

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 781 076**

51 Int. Cl.:

B23K 9/02 (2006.01)

B23K 9/025 (2006.01)

B23K 9/18 (2006.01)

B23K 103/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.07.2015 PCT/JP2015/070060**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.01.2016 WO16009996**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.07.2015 E 15821482 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2020 EP 3170607**

54 Título: **Método de soldadura por arco sumergido en tándem de acero CSEF con alto contenido en Cr**

30 Prioridad:

18.07.2014 JP 2014147998

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

28.08.2020

73 Titular/es:

**KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE STEEL, LTD.) (100.0%)
2-4, Wakinohama-Kaigandori 2-chome, Chuo-ku
Kobe-shi, Hyogo 651-8585, JP**

72 Inventor/es:

**IKAI, KAZUYA y
YAMASHITA, KEN**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 781 076 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

Método de soldadura por arco sumergido en tándem de acero CSEF con alto contenido en Cr

- 5 La presente invención se refiere a un método de soldadura por arco sumergido en tándem de un acero ferrítico de alto contenido en Cr con resistencia a la fluencia mejorada (CSEF) de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 (véase, por ejemplo, el documento JP 2005/329415 A1).

- 10 Las calderas y turbinas térmicas y los recipientes de reacciones química (reactores) para la desulfuración o la reformulación (descomposición del petróleo pesado) se usan a alta temperatura y a alta presión. Por tanto, los ejemplos de materiales adecuados para este equipamiento incluyen acero 1,25Cr-0,5Mo, acero 2,25Cr-1,0Mo, y acero 2,25Cr-1,0Mo-V. En los últimos años, se han requerido el uso más eficiente del petróleo pesado y el refino más eficaz del petróleo. Se han estudiado aplicaciones de un acero CSEF con alto contenido de Cr que tiene un contenido de Cr del 8 % en masa o más. Los ejemplos del acero CSEF con alto contenido de Cr incluyen SA387Gr.91 y SA213Gr.T91 que se definen por la norma de la American Society for Testing and Materials (ASTM) o la norma de la American Society of Mechanical Engineers (ASME).

- 20 Dichas calderas y turbinas y reactores térmicos se producen de forma adecuada combinando y soldando anillos o tuberías forjados y placas de acero dobladas. De manera específica, un anillo forjado puede tener un grosor de 150 a 450 mm, un diámetro externo máximo de 7 m o menos, y una longitud total de algunas a varias decenas de metros. Los ejemplos de métodos de soldadura adecuados para su uso en calderas y turbinas y reactores térmicos incluyen una soldadura por arco con metal protector, una soldadura de tungsteno inertizada por gas (TIG), y una soldadura por arco sumergido. Entre ellos, se usa una soldadura por arco sumergido más a menudo que otros métodos de soldadura debido a su elevada eficacia. Para mejorar además la eficacia, se propuso un método de soldadura por arco sumergido que lleva a cabo la soldadura utilizando electrodos en tándem. Sin embargo, la soldadura por arco sumergido en tándem para un acero CSEF con alto contenido en Cr tiene un problema de agrietamiento en caliente. Para suprimir el agrietamiento en caliente y conseguir la soldadura más eficaz en la soldadura por arco sumergido, se divulgan las siguientes técnicas.

- 30 Por ejemplo, el documento EP 2 532 466 A2 divulga un método de soldadura con dos electrodos, en el que se usa un electrodo principal para llevar a cabo la soldadura por arco con gas protector y un electrodo de arrastre es una carga energizada. El alambre del electrodo de arrastre sobresale de una guía directriz o punta de guiado y se energiza desde una punta energizante. La distancia entre la superficie de soldadura y la punta energizante es de 100 mm o más y de 1500 mm o menos, y la distancia entre los electrodos es de 10 mm o menos. La corriente eléctrica del electrodo principal es de 250 A o más, y la corriente eléctrica del electrodo de arrastre es de 10 A o más y 50 % o menos de la corriente eléctrica del electrodo principal. La velocidad de alimentación del alambre del electrodo de arrastre es del 20 % o más y del 50 % o menos de la velocidad de alimentación del alambre del electrodo de arrastre.

- 40 Además, el Documento de patente 1 divulga un método de soldadura por arco sumergido de ventana estrecha para llevar a cabo la soldadura por arco sumergido sobre una ranura estrecha con una anchura de ranura de 10 a 25 mm y un ángulo de ranura de 15 grados o menos en un procedimiento de una-capa-un-paso. El método emplea un electrodo de 1,6 a 3,2 mmφ como electrodo principal y el otro electrodo con 4,0 a 4,8 mmφ como electrodo de arrastre donde la distancia entre estos electrodos está ajustada de 50 a 150 mm para llevar a cabo la soldadura usando un fundente sinterizado.

- 50 En este método de soldadura, la distancia entre los electrodos para la soldadura en tándem se ajusta de 50 a 150 mm, suprimiendo de esta forma una relación de la forma de la perla (profundidad H de la perla/anchura W de la perla). En este momento, el electrodo principal tiene un diámetro del alambre de 1,6 a 3,2 mmφ, mientras que el electrodo de arrastre tiene un diámetro de 4,0 a 4,8 mmφ. Dicha disposición suprime la aparición de agrietamiento en caliente.

Documento de patente 1: JP 60-177966 A

- 55 Sin embargo, en la técnica relacionada, la soldadura por arco sumergido tiene los siguientes problemas.

- 60 En la técnica mencionada en el Documento de patente 1, los alambres sólidos para soldadura de los ejemplos se fabrican de acero blando. Un alambre sólido para soldadura que se fabrica del mismo material que el acero con un alto contenido de Cr tiene una cantidad mayor de calor Joule generado, en comparación con el alambre sólido para soldadura fabricado del mismo material que el acero blando y, por tanto, da como resultado una cantidad más grande de soldadura, aumentando la sensibilidad al agrietamiento en caliente en algunos casos. Es decir, es difícil resolver el problema del agrietamiento en caliente en la soldadura de un acero CSEF con alto contenido de cromo solamente con el método mencionado en el Documento de patente 1. Además, existe el riesgo de que una escoria formada por el electrodo principal no se pueda fundir suficientemente por el electrodo de arrastre. Por tanto, este método frecuentemente no es adecuado para piezas que requieran una soldadura de alta calidad, tal como una soldadura perimetral para un reactor.

Para realizar una soldadura en una placa gruesa con alta eficacia, es eficaz aumentar la entrada de calor para soldadura potenciando la corriente de soldadura o una tensión de arco, o disminuir la velocidad de la soldadura. Sin embargo, cuando se aumenta la entrada de calor a la soldadura, la forma de la perla, especialmente en una ranura estrecha, tiende a tomar una forma de pera, aumentando el riesgo de aparición de agrietamiento en caliente. El agrietamiento en caliente, que es el problema en este punto, es lo que se denomina agrietamiento durante la solidificación producida por la segregación de un compuesto de bajo punto de fusión de P, S, Si y Nb contenidos en un metal de soldadura, entre dendritas o en el límite intergranular de un cristal de austenita durante la solidificación, seguido por la transmisión de una tensión por contracción de la soldadura a la misma.

Entre las medidas contra el agrietamiento en caliente, es eficaz ajustar los componentes químicos de un material de soldadura, específicamente, para reducir la concentración de impurezas, incluidos P y S, a 100 ppm o menos mediante una fusión adicional de alta pureza (EHP). Sin embargo, la fusión adicional de alta pureza debe usar una fusión con haz de electrones y un material refractario especial en la pared del horno, que supone una desventaja desde una perspectiva económica. Por este motivo, se requiere una técnica que pueda suprimir la aparición del agrietamiento en caliente incluso a un nivel de impureza normal.

Además, en la soldadura por arco sumergido para un acero CSEF con un alto contenido de cromo, un componente principal del alambre también podría producir agrietamiento en caliente. Es decir, un alambre sólido para la soldadura por arco sumergido fabricado del mismo material que el acero CSEF con un alto contenido de Cr genera una gran cantidad de calor Joule y tiene una gran cantidad de soldadura, en comparación con los alambres sólidos respectivos que se fabrican de los mismos materiales que los aceros 1,25Cr-0,5Mo, 2,25Cr-1,0Mo, y 2,25Cr-1,0Mo-V, que se utilizan convencionalmente. Por otra parte, un metal de soldadura producido usando dicho alambre tiene una cantidad mayor de contracción por solidificación, en comparación con la obtenida con alambres de aceros 1,25Cr-0,5Mo, 2,25Cr-1Mo, y 2,25Cr-1Mo-V. Es decir, en la soldadura por arco sumergido para un acero CSEF con un alto contenido de cromo, el mero ajuste de la composición química del material de soldadura no puede suprimir fácilmente el agrietamiento en caliente. La soldadura por arco sumergido en tándem también debe tener una excelente capacidad de eliminación de escoria y un estado de la perla satisfactorio a la vez que mejora la eficacia de la soldadura.

La presente invención se ha realizado a la vista de las anteriores circunstancias. Es un objeto de la presente invención proporcionar un método de soldadura que pueda suprimir la aparición del agrietamiento en caliente en un metal soldado con una capacidad de eliminación de la escoria y un estado de la perla satisfactorios, presentando a la vez una excelente eficacia de soldadura en la soldadura por arco sumergido en tándem para un acero CSEF con un alto contenido de cromo.

Como resultado de estudios detallados, los inventores han descubierto que la aparición del agrietamiento en caliente puede suprimirse especificando la velocidad de alimentación del alambre, la velocidad de la soldadura y la cantidad de soldadura por unidad de longitud que se calcula por la relación entre la velocidad de alimentación del alambre y la velocidad de la soldadura.

Es decir, el método de soldadura por arco sumergido en tándem de un acero CSEF con alto contenido en cromo de acuerdo con la presente invención se define en la reivindicación 1, y lleva a cabo la soldadura en condiciones de una velocidad de alimentación del alambre V_L de un electrodo principal de 45 a 90 g/min; una velocidad de alimentación del alambre V_T de un electrodo de arrastre de 60 a 110 g/min; una velocidad v de soldadura de 30 a 55 cm/min; y una cantidad de soldadura por unidad de longitud de 2,8 a 3,8 g/cm.

Dicho método de soldadura por arco sumergido en tándem para un acero CSEF con alto contenido en Cr (denominado a partir de ahora en el presente documento "método de soldadura por arco sumergido" o simplemente "método de soldadura" según sea adecuado) especifica la velocidad de alimentación del alambre, la velocidad de la soldadura, y la cantidad de soldadura por unidad de longitud, suprimiendo así la aparición del agrietamiento en caliente en un metal soldado mejorando a la vez la eficacia de la soldadura, el estado de la perla, y la capacidad de eliminación de la escoria.

En el método de soldadura por arco sumergido en tándem para el acero CSEF con alto contenido en Cr de la presente invención, un alambre de soldadura incluye preferentemente 0,03 a 0,13 % en masa de C, 0,05 a 0,50 % en masa de Si, 0,50 a 2,20 % en masa de Mn, 0,015 % en masa o menos de P, 0,010 % en masa o menos de S, más de 0,20 % en masa y 1,00 % en masa o menos de Ni, 8,00 a 10,50 % en masa de Cr, 0,20 a 1,20 % en masa de Mo, 0,05 a 0,45 % en masa de V, 0,020 a 0,080 % en masa de Nb, y 0,02 a 0,08 % en masa de N, siendo el resto Fe e impurezas inevitables.

