-31	2000	
	14	629	497	56	58	56	57	50	57	55,7	-28	2000	
	15	635	502	65	57	62	58	59	51	58,7	-26	2000	
	16	604	478	58	49	55	66	47	58	55,5	-34	967	
Ejemplo comparativo	17	-	-	-	-	-	-	-	-	Prueba abortada debido a la aparición de agrietamiento SR			
	18	-	-	-	-	-	-	-	-	Prueba abortada debido a la aparición de agrietamiento SR			
	19	-	-	15	80	84	17	67	72	55,8	Tenacidad inestable debido a [O] bajo		
	20	-	-	11	24	15	17	15	14	16			
	21	-	-	13	35	42	27	38	132	31,2			
	22	-	-	53	42	54	54	57	61	53,5			
	23	-	-	12	35	56	48	52	49	42			
	24	-	-	21	18	34	26	17	23	23,2			
	25	-	-	31	19	24	26	29	25	25,7			
	26	612	485	70	74	65	81	68	72	71,7	-24	713	
	27	-	-	60	52	51	54	51	57	54,2			
	28	619	490	68	76	74	73	80	71	73,7	-16	826	
29	-	-	31	58	59	53	56	58	52,5				
30	-	-	-	-	-	-	-	-	Prueba abortada debido a la aparición de agrietamiento SR				
31	-	-	-	-	-	-	-	-	Prueba abortada debido a la aparición de agrietamiento SR				
32	-	-	-	-	-	-	-	-	Prueba abortada debido a la aparición de agrietamiento SR				
33	-	-	-	-	-	-	-	-	Prueba abortada debido a la aparición de agrietamiento SR				
34	-	-	-	-	-	-	-	-	Prueba abortada debido a la aparición de agrietamiento SR				

- Como se describe en las Tablas 6 a 9, en los Ejemplos 1 a 13, dado que el grosor de la capa durante la soldadura, los componentes químicos del metal de soldadura y la proporción de grano fino en una microestructura cayeron dentro de los intervalos especificados en la presente invención, la tenacidad era estable a un valor alto. En los Ejemplos 14 y 15, dado que la entrada de calor de soldadura era excesivamente pequeña, se evitó que el cordón de soldadura se extendiera y la relación de anchura-penetración fue pequeña. Como resultado, el efecto de recalentamiento causado por la siguiente capa fue insuficiente y la proporción de grano fino estaba por debajo del intervalo especificado en la presente invención. Por tanto, aunque la tenacidad se evaluó como "Buena", la tenacidad tenía un valor cercano al valor especificado.
- En el ejemplo 16, la entrada de calor de soldadura excesivamente alta dio como resultado un cordón excesivamente grueso. Como resultado, el efecto de recalentamiento causado por la siguiente capa se redujo y la proporción de grano fino estaba justo por encima del límite inferior de la presente invención. Por tanto, aunque la tenacidad se evaluó como "Buena", estaba cerca del valor especificado.
- En los ejemplos comparativos 17 y 18, dado que el contenido de Bi y Pb del metal de soldadura excedió el límite superior especificado en la presente invención, se produjo agrietamiento durante la SR. Por consiguiente, la prueba posterior no se pudo realizar. En el Ejemplo Comparativo 19, dado que los contenidos de Si y Mn del metal de soldadura excedieron el límite superior especificado en la presente invención, se descubrió que la desoxidación procedía en exceso. Por consiguiente, el contenido de O del metal de soldadura cayó por debajo del límite inferior especificado en la presente invención y la proporción de grano fino no superó el límite inferior especificado en la presente invención. Aunque la tenacidad fue buena de media, algunas piezas de prueba tenían un valor significativamente bajo. Por tanto, se realizó una evaluación de "Mala". En el Ejemplo Comparativo 20, dado que el contenido de O del metal de soldadura excedieron el límite superior especificado en la presente invención, la tenacidad disminuyó significativamente. Por tanto, se realizó una evaluación de "Mala". En el Ejemplo Comparativo 21, dado que el contenido de Al del metal de soldadura excedió el límite superior especificado en la presente invención, la tenacidad disminuyó rápidamente.
- En el Ejemplo Comparativo 22, dado que el contenido de C del metal de soldadura era inferior al límite inferior especificado en la presente invención, no se pudo obtener suficiente tenacidad. En el Ejemplo Comparativo 23, dado que el contenido de C del metal de soldadura excedió el límite superior especificado en la presente invención, la tenacidad disminuyó rápidamente. En el Ejemplo Comparativo 24, dado que el contenido de Si del metal de soldadura era inferior al límite inferior especificado en la presente invención, hubo una desoxidación insuficiente y, en consecuencia, el contenido de O que permaneció en el metal de soldadura aumentó y excedió el límite superior especificado en la presente invención, lo que dio como resultado una reducción significativa en la tenacidad. En el Ejemplo Comparativo 25, dado que el contenido de Mn del metal de soldadura era inferior al límite inferior especificado en la presente invención, hubo una desoxidación insuficiente y, en consecuencia, el contenido de O que permaneció en el metal de soldadura aumentó y excedió el límite superior especificado en la presente invención, lo que dio como resultado una reducción significativa en la tenacidad. En el Ejemplo Comparativo 26, dado que el contenido de V del metal de soldadura era inferior al límite inferior especificado en la presente invención, la resistencia era baja y el tiempo de fractura por fluencia se evaluó como "escaso". En el Ejemplo Comparativo 27, dado que el contenido de V del metal de soldadura excedió el límite superior especificado en la presente invención, la tenacidad era baja, lo que presumiblemente dio como resultado una resistencia excesivamente alta.
- En el Ejemplo Comparativo 28, dado que el contenido de Nb del metal de soldadura era inferior al límite inferior especificado en la presente invención, la resistencia era baja y la resistencia a la fractura por fluencia se evaluó como "escasa". En el Ejemplo Comparativo 29, dado que el contenido de Nb del metal de soldadura excedió el límite superior especificado en la presente invención, la tenacidad era baja, lo que presumiblemente dio como resultado una resistencia excesivamente alta. En los ejemplos comparativos 30 a 34, dado que el contenido total de P, S, Sn, Sb, y As del metal de soldadura excedió el límite superior especificado en la presente invención, se produjo agrietamiento durante la SR y no se pudo realizar la prueba posterior.