El método de soldadura con esta disposición utiliza el alambre de la soldadura que contiene un elemento específico, mejorando además la tenacidad y la resistencia a la rotura por fluencia del metal soldado.

En el método de soldadura por arco sumergido en tándem para el acero CSEF con alto contenido en Cr de la presente invención, el alambre de la soldadura incluye además preferentemente al menos uno de Cu, B, W y Co, en

el que un contenido de Cu es 1,70 % en masa o menos, un contenido de B es 0,005 % en masa o menos, un contenido de W es 2,0 % en masa o menos, y un contenido de Co es 3,0 % en masa o menos, siendo el resto Fe e impurezas inevitables.

- 5 El método de soldadura con esta disposición utiliza el alambre de la soldadura que contiene un elemento específico, mejorando además la tenacidad y la resistencia a la rotura por fluencia del metal soldado.

En el método de soldadura por arco sumergido en tándem para el acero CSEF con alto contenido en Cr de la presente invención, preferentemente, un fundente de soldadura incluye 10 a 60 % en masa de CaF₂, 2 a 25 % en masa de CaO, 10 a 50 % en masa de MgO, 2 a 30 % en masa de Al₂O₃, y 6 a 30 % en masa de Si y SiO₂ en total (en términos de SiO₂), y la basicidad representada por la siguiente fórmula está en un intervalo de 2,3 a 2,7:

$$\text{Basicidad} = (\text{CaF}_2 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{SrO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{Li}_2\text{O} + 1/2 (\text{MnO} + \text{FeO})) / (\text{SiO}_2 + 1/2 (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2))$$

15 donde cada compuesto indica un contenido (% en masa) del compuesto con respecto a la masa total del fundente.

El método de soldadura con esta disposición puede suprimir la degradación del aspecto exterior de la perla, la forma de la perla, y la tenacidad del metal soldado.

20 En el método de soldadura por arco sumergido en tándem para el acero CSEF con alto contenido en Cr de la presente invención, la distancia entre una punta y la base de metal está en un intervalo de 20 a 40 mm.

El método de soldadura con esta disposición puede suprimir de forma más segura la erosión debida al arco desde la punta y la cantidad excesiva de soldadura.

25 En el método de soldadura por arco sumergido en tándem para el acero CSEF con alto contenido en Cr de la presente invención, los ángulos de la punta se ajustan preferentemente de tal manera que el ángulo de arrastre α está en un intervalo de 0° a 50°, y el ángulo de empuje β está en un intervalo de 0° a 50°.

30 El método de soldadura con esta disposición puede estabilizar de forma más segura la velocidad de alimentación del alambre de soldadura.

En el método de soldadura por arco sumergido en tándem para el acero CSEF con alto contenido en Cr de la presente invención, la forma de la punta es preferentemente una forma de tubería recta o una forma de tubería doblada en ángulo recto.

35 El método de soldadura con esta disposición puede asegurar que la capacidad de alimentación del alambre y la estabilización de la posición de alimentación eléctrica son más fiables.

40 El método de soldadura por arco sumergido en tándem para un acero CSEF con un alto contenido de Cr de acuerdo con la presente invención puede producir un metal soldado que presenta un estado de la perla satisfactorio así como una excelente capacidad de eliminación de la escoria y resistencia al agrietamiento en caliente, consiguiendo a la vez una excelente eficacia de la soldadura para la soldadura del acero CSEF con un alto contenido en Cr.

45 La Fig. 1 es una vista frontal que muestra los estados de un electrodo principal y un electrodo de arrastre en un método de soldadura de acuerdo con la presente invención.

La Fig. 2 es otra vista frontal que muestra la forma de la punta de la soldadura en el método de soldadura de la presente invención.

La Fig. 3 es una vista lateral de la punta de la soldadura que se muestra en la Fig. 2.

50 La Fig. 4 es una vista de la superficie final del lado de la punta del extremo principal de la punta de la soldadura que se muestra en la Fig. 2.

La Fig. 5 es una vista frontal que muestra el estado de la punta de la soldadura en el método de soldadura de la presente invención.

55 La Fig. 6 es una vista frontal que muestra otro estado de la punta de la soldadura en el método de soldadura de la presente invención.

La Fig. 7 es una vista frontal que muestra otro estado de la punta de la soldadura en el método de soldadura de la presente invención.

La Fig. 8 es una vista frontal que muestra otro estado de la punta de la soldadura en el método de soldadura de la presente invención.

60 La Fig. 9 es una vista frontal que muestra otro estado de la punta de la soldadura en el método de soldadura de la presente invención.

La Fig. 10 es una vista frontal que muestra otro estado de la punta de la soldadura en el método de soldadura de la presente invención.

65 La Fig. 11 es una vista de la sección transversal que muestra una probeta utilizada en los Ejemplos y un estado solapado de los metales de la soldadura.

La Fig. 12 es una vista de la sección transversal que muestra otra probeta utilizada en los Ejemplos y un estado

solapado de los metales soldados.

Se describirán con detalle a continuación realizaciones para implementar la presente invención.

5 Un método de soldadura de la presente invención es un método de soldadura por arco sumergido en tándem para un acero de CSEF con alto contenido en Cr. Por ejemplo, como se muestra en la Fig. 1, el método de soldadura por arco sumergido en tándem es un método que lleva a cabo la soldadura en arco sobre una base de metal 10 fabricada de acero CSEF con alto contenido en Cr utilizando las puntas de soldadura 11a y 11b con alambres 12a y 12b insertados en ese lugar así como un fundente de soldadura (no se muestra). Es decir, como se ilustra en la Figura 1, en el método de soldadura de la presente invención, dos electrodos, concretamente, un electrodo principal 15a y un electrodo de arrastre 15b, se usan para llevar a cabo la soldadura.

Señalar que las Figs. 2 a 10 representan el electrodo principal o electrodo de arrastre, mostrando solamente un electrodo solo por comodidad.

15 El método de soldadura de la presente invención se lleva a cabo sobre un acero CSEF con alto contenido en cromo como base de metal (material que no se ha soldado). Los ejemplos de los aceros CSEF con un alto contenido de Cr, que están en conformidad con diversas normas, incluyen SA387Gr.91, Gr.122, Gr.92, Gr.911 y SA213Gr.T91, que están definidos por una norma ASTM o una norma ASME; X10CrMoVNb9-1 definido por la norma EN; y SFVAF28, SFVAF29, STBA28, STPA28, y SCMV28, que están definidos por las Technical Standards for Thermal Power Generation Equipment-Interpretation of the Technical Standards of Thermal Power Equipment [Capítulo 10 Soldadura], editado por la Thermal and Nuclear Power Engineering Society. De acuerdo con la presente invención, la expresión "con alto contenido de Cr" como se usa en el presente documento, significa que el contenido de Cr es del 8 % en masa o más.

25 La composición química de la base de metal contiene preferentemente cantidades predeterminadas de C, Si, Mn, P, S, Ni, Cr, Mo, V, Nb, Al, Ti, Zr y N siendo el resto Fe e impurezas inevitables. Además, la composición química de la base de metal puede contener una cantidad predeterminada de Cu. Señalar que los contenidos de los componentes respectivos en la base de metal se determinan con respecto a la base de metal total.

30 De manera específica, la base de metal contiene 0,08 a 0,12 % en masa de C, 0,20 a 0,50 % en masa de Si, 0,30 a 0,60 % en masa de Mn, 0,020 % en masa o menos de P, 0,010 % en masa o menos de S, 0,40 % en masa o menos de Ni, 8,00 a 9,50 % en masa de Cr, 0,85 a 1,05 % en masa de Mo, 0,18 a 0,25 % en masa de V, 0,06 a 0,10 % en masa de Nb, 0,02 % en masa o menos de Al, 0,01 % en masa o menos de Ti, 0,01 % en masa de Zr, y 0,030 a 0,070 % en masa de N, siendo el resto Fe e impurezas inevitables. La base de metal puede contener además 0,06 % en masa o menos de Cu.

40 Un ejemplo de un método para suprimir la aparición del agrietamiento en caliente es el que implica restringir la entrada de calor. Sin embargo, la corriente de soldadura y la tensión de arco tienden a cambiar su energía para su uso en la fusión del alambre dependiendo de los entornos de soldadura, incluido el estado de una pieza de trabajo y de un punto conductor. En otras palabras, incluso cuando se lleva a cabo una soldadura con la misma aportación térmica, la posibilidad de aparición del agrietamiento en caliente sería diferente. Por este motivo, los inventores han resuelto finalmente el problema especificando la velocidad de alimentación del alambre, la velocidad de la soldadura y la cantidad de soldadura por unidad de longitud.

45 Es decir, el método de soldadura de acuerdo con la presente invención es el método de soldadura por arco sumergido en tándem para un acero CSEF con un alto contenido de Cr que se caracteriza por llevar a cabo la soldadura a una velocidad V_L de alimentación del alambre de un electrodo principal de 45 a 90 g/min; una velocidad de alimentación del alambre V_T de un electrodo de arrastre de 60 a 110 g/min; una velocidad v de soldadura de 30 a 55 cm/min; y una cantidad de soldadura por unidad de longitud de 2,8 a 3,8 g/cm. Ahora, se proporcionará una descripción de los motivos para especificar los intervalos numéricos para las condiciones respectivas.

<Velocidades de alimentación del alambre: velocidad V_L de alimentación del alambre del electrodo principal de 45 a 90 g/min; y velocidad V_T de alimentación del alambre del electrodo de arrastre de 60 a 110 g/min>

55 Cuando la velocidad de alimentación del alambre del electrodo principal es menor de 45 g/min, o cuando la velocidad de alimentación del alambre del electrodo de arrastre es menor de 60 g/min, la corriente de soldadura se vuelve extremadamente baja, haciendo que el arco sea inestable, lo que puede provocar un fallo de penetración. Por otra parte, cuando la velocidad de alimentación del alambre del electrodo principal excede de 90 g/min, o cuando la velocidad de alimentación del alambre del electrodo de arrastre excede de 110 g/min, la cantidad de soldadura se vuelve extremadamente grande, lo que puede producir agrietamiento en caliente, y degradar la capacidad de eliminación de la escoria. Por tanto, las velocidades de alimentación del alambre se ajustan de tal manera que cuando la velocidad V_L de alimentación del alambre del electrodo principal está en un intervalo de 45 a 90 g/min; y la velocidad V_T de alimentación del alambre del electrodo de arrastre está en un intervalo de 60 a 110 g/min.

65 La velocidad de alimentación del alambre del electrodo principal es preferentemente de 50 g/min o mayor, y más

preferentemente de 55 g/min o mayor desde el punto de vista de suprimir la incidencia del fallo de penetración. La velocidad de alimentación del alambre del electrodo principal es preferentemente de 85 g/min o menor, y más preferentemente de 80 g/min o menor desde el punto de vista de suprimir más eficazmente la aparición del agrietamiento en caliente y la degradación de la capacidad de eliminación de la escoria. La velocidad de alimentación del alambre del electrodo de arrastre es preferentemente de 65 g/min o mayor, y más preferentemente de 70 g/min o mayor, desde el punto de vista de suprimir más eficazmente la incidencia de fallo de penetración. La velocidad de alimentación del alambre del electrodo de arrastre es preferentemente de 105 g/min o menor, y más preferentemente de 100 g/min o menor en términos de suprimir más eficazmente la aparición del agrietamiento en caliente y la degradación de la capacidad de eliminación de la escoria.

Con respecto a las velocidades de alimentación del alambre, cuando se compara el intervalo de velocidades de alimentación del alambre del electrodo principal con el intervalo de velocidades de alimentación del alambre del electrodo de arrastre, el intervalo de velocidades de alimentación del alambre del electrodo principal es más pequeño que el del electrodo de arrastre. Aquí, la cantidad de metal soldado producida por el electrodo principal se establece a un valor más pequeño que el del electrodo de arrastre, lo que puede hacer que la profundidad de la perla sea menor y que la anchura de la perla sea mayor, en comparación con el caso de ajustar la cantidad de metal soldado por el electrodo principal igual a la del electrodo de arrastre. Por tanto, esta disposición es ventajosa desde el punto de vista del agrietamiento en caliente. En consecuencia, las velocidades de alimentación del alambre se ajustan preferentemente del siguiente modo: velocidad V_L del electrodo principal < velocidad V_T del electrodo de arrastre.

<Velocidad v de soldadura: 30 a 55 cm/min>

Cuando la velocidad de soldadura es menor de 30 cm/min, la cantidad de soldadura es extremadamente grande, lo que puede producir el agrietamiento en caliente. Por otra parte, cuando la velocidad de la soldadura excede de 55 cm/min, el suministro de un metal fundido no puede capturarse con la velocidad de soldadura, haciendo que la forma de la perla sea inestable, lo que puede dar como resultado una ausencia de fusión y/o la aparición de inclusiones de escoria. Por tanto, la velocidad de soldadura v se ajusta de 30 a 55 cm/min. La velocidad de soldadura se ajusta preferentemente a 35 cm/min o superior desde el punto de vista de suprimir más eficazmente la aparición del agrietamiento en caliente. Además, la velocidad de soldadura es preferentemente de 50 cm/min o inferior en términos de estabilizar la forma de la perla y prevenir la ausencia de fusión y la inclusión de escoria. Señalar que la velocidad de soldadura es una velocidad de movimiento de las puntas de soldadura 11a y 11b de un soldador en una dirección de soldadura como se ilustra en la Fig. 1.

<Cantidad de soldadura por unidad de longitud: 2,8 a 3,8 g/cm>

Se calculó una cantidad de soldadura por unidad de longitud mediante la "velocidad de alimentación del alambre/velocidad de soldadura". Es decir, la cantidad de soldadura por unidad de soldadura se determina por la relación entre la velocidad de alimentación del alambre y la velocidad de la soldadura. Aquí, la velocidad de alimentación del alambre es la suma de la velocidad de alimentación del alambre del electrodo principal y la velocidad de alimentación del alambre del electrodo de arrastre. El punto de la presente invención es que la cantidad de soldadura por unidad de longitud se controle adecuadamente. Cuando la cantidad de soldadura por unidad de longitud es menor de 2,8 g/cm, la cantidad de soldadura se vuelve extremadamente pequeña, empeorando la eficacia de la soldadura. Por otra parte, cuando la cantidad de soldadura por unidad de longitud excede de 3,8 g/cm, el estrés generado por la contracción se vuelve más grande. Además, la forma de la perla toma una forma similar a la de una pera, de tal manera que la dirección de solidificación del metal soldado es horizontal con respecto al centro de la perla, haciendo que la dirección de la fuerza de contracción sea perpendicular a la parte finalmente solidificada. Por tanto, es más probable que se produzca el agrietamiento en caliente. En consecuencia, la cantidad de soldadura por unidad de longitud se establece de 2,8 a 3,8 g/cm. La cantidad de soldadura por unidad de longitud es preferentemente de 2,9 g/cm o más, y más preferentemente de 3,0 g/cm o más para mejorar adicionalmente la eficacia de la soldadura. La cantidad de soldadura por unidad de longitud se establece preferentemente a 3,7 g/cm o menos, y más preferentemente a 3,6 g/cm o menos desde el punto de vista de suprimir más eficazmente la aparición del agrietamiento en caliente.

Preferentemente, además de especificar las condiciones de soldadura como anteriormente, el método de soldadura de la presente invención utiliza una combinación de un alambre de soldadura predeterminado y un fundente de soldadura predeterminado. De manera específica, el alambre de soldadura contiene cantidades predeterminadas de C, Si, Mn, P, S, Ni, Cr, Mo, V, Nb y N siendo el resto Fe e impurezas inevitables. y tiene un diámetro del alambre predeterminado. El alambre de soldadura no está afectado por la composición de la base de metal, pero tiene preferentemente sustancialmente la misma función mecánica que la base de metal. Por tanto, el alambre de soldadura puede contener una cantidad predeterminada de Cu, B, W y/o Co (uno o más elementos seleccionados entre estos cuatro elementos) según sea adecuado. El fundente de soldadura contiene cantidades predeterminadas de CaF_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 , Si y SiO_2 , y tiene una basicidad predeterminada. El alambre de soldadura y el fundente de soldadura se describirán a continuación.

[Alambre de soldadura]

Preferentemente, el alambre de soldadura usado en la presente invención contiene 0,03 a 0,13 % en masa de C, 0,05 a 0,50 % en masa de Si, 0,50 a 2,20 % en masa de Mn, 0,015 % en masa o menos de P, 0,010 % en masa o menos de S, más de 0,20 % en masa y 1,00 % en masa o menos de Ni, 8,00 a 10,50 % en masa de Cr, 0,20 a 1,20 % en masa de Mo, 0,05 a 0,45 % en masa de V, 0,020 a 0,080 % en masa de Nb, y 0,02 a 0,08 % en masa de N, y contiene además una cantidad predeterminada de Cu, B, W y/o Co (uno o más seleccionados entre estos cuatro elementos) según sea adecuado, siendo el resto Fe e impurezas inevitables, y tiene un diámetro del alambre de 2,0 a 5,0 mmφ. Ahora, se proporcionará una descripción de los motivos para especificar los intervalos numéricos de los componentes respectivos. Señalar que los contenidos de los componentes respectivos en el alambre de soldadura se determinan con respecto al alambre de soldadura total.

<C: 0,03 a 0,13 % en masa>

Carbono (C), junto con N, se une a Cr, Mo, W, V, Nb y B, para precipitar diversos tipos de carbonitruros, y de esta forma tiene el efecto de mejorar la resistencia a la rotura por fluencia de un metal soldado. Cuando el contenido de C es menor del 0,03 % en masa, el efecto anteriormente mencionado no se puede obtener suficientemente. Por otra parte, cuando el contenido de C se vuelve excesivo, específicamente, supera el 0,13 % en masa, se puede producir el agrietamiento en caliente en algunos casos. Por tanto, el contenido de C en el alambre de soldadura se ajusta de 0,03 a 0,13 % en masa. El contenido de C es preferentemente de 0,04 % en masa o más para mejorar adicionalmente el efecto anteriormente mencionado. El contenido de C es preferentemente del 0,12 % en masa o menor desde el punto de vista de suprimir más eficazmente la aparición del agrietamiento en caliente.

<Si: 0,05 a 0,50 % en masa>

El silicio (Si) sirve como agente desoxidante y tiene el efecto de reducir el volumen de oxígeno en un metal depositado para mejorar la tenacidad de un metal soldado. Señalar que cuando el contenido de Si es menor de 0,05 % en masa, el efecto anteriormente mencionado no se puede obtener suficientemente. Por otra parte, como el Si es un elemento formador de ferrita, cuando el contenido de Si se vuelve excesivo, específicamente, supera el 0,50 % en masa, se induce la δ-ferrita residual en el metal soldado, degradando así la tenacidad del metal soldado. Por tanto, el contenido de Si en el alambre de soldadura se ajusta del 0,05 al 0,50 % en masa. El contenido de Si es preferentemente superior al 0,05 % en masa para mejorar adicionalmente el efecto anteriormente mencionado. Para suprimir más eficazmente la degradación en la tenacidad del metal soldado, el contenido de Si se ajusta preferentemente al 0,48 % en masa o menos, y más preferentemente al 0,45 % en masa o menos.

<Mn: 0,50 a 2,20 % en masa, y Ni: más de 0,20 % en masa y 1,00 % en masa o menos>

El manganeso (Mn) sirve como agente desoxidante y tiene el efecto de reducir el volumen de oxígeno en un metal depositado para mejorar la tenacidad de un metal soldado. Mn y níquel (Ni) son elementos formadores de austenita y ambos tienen el efecto de suprimir la degradación en la tenacidad de un metal soldado debido a la δ-ferrita residual en el metal fundido. Señalar que cuando el contenido de Mn es menor del 0,50 % en masa, o cuando el contenido de Ni es del 0,20 % en masa o menos, estos efectos no se pueden obtener, degradando así la tenacidad del metal soldado. Por otra parte, cuando el contenido de Mn es superior al 2,20 % en masa, o cuando el contenido de Ni es superior al 1,00 % en masa, se degrada la tenacidad del metal soldado. Por tanto, el contenido de Mn en el alambre soldado se ajusta de 0,50 a 2,20 % en masa, y el contenido de Ni en el alambre de la soldadura se ajusta a más de un 0,20 % en masa y un 1,00 % en masa o menos. Sin embargo, cuando el contenido total de Mn y Ni excede del 1,50 % en masa, la tenacidad del metal soldado se degrada, y simultáneamente disminuye una transformación en el punto A_{c1} de un metal depositado, imposibilitando realizar el templado a elevada temperatura, sin conseguir estabilizar la microestructura del metal soldado. Por tanto, el contenido total de Mn y Ni se ajusta preferentemente al 1,50 % en masa o menos.

El contenido de Mn es preferentemente de 0,55 % en masa o más para mejorar adicionalmente el efecto anteriormente mencionado. Para suprimir más eficazmente la degradación en la tenacidad del metal soldado, el contenido de Mn se ajusta preferentemente al 2,15 % en masa o menos.

El contenido de Ni es preferentemente del 0,25 % en masa o más, y más preferentemente del 0,30 % en masa o más para mejorar adicionalmente el efecto anteriormente mencionado. Para suprimir más eficazmente la degradación en la tenacidad del metal soldado, el contenido de Ni es preferentemente menor del 0,95 % en masa.