Lista de signos de referencia

- 1 material a soldar
2 material de refuerzo

REIVINDICACIONES

1. Un metal de soldadura obtenido mediante la realización de soldadura por arco sumergido, teniendo el metal de soldadura una composición que consiste en:

- 5 C: de 0,05 % a 0,15 % en masa;
 Si: de 0,10 % a 0,25 % en masa;
 Mn: de 0,50 % a 1,30 % en masa;
 Cr: de 2,00 % a 3,25 % en masa;
 10 Mo: de 0,90 % a 1,20 % en masa;
 V: de 0,20 % a 0,40 % en masa;
 Nb: de 0,010 % a 0,040 % en masa;
 O: de 250 a 450 ppm;
 Al: 0,040 % en masa o menos;
 15 P: 0,010 % en masa o menos;
 S, Sn, Sb y As: cada uno 0,010 % en masa o menos; y
 Bi y Pb: cada uno 1,0 ppm o menos,

siendo el resto Fe e impurezas inevitables,

20 en el que, en una microestructura, una proporción de granos de cristal con un área de superficie de partículas de 400 μm^2 o menos con respecto a todos los granos de cristal es del 70 % o más.

2. Un método de soldadura por arco sumergido para formar un metal de soldadura según la reivindicación 1, comprendiendo el método:

- 25 realizar soldadura por arco sumergido utilizando un alambre de soldadura en combinación con un fundente en las siguientes condiciones de soldadura: una cantidad de entrada de calor de soldadura controlada para estar en el intervalo de 20 a 50 kJ/cm y un grosor de acumulación (mm) por capa controlado para ser 0,15 veces o menos la cantidad de entrada de calor (kJ/cm),
 30 en el que el alambre de soldadura tiene una composición que consiste en
 C: de 0,09 % a 0,19 % en masa,
 Si: 0,30 % en masa o menos,
 Mn: de 0,50 % a 1,40 % en masa,
 Cr: de 2,00 % a 3,80 % en masa,
 35 Mo: de 0,90 % a 1,20 % en masa,
 V: de 0,25 % a 0,45 % en masa, y
 Nb: de 0,010 % a 0,040 % en masa,

siendo el resto Fe e impurezas inevitables, y el fundente contiene un carbonato en una cantidad de 3,0 % a 12,0% en masa en términos de CO_2 .

40

FIG. 1

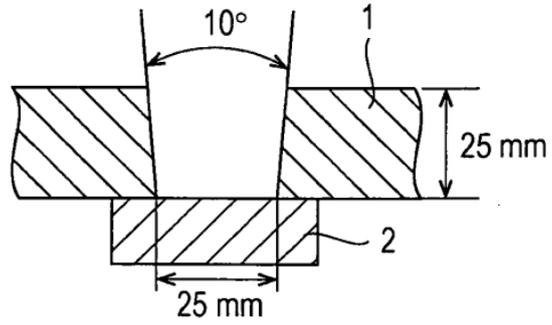


FIG. 2

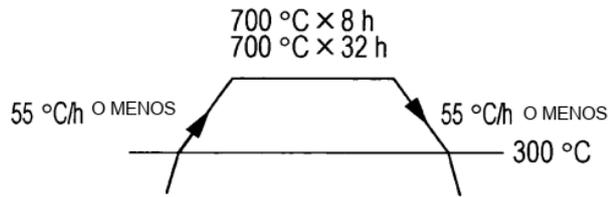


FIG. 3

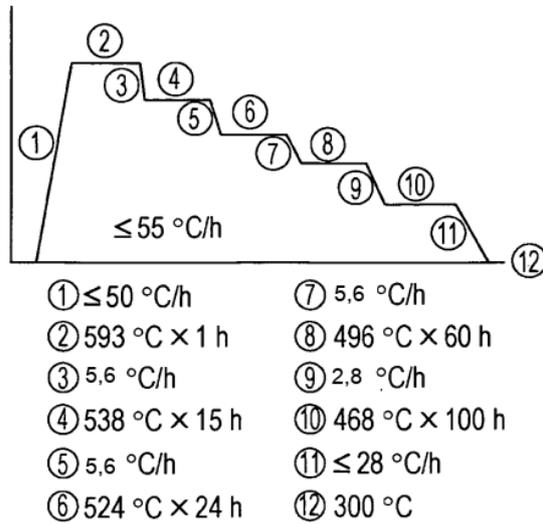


FIG. 4