<Cr: 8,00 a 10,50 % en masa>

El cromo (Cr) es un elemento principal del acero CSEF con alto contenido de Cr, que se va a soldar mediante el alambre de soldadura utilizado en la presente invención. El Cr es un elemento esencial para asegurar la resistencia a la oxidación y la resistencia a altas temperaturas. Señalar que cuando el contenido de Cr es menor de 8,00 % en masa, la resistencia a la oxidación y la resistencia a elevadas temperaturas de un metal soldado se vuelve insuficiente. Por otra parte, como el Cr es un elemento formador de ferrita, cuando el contenido de Cr se vuelve excesivo, específicamente, supera el 10,50 % en masa, se induce la δ-ferrita residual, degradando así la tenacidad

del metal soldado. Por tanto, el contenido de Cr en el alambre de soldadura se ajusta del 8,00 al 10,50 % en masa. Con esta disposición, se consiguen una excelente resistencia a la oxidación y resistencia a altas temperatura. El contenido de Cr es preferentemente de 8,05 % en masa o más para mejorar adicionalmente el efecto anteriormente mencionado. Para suprimir más eficazmente la degradación en la tenacidad del metal soldado, el contenido de Cr es preferentemente del 10,45 % en masa o menos.

<Mo: 0,20 a 1,20 % en masa>

El molibdeno (Mo) es un elemento de refuerzo de la solución sólida y tiene el efecto de mejorar la resistencia a la rotura por fluencia de un metal soldado. Cuando el contenido de Mo es menor del 0,20 % en masa, no se puede obtener una resistencia a la rotura por fluencia suficiente. Por otra parte, como el Mo es un elemento formador de ferrita, cuando el contenido de Mo se vuelve excesivo, específicamente, supera el 1,20 % en masa, se induce la δ -ferrita residual en el metal soldado, degradando así la tenacidad del metal soldado. Por tanto, el contenido de Mo en el alambre de soldadura se ajusta del 0,20 al 1,20 % en masa. El contenido de Mo es preferentemente de 0,22 % en masa o más para mejorar adicionalmente el efecto anteriormente mencionado. Para suprimir más eficazmente la degradación en la tenacidad del metal soldado, el contenido de Mo es preferentemente del 1,18 % en masa o menos.

<V: 0,05 a 0,45 % en masa>

El vanadio (V) es un elemento de refuerzo de la precipitación y tiene el efecto de precipitar como un carbonitruro para mejorar la resistencia a la rotura por fluencia de un metal soldado. Cuando el contenido de V es menor de 0,05 % en masa, no se puede obtener una resistencia a la rotura por fluencia suficiente. Por otra parte, como el V es también un elemento formador de ferrita, cuando el contenido de V se vuelve excesivo, específicamente, supera el 0,45 % en masa, se induce la δ -ferrita residual en el metal soldado, degradando así la tenacidad del metal soldado. Por tanto, el contenido de V en el alambre de soldadura se ajusta del 0,05 al 0,45 % en masa. El contenido de V es preferentemente de 0,10 % en masa o más para mejorar adicionalmente el efecto anteriormente mencionado. Para suprimir más eficazmente la degradación en la tenacidad del metal soldado, el contenido de V es preferentemente del 0,40 % en masa o menos.

<Nb: 0,020 a 0,080 % en masa>

El niobio (Nb) es un elemento que contribuye al refuerzo de la solución sólida y a la estabilización de la resistencia a la rotura por fluencia precipitando como nitruro. Cuando el contenido de Nb es menor del 0,020 % en masa, no se puede obtener una resistencia a la rotura por fluencia suficiente. Por otra parte, como el Nb es también un elemento formador de ferrita, cuando el contenido de Nb se vuelve excesivo, específicamente, supera el 0,080 % en masa, se induce la δ -ferrita residual en el metal soldado, degradando así la tenacidad del metal soldado. Por tanto, el contenido de Nb en el alambre de soldadura se ajusta del 0,020 al 0,080 % en masa. El contenido de Nb es preferentemente de 0,022 % en masa o más para mejorar adicionalmente el efecto anteriormente mencionado. Para suprimir más eficazmente la degradación en la tenacidad del metal soldado, el contenido de Nb es preferentemente del 0,078 % en masa o menos.

<P: 0,015 % en masa o menos>

El fósforo (P) es un elemento que potencia la sensibilidad al agrietamiento en caliente de un metal soldado. Cuando el contenido de P supera el 0,015 % en masa, se podría producir el agrietamiento en caliente en algunos casos. Por tanto, el contenido de P en el alambre de soldadura está limitado al 0,015 % en masa o menos. Para suprimir más eficazmente la aparición del agrietamiento en caliente, el contenido de P es preferentemente del 0,010 % en masa o menos.

<S: 0,010 % en masa o menos>

El azufre (S) es un elemento que potencia la sensibilidad al agrietamiento en caliente de un metal soldado. Cuando el contenido de S supera el 0,010 % en masa, se podría producir el agrietamiento en caliente en algunos casos. Por tanto, el contenido de S en el alambre de soldadura está limitado al 0,010 % en masa o menos. Para suprimir más eficazmente la aparición del agrietamiento en caliente, el contenido de S es preferentemente del 0,009 % en masa o menos.

<N: 0,02 a 0,08 % en masa>

El nitrógeno (N), junto con C, se une a Cr, Mo, W, V, Nb y B, para precipitar diversos tipos de carbonitruros, y de esta forma tiene el efecto de mejorar la resistencia a la rotura por fluencia de un metal soldado. Sin embargo, cuando el contenido de N es menor del 0,02 % en masa, el efecto anteriormente mencionado no se puede obtener suficientemente. Por otra parte, cuando el contenido de N se vuelve excesivo, específicamente, supera el 0,08 % en masa, se degrada la capacidad de eliminación de la escoria. Por tanto, el contenido de N en el alambre de soldadura se ajusta del 0,02 al 0,08 % en masa. El contenido de N es preferentemente del 0,03 % en masa o más para mejorar

adicionalmente el efecto de resistencia a la rotura por fluencia. Además, el contenido de N es preferentemente del 0,07 % en masa o más para mejorar la capacidad de eliminación de la escoria.

5 A continuación, se proporcionará una descripción de los motivos para especificar los intervalos numéricos de Cu, B, W y Co, que pueden incluirse en cantidades predeterminadas en el alambre de soldadura según sea adecuado.

<Cu: 1,70 % en masa o menos>

10 El cobre (Cu) puede estar contenido en el alambre de soldadura por que es un elemento formador de austenita y tiene el efecto de suprimir la degradación en la tenacidad de un metal soldado debido a la δ -ferrita residual en el metal fundido. Por otra parte, cualquier contenido de Cu excesivo podría producir agrietamiento en caliente en algunos casos. Por tanto, el contenido de Cu se ajusta al 1,70 % en masa o menos. El límite superior del Cu es preferentemente del 1,0 % en masa, y más preferentemente del 0,5 % en masa. Un método para contener Cu en el alambre de soldadura puede ser revestirlo sobre la superficie del alambre.

15

<B: 0,005 % en masa o menos>

20 El boro (B) puede incluirse en el alambre de soldadura porque B tiene el efecto de dispersar y estabilizar las partículas de carburo cuando se añade incluso en una pequeña cantidad y de potenciar la resistencia a la rotura por fluencia de un metal soldado. Por otra parte, cualquier contenido de B excesivo puede producir agrietamiento en caliente en algunos casos. Por tanto, el contenido de B se ajusta a 0,005 % en masa o menos. El límite superior del B es preferentemente del 0,003 % en masa, y más preferentemente del 0,0015 % en masa.

25

<W: 2,0 % en masa o menos>

30 El tungsteno (W) puede estar incluido en el alambre de soldadura porque el W es un elemento que contribuye a la estabilización de la resistencia a la rotura por fluencia mediante el refuerzo de la solución sólida de la matriz y la precipitación de las partículas finas de carburo. Por otra parte, como el W es también un elemento formador de ferrita, cualquier contenido de W excesivo induce la degradación en la tenacidad de un metal soldado debido a la δ -ferrita residual en el metal soldado. Por tanto, el contenido de W se ajusta al 2,0 % en masa o menos. El límite superior del W es preferentemente del 1,8 % en masa, y más preferentemente del 1,7 % en masa.

35

<Co: 3,0 % en masa o menos>

40 El cobalto (Co) puede estar incluido en el alambre de soldadura porque el Co es un elemento que suprime la δ -ferrita residual. Por otra parte, cualquier contenido excesivo de Co disminuye un punto de transformación A_{c1} , imposibilitando realizar el templeado a elevada temperatura, sin conseguir estabilizar la microestructura del metal soldado. Por tanto, el contenido de Co se ajusta al 3,0 % en masa o menos. El límite superior del Co es preferentemente del 2,0 % en masa, y más preferentemente del 1,8 % en masa.

40

<Resto: Fe e impurezas inevitables>

45 Los restantes componentes del alambre de soldadura están compuestos por Fe e impurezas inevitables. Los ejemplos de impurezas inevitables pueden incluir Ti y Al.

45

<Diámetro del alambre de soldadura>

50 El diámetro del alambre del alambre de soldadura utilizado en la presente invención se ajusta preferentemente de 2,0 a 5,0 mm ϕ . Cuando el diámetro del alambre de cada alambre es menor de 2,0 mm ϕ , no se puede obtener la cantidad de soldadura suficiente, que sacrifica la eficacia de la soldadura. Por otra parte, cuando el diámetro del alambre excede de 5,0 mm ϕ , la cantidad de soldadura es grande incluso para las disposiciones anteriormente mencionadas para las condiciones de la soldadura, no consiguiendo suprimir la aparición del agrietamiento en caliente en algunos casos.

55

[Fundente de soldadura]

<CaF₂ en el fundente: 10 a 60 % en masa>

60 CaF₂ disminuye el punto de fusión de la escoria de una escoria para mejorar su fluidez y, por tanto, tiene el efecto de ajustar la forma de la perla. Señalar que cuando se carece de contenido de CaF₂, el efecto anteriormente mencionado no se puede obtener suficientemente, aunque cualquier contenido excesivo de CaF₂ produce ondulaciones en la superficie de la perla convirtiéndola en no uniforme y rugosa, degradando la humectabilidad. Por tanto, el contenido de CaF₂ en el fundente de soldadura se ajusta del 10 al 60 % en masa.

65

<CaO en el fundente: 2 a 25 % en masa>

El CaO tiene el efecto de ajustar la viscosidad de la escoria para controlar la forma de la perla. Señalar que cuando se carece de contenido de CaO, el efecto anteriormente mencionado no se puede obtener suficientemente, aunque cualquier contenido excesivo de CaO puede generar una depresión cóncava sobre la superficie de la perla, degradando por tanto la humectabilidad. Por tanto, el contenido de CaO en el fundente se ajusta del 2 al 25 % en masa.

5

<MgO en el fundente: 10 a 50 % en masa>

Al igual que el CaO, el MgO tiene el efecto de controlar la viscosidad de la escoria para controlar la forma de la perla. Señalar que cuando se carece de contenido de MgO, el efecto anteriormente mencionado no se puede obtener suficientemente, aunque cualquier contenido excesivo de MgO puede generar una depresión cóncava sobre la superficie de la perla, degradando por tanto la humectabilidad. Por tanto, el contenido de MgO en el fundente se ajusta del 10 al 50 % en masa.

10

<Al₂O₃ en el fundente: 2 a 30 % en masa>

El Al₂O₃ tiene el efecto de ajustar la fluidez de la escoria aumentando el punto de fusión de la escoria para controlar la forma de la perla. Señalar que cuando se carece de contenido de Al₂O₃, el efecto anteriormente mencionado no se puede obtener suficientemente, mientras que cualquier contenido excesivo de Al₂O₃ puede producir la calcinación de la escoria sobre una zona de soldado. Por tanto, el contenido de Al₂O₃ en el fundente de soldadura se ajusta del 2 al 30 % en masa.

20

<El total de Si y SiO₂ en el fundente de soldadura: 6 a 30 % en masa en total (en términos de SiO₂)>

El silicio (Si) tiene el efecto de ajustar la viscosidad de la escoria para controlar la forma de la perla. Señalar que cuando se carece de contenido de Si, el efecto anteriormente mencionado no se puede obtener suficientemente, mientras que cuando el contenido de Si es excesivo, el Si experimenta reducción bajo una atmósfera de arco para aumentar el contenido de Si en el metal soldado, produciendo la calcinación de la escoria sobre la zona de soldado. Lo mismo pasa con el Si que se añade de forma adecuada como agente desoxidante al fundente de soldadura. Por este motivo, es necesario limitar el contenido total de Si y SiO₂ en el fundente de soldadura, incluyendo SiO₂ en un vidrio líquido que se usa como agente de fijación durante la granulación del fundente. En consecuencia, el contenido total de Si y SiO₂ en el fundente se ajusta de 6 a 30 % en masa en términos de SiO₂.

25

30

Como se puede observar del perfil mencionado anteriormente, la expresión "total de Si y SiO₂" como se usa en el presente documento, significa la cantidad total de Si en la forma de SiO₂ y Si en cualquier forma diferente de SiO₂. El "total de Si y SiO₂" representado "en términos de SiO₂" se obtiene determinando la cantidad de SiO₂ para Si en la forma de SiO₂, determinando al mismo tiempo la cantidad de Si en formas diferentes de SiO₂ y a continuación convirtiendo la cantidad determinada de Si en una cantidad de SiO₂, seguido por sumar ambas cantidades determinadas de SiO₂.

35

40

La anterior descripción se ha proporcionado sobre los componentes preferibles del fundente. Estos componentes preferibles se pueden añadir solos o combinados en forma de un compuesto que contenga algunos de ellos, o en la forma de mineral o de un fundente fundido. Por ejemplo, se puede añadir CaF₂ como fluorita; CaO como cal hidratada y un fundente fundido; MgO como clínquer de magnesita y un fundente fundido; Al₂O₃ como alúmina y un fundente fundido; y SiO₂ como un feldespato potásico, feldespato sódico y un fundente fundido. Al fundente se pueden añadir un polvo de aleación, un óxido y un fluoruro según sea adecuado, además de los componentes esenciales anteriormente mencionados, para ajustar la composición de la aleación y la facilidad de trabajo de la soldadura.

45

La basicidad del fundente para la soldadura por arco sumergido usada en la presente invención está comprendida preferentemente en un intervalo de 2,3 a 2,7. Cuando la basicidad es inferior a 2,3, la cantidad de oxígeno en el metal soldado no disminuye lo suficiente, por lo cual, el metal soldado tiene una tenacidad baja. Por otra parte, cuando la basicidad excede de 2,7, el aspecto externo de la perla y la forma de la perla se degradan. Por tanto, la basicidad se ajusta en un intervalo de 2,3 a 2,7. Para suprimir más eficazmente la degradación en la tenacidad del metal soldado, la basicidad es preferentemente del 2,4 % en masa o más. Para suprimir más eficazmente la degradación del aspecto externo de la perla y la forma de la perla, la basicidad es preferentemente del 2,6 % en masa o menos.

50

55

Señalar que, en la presente invención, la basicidad está representada por la fórmula (1) siguiente.

60

$$\text{Basicidad} = (\text{CaF}_2 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{SrO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{Li}_2\text{O} + 1/2 (\text{MnO} + \text{FeO})) / (\text{SiO}_2 + 1/2 (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2)) \quad (1)$$

donde cada compuesto indica un contenido (% en masa) del compuesto con respecto a la masa total del fundente.

65

Además de las condiciones de soldadura anteriormente mencionadas, el método de soldadura de la presente invención ajusta preferentemente una distancia entre la punta y la base de metal, la forma de la punta y un ángulo de la punta a valores o características predeterminadas.

5 <Distancia entre la punta y la base de metal>

10 Como se ha mencionado anteriormente, un alambre para la soldadura por arco sumergido que es el mismo que el del alambre de CSEF con alto contenido en cromo tiene una resistencia eléctrica mayor, en comparación con los alambres sólidos que se fabrican de los mismos materiales que el acero 1,25Cr-0,5Mo, el acero 2,25Cr-1Mo, y el
15 acero 2,25Cr-1Mo-V. Por tanto, este alambre genera una cantidad más grande de calor Joule, aumentando por tanto la cantidad de soldadura. Es decir, el uso del alambre fabricado del mismo material que el acero CSEF con alto contenido en Cr conduce a una cantidad de soldadura más grande incluso para la misma corriente de soldadura, produciendo fácilmente el agrietamiento en caliente. La cantidad de calor Joule generada crece a medida que
20 aumenta la distancia entre cada una de las puntas de soldadura 11a, 11b y 30 y la base de metal 10, que se ilustran en las Figs. 1, 5 a 7 y 8 a 10. Por tanto, para suprimir adicionalmente la aparición del agrietamiento en caliente, la distancia L entre la punta y la base de metal se controla preferentemente para que esté comprendida en el intervalo de 20 a 40 mm. Cuando la distancia entre la punta y la base de metal es menor de 20 mm, el extremo principal de la punta 13a, 13b o 30a de la punta podría quedar erosionado por el arco. Cuando la distancia entre la punta y la base de metal excede de 40 mm, la cantidad de soldadura podría ser excesiva. La distancia L entre la punta y la base de
25 metal es preferentemente de 25 mm o más para suprimir adicionalmente la erosión de los extremos principales de las puntas 13a, 13b y 30a, y 35 mm o menos, para suprimir adicionalmente la cantidad de soldadura excesiva. La distancia entre la punta y la base de metal del electrodo de arrastre debe ajustarse para que sea más grande que la del electrodo principal para evitar que la punta del electrodo de arrastre entre en contacto con la perla de soldadura formada por el electrodo principal.

30 Aquí, como se muestra en las Figs. 1, 5 a 7 y 8 a 10, la distancia entre la punta y la base de metal es la distancia L que se extiende verticalmente entre la base de metal 10 y el extremo principal de la punta 13a, 13b o 30a donde el alambre 12a, 12b o 40 sobresale finalmente desde la punta de la soldadura 11a, 11b o 30.

30 <Forma de la punta>

La forma de la punta puede tener una forma de tubo recto que se muestra en la Fig. 1, una forma de tubo doblado en ángulo recto que se muestra en las Figs. 2 a 4, o la forma que se muestra en la Fig. 3b de la publicación de patente japonesa n.º S62 (1987)-58827. La forma de la punta se selecciona según sea adecuado en términos de asegurar la
35 capacidad de alimentación del alambre y la estabilización de la posición de alimentación eléctrica. En particular, como se ilustra en las Figs. 2 a 4, en una punta con forma de tubo doblado en ángulo recto en la que el extremo principal de la punta 30a está doblado en un intervalo que no interrumpe la alimentación del alambre, se estabiliza una posición de alimentación eléctrica. En consecuencia, se estabiliza la velocidad de alimentación del alambre.

40 <Ángulo de la punta>

Como se muestra en las Figs. 1, 5 a 7 y 8 a 10, los ángulos de la punta se definen como un ángulo que está formado por una línea vertical respecto de la superficie de la base de metal 10 y cada una de las líneas del eje de los
45 extremos principales de las puntas 13a, 13b y 30a desde los cuales los alambres respectivos 12a, 12b y 40 sobresalen finalmente desde las puntas de las soldaduras 11a, 11b y 30. Los ángulos de las puntas alteran el grado de calentamiento de los alambres de soldadura con el arco de soldadura, aumentando o disminuyendo por tanto en consecuencia la velocidad de alimentación del alambre. De manera específica, para la misma corriente de soldadura y la misma distancia L entre la punta y la base de metal, la velocidad de alimentación del alambre en un ángulo de empuje β (véanse las Figs. 1, 6 y 9) se vuelve mayor que la del ángulo de arrastre α (véanse las Figs. 1, 5 y 8). Por
50 este motivo, los ángulos de las puntas alteran el grado de calentamiento de los alambres de soldadura con el arco de soldadura, aumentando o disminuyendo por tanto en consecuencia la cantidad de la soldadura. Para estabilizar la velocidad de alimentación del alambre, preferentemente, el ángulo de la punta del electrodo principal se controla para tener el ángulo de arrastre α en un intervalo de 0° a 50°, mientras que el ángulo de la punta del electrodo de arrastre se controla para tener el ángulo de empuje β en un intervalo de 0° a 50°.

55 Como se ilustra en las Figs. 1, 6, y 9, la expresión "ángulo de empuje" como se usa en el presente documento significa un ángulo formado por un alambre inclinado y una línea vertical que se estira desde un punto donde se expone el alambre desde el extremo principal de la punta 11b hasta una línea de soldadura, con la condición de que la soldadura se lleve a cabo con el alambre inclinado en la dirección opuesta a la dirección de desplazamiento de la soldadura con respecto a la línea vertical.
60

65 Como se ilustra en las Figs. 1, 5, y 8, la expresión "ángulo de arrastre" como se usa en el presente documento significa un ángulo formado por un alambre inclinado y una línea vertical que se estira desde un punto donde se expone el alambre desde el extremo principal de la punta 11a hasta una línea de soldadura, con la condición de que la soldadura se lleve a cabo con el alambre inclinado en la dirección de desplazamiento de la soldadura con respecto a la línea vertical.

Señalar que el carácter de referencia W en la Fig. 1 denota una distancia entre los electrodos. La distancia W es una distancia en la dirección horizontal entre el extremo principal del alambre 12a del electrodo principal 15a y el extremo principal del alambre 12b del electrodo de arrastre 15b.

5 Las características de la fuente eléctrica y de polaridad de la fuente eléctrica en el método de soldadura de la presente invención se describirán a continuación.

10 Las características de la fuente eléctrica pueden ser características tanto de tensión descendente como características de tensión constante. La expresión "características de tensión descendente" como se usa en el presente documento significa las características de una fuente eléctrica que puede soldar de forma estable con menos cambios en la corriente de soldadura incluso aunque varíe la longitud del arco. De manera específica, cuando la longitud del arco se alarga, la velocidad de alimentación del alambre aumenta temporalmente, mientras que cuando la longitud del arco se acorta, la velocidad de alimentación del alambre disminuye, por lo cual, la corriente se estabiliza hasta un valor constante. La polaridad de la fuente eléctrica puede ser bien un electrodo positivo de corriente continua (DCEP) o de corriente alterna (CA).

20 Señalar que la corriente de soldadura y el tensión de arco se ajustan con medios para controlar la velocidad de alimentación del alambre anteriormente mencionada en un intervalo adecuado.

El método de soldadura de la presente invención se aplica preferentemente a calderas y turbinas, y reactores térmicos como se ha mencionado anteriormente. Por tanto, el espesor de la base de metal se ajusta preferentemente de 150 a 450 mm. Sin embargo, el método de soldadura de la presente invención puede aplicarse también a la soldadura de una base de metal de menos de 150 mm de grosor. De forma similar, en el método de soldadura de la presente invención, la diana preferible que se va a soldar es una ranura estrecha con la forma que se muestra en la Fig. 11 como la forma de ranura de la base de metal. Sin embargo, el método de soldadura de la presente invención puede aplicarse también a una ranura en V que se muestra en la Fig. 12 y una ranura en X (no se muestra).

30 Aquí, en la presente invención, la ranura estrecha de la base de metal 10 se define como la que tiene un grosor t de 50 mm o más y un ángulo de ranura θ de 0 a 5° (véase la Fig. 11). Por ejemplo, se muestra una probeta 20 en la Fig. 11, que se ha utilizado en los ejemplos que se van a mencionar posteriormente, con un espesor t de 250 mm y un ángulo de ranura θ de 4° (= 2° + 2°).

35 Ejemplos

Con respecto a los ejemplos comprendidos en el alcance de la presente invención, se describirán sus efectos a continuación mediante su comparación con los Ejemplos comparativos que se no están comprendidos en el alcance de la presente invención.

40 En primer lugar, se prepararon tres tipos de bases metálicas de aceros CSEF con un alto contenido de cromo usando las composiciones químicas que se muestran en la Tabla 1. Como se muestra en la Fig. 11, una ranura estrecha con un grosor t de 250 mm, un radio de curvatura R de una ranura inferior de 10 mm, y un ángulo de ranura θ de 4° (= 2° + 2°) se formó en las bases metálicas mediante mecanizado, produciendo de esta forma una probeta 20. Como alternativa, como se muestra en la Fig. 12, una ranura en V con un ángulo de ranura θ de 60° se formó en las bases metálicas, produciendo de esta forma una probeta 20A.

50 Después, se usaron tres tipos de alambres de soldadura con las composiciones químicas que se muestran en la Tabla 2. Debe señalarse que el 0,01 % en masa de Cu en un alambre que se muestra en la Tabla 2 se consideró contenido como impureza inevitable. Además, se usaron tres tipos de fundentes con los tamaños de partículas y las composiciones químicas que se muestran en la Tabla 3.

[Tabla 1]

Composición química de la base de metal (% en masa)																
Tipo	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	Al	Ti	Zr	N	Resto
B-1	0,100	0,26	0,51	0,010	0,001	0,03	0,33	8,90	0,95	0,21	0,07	0,004	0,002	0,001	0,060	Fe
B-2	0,090	0,33	0,45	0,012	0,002	0,06	0,33	9,10	1,01	0,22	0,06	0,003	0,003	0,001	0,070	Fe
B-3	0,110	0,27	0,42	0,010	0,001	0,06	0,33	8,78	0,92	0,22	0,07	0,004	0,003	0,002	0,065	Fe

*Otras impurezas inevitables

[Tabla 2]

Composición química del alambre (% en masa)													
Tipo	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	N	Resto
W-1	0,045	0,15	1,83	0,004	0,005	0,01	0,61	8,76	0,90	0,24	0,056	0,035	Fe
W-2	0,070	0,05	0,65	0,004	0,005	0,01	0,31	10,00	1,20	0,15	0,025	0,032	Fe
W-3	0,060	0,25	0,92	0,004	0,005	0,01	0,88	9,25	0,95	0,37	0,070	0,047	Fe

*Otras, impurezas inevitables

Tabla 3

Composición química del fundente (% en masa), Tamaño de partícula											
Tipo	malla del tamaño de partículas	Composición de combinación (% en masa)									
		CaF ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Si y SiO ₂ (en términos totales de SiO ₂)	BaO	ZrO ₂	TiO ₂	Otros	
F-1	10 x 48	14,9	7,4	29,0	22,6	15,2	-	2,4	-	8,5	
F-2	10 x 48	11,7	7,2	27,0	19,5	16,3	5,4	1,7	-	11,2	
F-3	10 x 48	13,0	8,9	29,0	20,0	15,0	2,4	-	3,5	8,2	

*El término 'tamaño de partícula' significa un intervalo típico de un fundente, específicamente, "10 (límite superior) x 48 (límite inferior)" basándose en la expresión de la "malla" mencionada en el documento JIS Z3352 (fundente de soldadura para arco sumergido).
 *Otros incluyen al menos uno de SrO, Na₂O, Li₂O, MnO y FeO₂.
 *La marca "-" indica que el componente no está incluido.

- 5 Se llevó a cabo la soldadura por arco sumergido en el interior de la ranura estrecha de la probeta 20 para cada una de las muestras como se muestra en la Fig. 11, o en la ranura en V de la probeta 20A mostrado en la Fig. 12 usando el alambre mencionado en la Tabla 2 y el fundente mencionado en la Tabla 3 cambiando la velocidad de alimentación del alambre y la velocidades de soldadura. La velocidad de alimentación del alambre se controló cambiando la corriente de soldadura y la velocidad de soldadura. En esta soldadura, los metales de soldadura 21 se solaparon en la dirección indicada por la flecha en las figuras.

Las condiciones de soldadura fueron las siguientes. Otras condiciones se muestran en las Tablas 4 y 5. Señalar que en las Tablas 4 y 5, los componentes que no satisfacen los requisitos de la presente invención están subrayados. La forma de la ranura "G-1" indica la ranura estrecha de la probeta 20, mientras que la forma de la ranura "G-2" indica la ranura en V de la probeta 20A.

<Condiciones de soldadura>

- Diámetro del alambre: 4 mmφ
 20 Punta de soldadura: una punta doblada del extremo principal (punta en forma de tubo doblado en ángulo recto) mostrada en las Figs. 2 a 4
 Distancia entre los electrodos: 20 mm
 Polaridad: Tándem CA-CA
 Posición de soldadura: Plana
 25 Método de solapamiento:

- Un procedimiento de un paso en una capa inicial y un procedimiento de una capa-dos pasos en las capas posteriores (véase la Fig. 11)
 30 Un procedimiento de un paso desde una capa inicial, y un procedimiento de una capa-dos pasos en las capas posteriores (véase la Fig. 12)

Las probetas 20 y 20A soldadas de los Ejemplos se evaluaron para determinar la capacidad de eliminación de escoria, estado de la perla, eficacia de soldadura y resistencia al agrietamiento en caliente.

- 35 <Evaluación de la capacidad de eliminación de escoria>

El fundente pegado a la superficie de la perla al finalizar la soldadura se golpeó tres veces con un martillo. Los ejemplos en los que la escoria se eliminó fácilmente se puntuaron como aprobado (P), mientras que los ejemplos en

los que la escoria no se eliminó se puntuaron como suspenso (F).

<Evaluación del estado de la perla>

- 5 El aspecto exterior de la superficie de la perla soldada obtenido tras eliminar la escoria durante la evaluación de la capacidad de eliminación de escoria se evaluó a simple vista. Los ejemplos sin defectos de soldadura se puntuaron como aprobado (P), mientras que los Ejemplos con cualquier defecto de soldadura o con una forma de perla inútil se puntuaron como suspenso (F).

10 <Evaluación de la eficacia de soldadura>

En lo que respecta a la eficacia de la soldadura, los ejemplos en los que la soldadura era posible en dos pasos por capa como método de solapamiento se puntuaron como aprobado (P), mientras que los ejemplos que necesitaron soldar en tres o más pasos por capa debido a una pequeña cantidad de soldadura se puntuaron como suspenso (F).

15 <Evaluación de la resistencia al agrietamiento en caliente>

20 Dentro de un intervalo de 300 mm de una perla de soldadura diferente a las partes iniciales y finales de la misma (donde las partes indicadas están a una distancia de 100 mm desde ambos extremos de la perla soldada), se observó la microestructura de la sección transversal de cada pieza obtenida, cortando la perla de soldadura cada 50 mm. Los ejemplos en los que no se produjo agrietamiento en las cinco secciones transversales se puntuaron como aprobado (P), mientras que los ejemplos en los que se produjo agrietamiento se puntuaron como suspenso (F).

25 Estos resultados se muestran en las Tablas 4 y 5. Se observa que, en estas tablas, la marca "-" indica un Ejemplo para el que no se ha realizado la evaluación.

[Tabla 4]

N.º	Base de metal	Alambre	Fundente	Forma de la ranura	Electrodo principal			Electrodo de arrastre				
					Corriente de soldadura (A)	Tensión de arco (V)	Ángulo de la punta °	Distancia punta-base de metal mm	Corriente de soldadura (A)	Tensión de arco (V)	Ángulo de la punta (°)	Distancia punta-base de metal (mm)
N.º 1	B-1	W-1	F-1	G-1	335	29	Ángulo de arrastre 0°	25	330	30	Ángulo de empuje 25°	30
N.º 2	B-1	W-2	F-2	G-1	355	29	Ángulo de arrastre 0°	25	340	30	Ángulo de empuje 25°	30
N.º 3	B-1	W-1	F-2	G-1	380	30	Ángulo de arrastre 0°	25	365	31	Ángulo de empuje 25°	30
N.º 4	B-2	W-3	F-3	G-1	380	30	Ángulo de arrastre 0°	20	365	31	Ángulo de empuje 25°	25
N.º 5	B-2	W-3	F-2	G-1	380	30	Ángulo de arrastre 0°	35	365	31	Ángulo de empuje 25°	40
N.º 6	B-3	W-2	F-1	G-1	415	30	Ángulo de arrastre 10°	25	405	31	Ángulo de empuje 45°	30
N.º 7	B-1	W-3	F-1	G-2	440	30	Ángulo de arrastre 40°	30	425	31	Ángulo de empuje 20°	35
N.º 8	B-1	W-2	F-2	G-1	305	29	Ángulo de arrastre 0°	30	295	30	Ángulo de empuje 25°	35
N.º 9	B-1	W-2	F-3	G-1	490	30	Ángulo de arrastre 0°	25	475	31	Ángulo de empuje 25°	30
N.º 10	B-1	W-1	F-3	G-1	350	29	Ángulo de arrastre 0°	35	340	30	Ángulo de empuje 25°	40
N.º 11	B-1	W-3	F-2	G-1	435	30	Ángulo de arrastre 0°	25	420	31	Ángulo de empuje 25°	30
N.º 12	B-1	W-3	F-2	G-1	435	30	Ángulo de arrastre 5°	30	420	31	Ángulo de empuje 45°	35
N.º 13	B-1	W-3	F-3	G-1	380	30	Ángulo de arrastre 0°	20	370	31	Ángulo de empuje 25°	25

(continuación)

N.º	Base de metal	Alambre	Fundente	Forma de la ranura	Electrodo principal				Electrodo de arrastre			
					Corriente de soldadura (A)	Tensión de arco (V)	Ángulo de la punta °	Distancia punta-base de metal mm	Corriente de soldadura (A)	Tensión de arco (V)	Ángulo de la punta (°)	Distancia punta-base de metal (mm)
N.º 14	B-1	W-3	F-1	G-1	405	30	Ángulo de arrastre 5°	25	395	31	Ángulo de empuje 45°	30
N.º 15	B-1	W-3	F-1	G-2	365	29	Ángulo de arrastre 0°	25	355	30	Ángulo de empuje 25°	30

[Tabla 5]

N.º	Electrodo principal	Electrodo de arrastre	Velocidad de soldadura (cm/min)	Cantidad de soldadura por unidad de longitud (g/cm)	Capacidad de eliminación de escoria	Estado de la perla	Eficacia de soldadura	Resistencia al agrietamiento en caliente
	Velocidad de alimentación del alambre (g/min)	Velocidad de alimentación del alambre (g/min)						
N.º 1	45	60	30	3,5	P	P	P	P
N.º 2	55	65	35	3,4	P	P	P	P
N.º 3	65	72	45	3,0	P	P	P	P
N.º 4	60	68	45	2,8	P	P	P	P
N.º 5	70	78	45	3,3	P	P	P	P
N.º 6	85	105	55	3,5	P	P	P	P
N.º 7	75	110	50	3,7	P	P	P	P
N.º 8	40	50	40	<u>2,3</u>	P	F Fallo de penetración	-	-
N.º 9	<u>100</u>	<u>125</u>	40	<u>5,6</u>	F	-	-	F
N.º 10	55	67	20	<u>6,1</u>	P	P	P	F
N.º 11	70	105	<u>65</u>	<u>2,7</u>	P	F Forma de perla inestable	-	-
N.º 12	80	110	40	<u>4,8</u>	P	P	P	F
N.º 13	55	85	55	<u>2,5</u>	P	P	F	-
N.º 14	75	95	40	<u>4,3</u>	P	P	P	F
N.º 15	52	68	30	<u>4,0</u>	P	P	P	F

5 Como se muestra en las Tablas 4 y 5, Los Ejemplos N. 1 a N. 7 satisfacen el alcance de la presente invención y no tienen problemas de eliminación de escoria, estado de la perla y eficacia de soldadura ni tampoco presentan agrietamiento en caliente.

10 En el Ejemplo Comparativo N.º 8, las velocidades de alimentación del alambre del electrodo principal y del electrodo de arrastre se desviaron de los límites inferiores respectivos especificados en la presente invención. En el Ejemplo N.º 8, la corriente de soldadura fue baja y la velocidad de alimentación del alambre fue baja, haciendo que el arco sea inestable, produciendo un fallo de penetración en la interfase entre la superficie de la ranura y la perla. Además, la cantidad de soldadura por unidad de longitud se desvió del límite inferior especificado en la presente invención. Puesto que el estado de la perla no era satisfactorio, la eficacia de soldadura y la resistencia al agrietamiento en caliente no se evaluaron.

5 En el Ejemplo Comparativo N.º 9, las velocidades de alimentación del alambre del electrodo principal y del electrodo de arrastre se desviaron de los límites superiores respectivos especificados en la presente invención. La corriente de soldadura fue alta y la velocidad de alimentación del alambre fue alta, consiguiendo una cantidad de soldadura excesiva, produciendo el agrietamiento en caliente, reduciendo de esta forma la capacidad de eliminación de escoria. Además, la cantidad de soldadura por unidad de longitud se desvió del límite superior de la presente invención, produciendo el agrietamiento en caliente. Puesto que la capacidad de eliminación de escoria no era satisfactoria, el estado de la perla y la eficacia de soldadura no se evaluaron.

10 En el Ejemplo Comparativo N.º 10, la velocidad de soldadura se desvió del límite inferior especificado en la presente invención. Puesto que la velocidad de soldadura era baja, la cantidad de soldadura resultó extremadamente grande, produciendo el agrietamiento en caliente. Además, la cantidad de soldadura por unidad de longitud se desvió del límite superior de la presente invención, produciendo el agrietamiento en caliente.

15 En el Ejemplo Comparativo N.º 11, la velocidad de soldadura se desvió del límite superior especificado en la presente invención. Por tanto, la alimentación del alambre no pudo capturarse con la velocidad de soldadura, haciendo que la anchura de la perla fuera inestable. Además, la cantidad de soldadura por unidad de longitud se desvió del límite inferior especificado en la presente invención. Puesto que el estado de la perla no era satisfactorio, la eficacia de soldadura y la resistencia al agrietamiento en caliente no se evaluaron.

20 En los Ejemplos comparativos N.º 12, N. 14 y N. 15, la cantidad de soldadura por unidad de longitud se desvió del límite superior especificado en la presente invención. Por tanto, la forma de la perla se convirtió en algo parecido a una pera, produciendo el agrietamiento en caliente.

25 En el Ejemplo Comparativo N.º 13, la cantidad de soldadura por unidad de longitud se desvió del límite inferior especificado en la presente invención. Puesto que la cantidad de soldadura era pequeña, el número de etapas de soldadura en el interior de la ranura aumentó, empeorando la eficacia de la soldadura. Puesto que la eficacia de soldadura no era satisfactoria, la evaluación de la resistencia al agrietamiento en caliente no se realizó.

30 Aunque la presente invención se ha descrito e ilustrado anteriormente de forma detallada en referencia a realizaciones y ejemplos, se entenderá que la presente invención no está limitada al contenido anteriormente mencionado, y que el alcance de la presente invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

[Descripción de los números de referencia]

35 10: Base de metal (Material a soldar)
 11a, 11b, 30: Punta de soldadura
 12a, 12b, 40: Alambre de soldadura
 13a, 13b, 30a: Extremo principal
 15a: Electrodo principal
 40 15b: Electrodo de arrastre
 20, 20A: Probeta

REIVINDICACIONES

1. Un método de soldadura por arco sumergido en tándem de un acero ferrítico de alto contenido en Cr con resistencia a la fluencia mejorada (CSEF), en el que contenido de Cr de este acero es del 8 % en masa o superior,
 5 **caracterizándose** el método **por**: soldadura según las condiciones a una velocidad de alimentación del alambre V_L de un electrodo principal (15a) de 45 a 90 g/min; una velocidad de alimentación del alambre V_T de un electrodo de arrastre (15b) de 60 a 110 g/min; una velocidad v de soldadura de 30 a 55 cm/min; y una cantidad de soldadura por unidad de longitud de 2,8 a 3,8 g/cm.
- 10 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el alambre de soldadura (12a, 12b, 40) comprende
 0,03 a 0,13 % en masa de C,
 0,05 a 0,50 % en masa de Si,
 0,50 a 2,20 % en masa de Mn,
 0,015 % en masa o menos de P,
 15 0,010 % en masa o menos de S,
 más de 0,20 % en masa y 1,00 % en masa o menos de Ni,
 8,00 a 10,50 % en masa de Cr,
 0,20 a 1,20 % en masa de Mo,
 0,05 a 0,45 % en masa de V,
 20 0,020 a 0,080 % en masa de Nb, y
 0,02 a 0,08 % en masa de N,
 siendo el resto Fe e impurezas inevitables.
- 25 3. El método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el alambre de soldadura (12a, 12b, 40) que comprende además al menos uno de Cu, B, W y Co, en el que un contenido de Cu es 1,70 % en masa o menos, un contenido de B es 0,005 % en masa o menos, un contenido de W es 2,0 % en masa o menos y un contenido de Co es 3,0 % en masa o menos, siendo el resto Fe e impurezas inevitables.
- 30 4. El método de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, en el que un fundente de soldadura comprende
 10 a 60 % en masa de CaF_2 ,
 2 a 25 % en masa de CaO ,
 10 a 50 % en masa de MgO ,
 2 a 30 % en masa de Al_2O_3 y
 6 a 30 % en masa de Si y SiO_2 en total (en términos de SO_2),
 35 y una basicidad representada por la siguiente fórmula comprendida en el intervalo de 2,3 a 2,7:
- $$\text{Basicidad} = (\text{CaF}_2 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{SrO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{Li}_2\text{O} + 1/2 (\text{MnO} + \text{FeO})) / (\text{SiO}_2 + 1/2 (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2))$$
- 40 donde cada compuesto indica un contenido (% en masa) del compuesto con respecto a la masa total del fundente.
5. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en el que una distancia (L) entre una punta (11a, 11b, 30) y la base de metal (10) está en un intervalo de 20 a 40 mm.
- 45 6. El método de acuerdo con la reivindicación 5, en el que los ángulos de la punta se ajustan preferentemente de tal manera que el ángulo de arrastre α está en un intervalo de 0° a 50° , y el ángulo de empuje β está en un intervalo de 0° a 50° .
- 50 7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, en el que la forma de la punta es una forma de tubería recta o una forma de tubería doblada en ángulo recto.

Fig.1

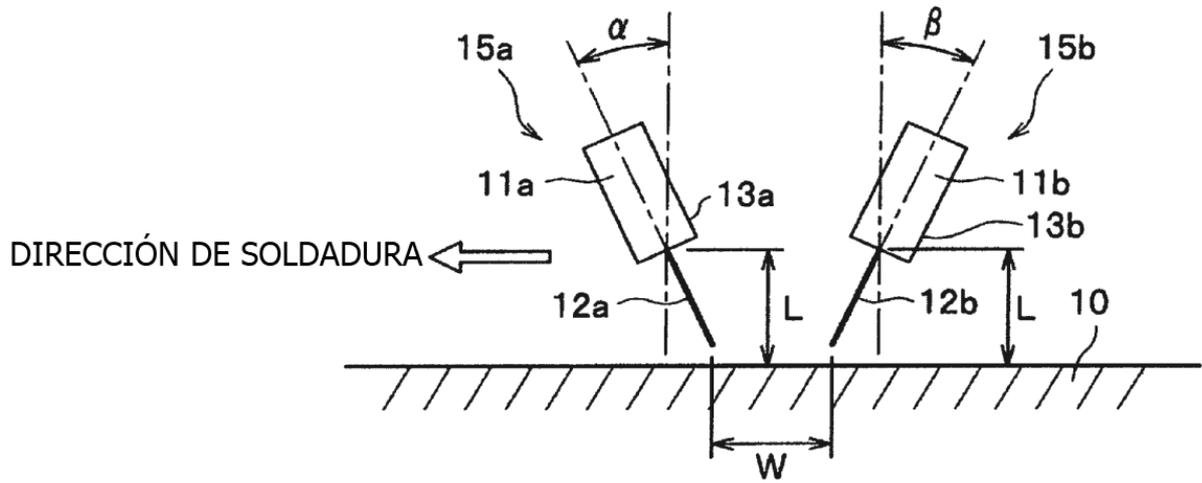


Fig.2

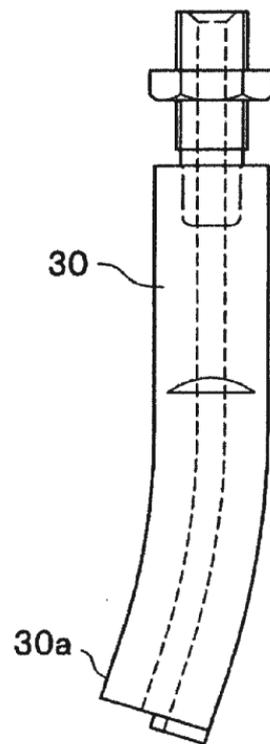


Fig.3

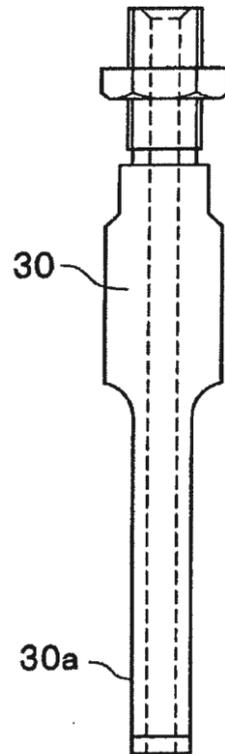


Fig.4

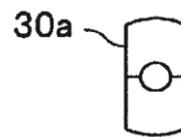


Fig.5

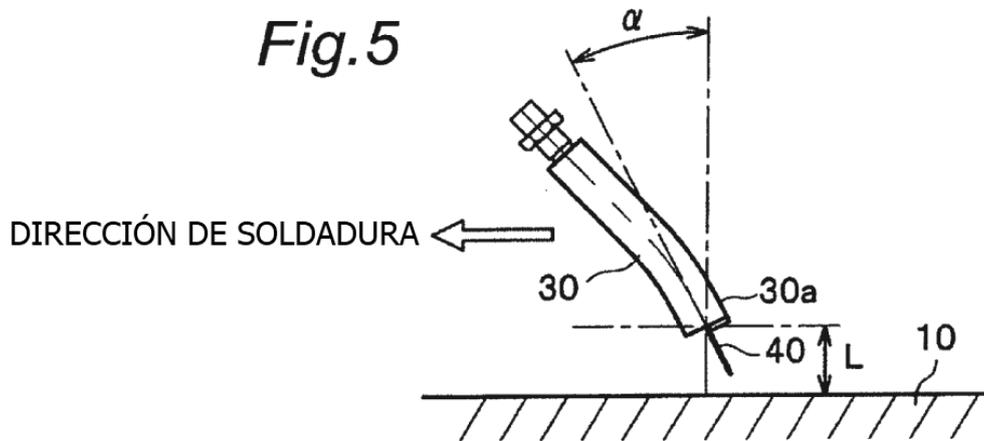


Fig.6

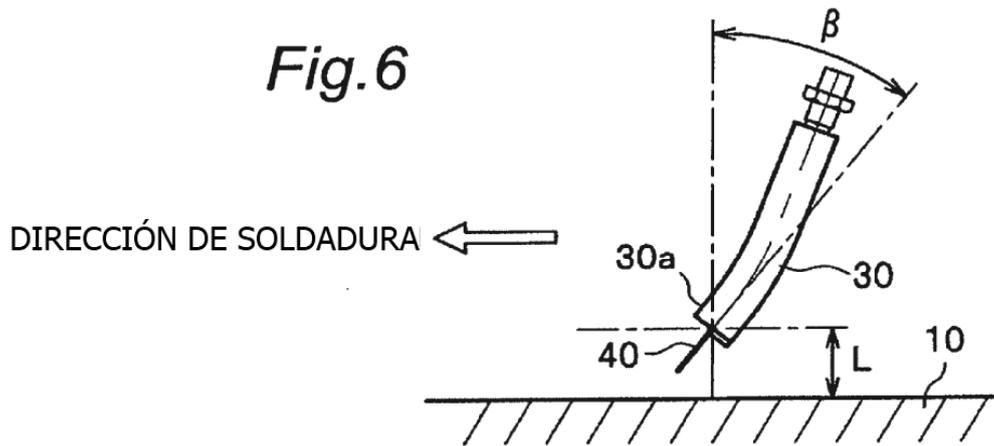


Fig.7

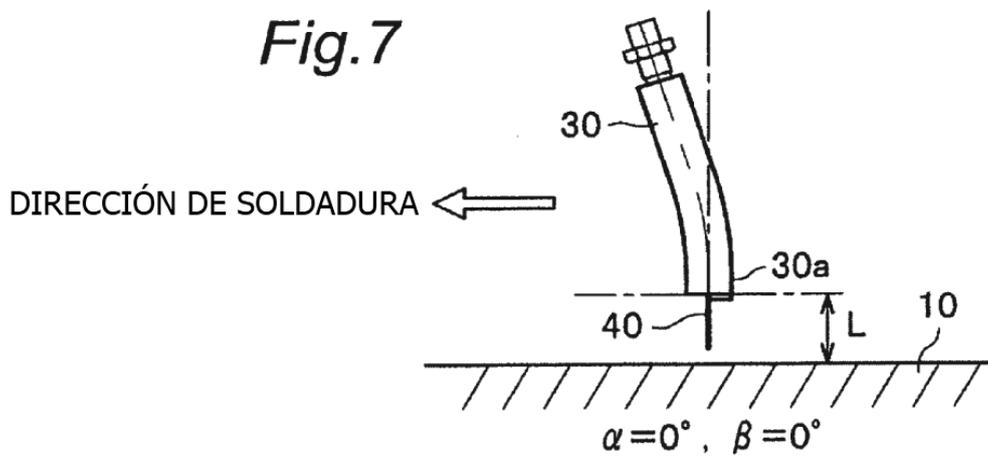


Fig.8

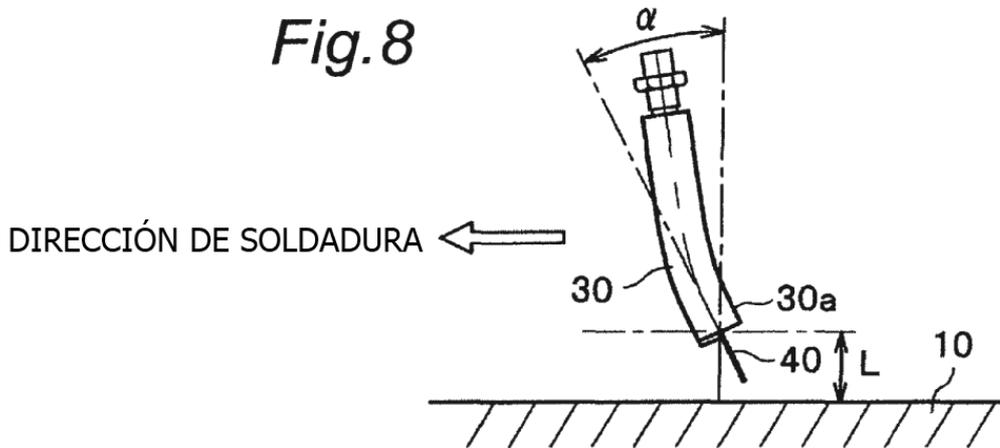


Fig.9

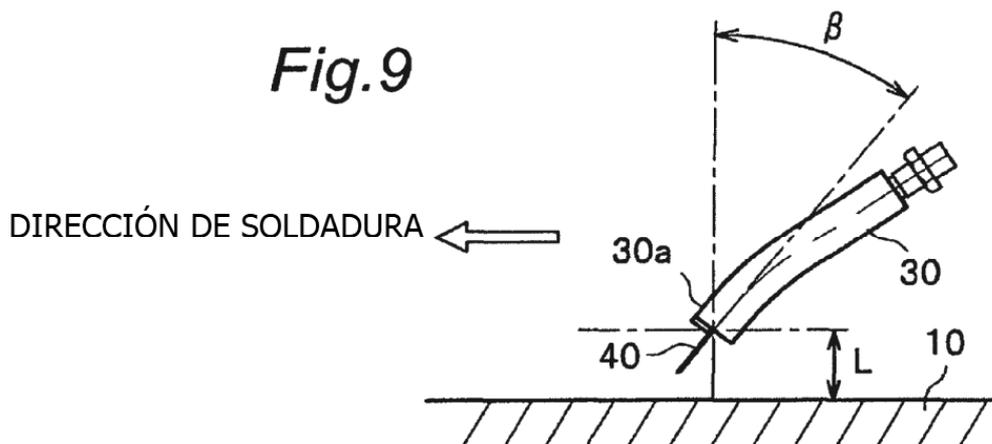


Fig.10

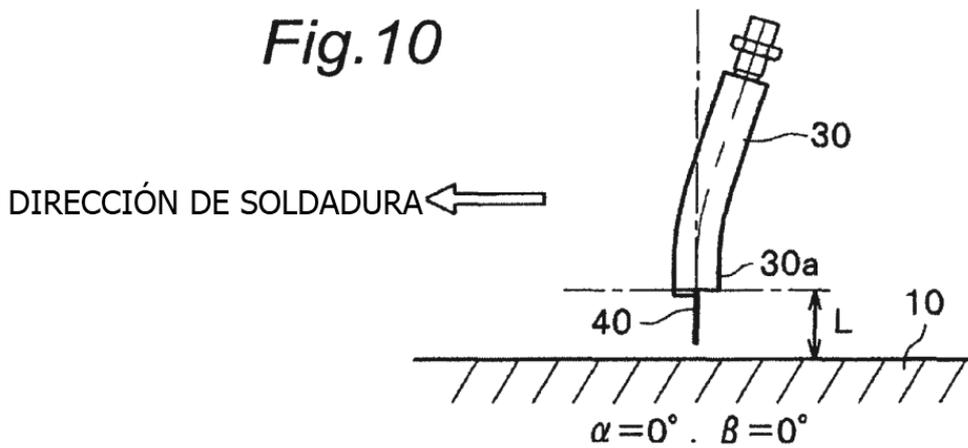


Fig.11

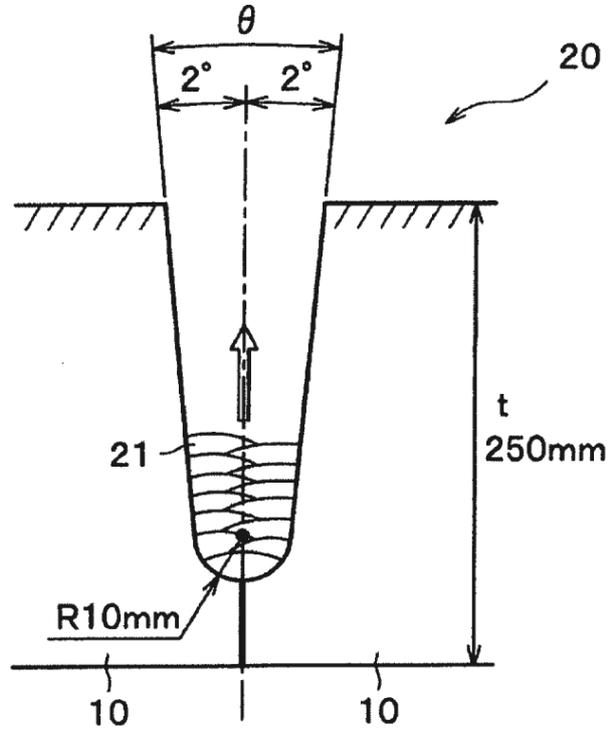


Fig.12

