

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 795 753**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01) C22C 38/54	(2006.01)
C22C 38/58	(2006.01)	
C21D 6/00	(2006.01)	
C22C 1/02	(2006.01)	
C22C 38/02	(2006.01)	
C22C 38/04	(2006.01)	
C22C 38/06	(2006.01)	
C22C 38/42	(2006.01)	
C22C 38/44	(2006.01)	
C22C 38/46	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.02.2012** **PCT/JP2012/053036**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **23.08.2012** **WO12111536**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.02.2012** **E 12746805 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020** **EP 2677054**

54 Título: **Placa o tubería de acero inoxidable dúplex y proceso de producción de las mismas**

30 Prioridad:

14.02.2011 JP 2011028335

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

24.11.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

MOTOYA, DAISUKE;
HAMADA, MASAHIKO;
AMAYA, HISASHI;
NAGAYAMA, HIROYUKI y
YAMADA, KENTA

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 795 753 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

Placa o tubería de acero inoxidable dúplex y proceso de producción de las mismas

5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a una placa o una tubería de acero inoxidable dúplex y a un método de producción de las mismas y más en particular, a una tubería de línea de acero inoxidable dúplex y a un método de producción de la misma.

10

Antecedentes de la invención

El petróleo y el gas natural producidos en los campos de petróleo y en los campos de gas contienen gas asociado. El gas asociado contiene gases corrosivos tales como el gas dióxido de carbono (CO₂) y el sulfuro de hidrógeno (H₂S). Las tuberías de línea transportan el gas asociado mientras transportan el petróleo y el gas natural. Por tanto, las tuberías de línea presentan problemas de fisuración por corrosión bajo tensión (*stress corrosion cracking* o SCC, fisuración por corrosión bajo tensión por sulfuros (fisuración bajo tensión por sulfuros: *sulfide stress cracking* o SSC) y fisuración por corrosión general que causan una reducción del grosor de la pared. De acuerdo con ello, se requiere que el acero inoxidable para las tuberías de línea tenga una excelente resistencia a la corrosión. El acero inoxidable dúplex tiene una excelente resistencia a la corrosión. Por tanto, el acero inoxidable dúplex se usa para las tuberías de línea.

15

20

Se requiere, además, que el acero inoxidable dúplex para las tuberías de línea tenga un límite elástico y una tenacidad excelentes, además de la resistencia a la corrosión mencionada anteriormente. En los documentos JP 10-60598A, JP 10-60526A, JP 7-268552A, JP 6-184699A, JP 6-145903A, JP 2726591B, y JP 3155431B se divulgan técnicas para mejorar la resistencia y la tenacidad del acero inoxidable dúplex.

25

El acero inoxidable dúplex divulgado en los documentos JP 10-60598A y JP 10-60526A contiene de un 2 a un 6 % de Mo y de un 4 a un 10 % de W, y contiene además de un 1 a un 4 % de Cu. Los documentos JP 10-60598A y JP 10-60526A describen que el tratamiento térmico de envejecimiento efectuado en acero inoxidable dúplex durante 4 horas a 480 °C puede proporcionar un acero inoxidable dúplex con una resistencia excelente.

30

El acero inoxidable dúplex colado divulgado en el documento JP 7-268552A contiene de un 0,1 a un 2 % de C y un 2 % o menos de Cu. El documento JP 7-268552A describe que el tratamiento térmico de endurecimiento por precipitación a una temperatura de 600 a 700 °C del acero inoxidable dúplex colado puede proporcionar un acero inoxidable dúplex colado con una resistencia elevada.

35

El acero inoxidable dúplex divulgado en el documento JP 6-184699A está hecho de un material de colada. El acero inoxidable dúplex contiene de un 0,5 a un 4 % de Cu y de un 0,5 a un 3 % de W. El tratamiento térmico de endurecimiento por precipitación efectuado en el acero inoxidable dúplex a una temperatura de 600 a 700 °C puede provocar la dispersión en el mismo de carbonitruros de Nb finos y carbonitruros de V finos. El documento JP 6-184699A describe que se puede proporcionar un acero inoxidable dúplex con una resistencia elevada.

40

El acero inoxidable dúplex divulgado en el documento JP 6-145903A está hecho de un material de colada. El acero inoxidable dúplex contiene de un 0,5 a un 4 % de Cu, de un 0,5 a un 3 % de W, y de un 0,1 a un 0,5 % de Ta. El Cu y el W se disuelven en la ferrita y aumentan la resistencia de la ferrita. El Ta forma carburos, finamente dispersos en la ferrita, y aumenta la resistencia de la misma. El documento JP 6-145903A describe que el acero inoxidable dúplex se puede proporcionar, por tanto, con una excelente resistencia a la corrosión por fatiga.

45

El acero inoxidable dúplex divulgado en el documento JP 2726591B contiene de un 1 a un 4 % de C y un 2 % o menos de W. El tratamiento térmico de endurecimiento por precipitación efectuado en un acero inoxidable dúplex a una temperatura de 600 a 700 °C puede provocar la precipitación del Cu para el endurecimiento por precipitación. El documento JP 2726591B describe que el acero inoxidable dúplex se puede proporcionar, por tanto, con una excelente resistencia.

50

55

El elemento de colada del acero inoxidable dúplex divulgado en el documento JP 3155431B contiene de un 2,6 a un 3,5 % de Cu, y el tratamiento térmico de envejecimiento se realiza en el mismo durante 4 horas a 480 °C. El documento JP 3155431B describe la mejora de la resistencia del acero mediante endurecimiento por precipitación del Cu.

60

El documento JP 8-120413 divulga un acero inoxidable de dos fases que consiste, en peso, en $\leq 0,08$ % de C, $\leq 0,9$ % de Si, $\leq 0,9$ % de Mn, 5,0-8,0 % de Ni, 24,0-30,0 % de Cr, 1,0-2,5 % de Mo, 2,6-3,5 % de Cu, 0,15-0,25 % de N, y siendo el resto esencialmente Fe, o contiene además $\leq 0,005$ % de B y en el que la cantidad de Al contenido como impureza está limitado a $\leq 0,05$ % y tiene también una estructura compuesta por una estructura bifásica de austenita y ferrita.

65

El documento JP 2002-339042 divulga un acero inoxidable dúplex para un eje con una excelente resistencia a la corrosión por picaduras que tiene una composición que contiene $\leq 0,080$ % de C, $0,10$ a $< 1,50$ % de Si, $\leq 2,0$ % de Mn, $\leq 0,03$ % de P, $\leq 0,01$ % de S, de un $4,0$ a un $10,0$ % de Ni, de un $22,0$ a un $30,0$ % de Cr, de un $1,0$ a un $3,0$ % de Mo, $\leq 1,5$ % (incluso de cero) de W, de un $1,0$ a un $3,0$ % de Mo + $0,5^*W$, $< 1,0$ a $3,5$ % de Cu, $\leq 0,30$ % de N y de un $0,0005$ a un $0,01$ % de B; en masa y siendo el resto esencialmente Fe.

Descripción de la invención

Desafortunadamente, el acero inoxidable dúplex divulgado en cada uno de los documentos de patente mencionados anteriormente no puede proporcionarse con una excelente resistencia y una excelente tenacidad al mismo tiempo. Específicamente, en los documentos JP 10-60598A y JP 10-60526A no puede obtenerse una excelente resistencia. Además, en los documentos JP 10-60598A y JP 10-60526A, no puede obtenerse una excelente tenacidad debido a una excesiva precipitación de carburos. En los documentos JP 7-268552A, JP 6-184699A y JP 2726591B no puede obtenerse una resistencia y una tenacidad excelentes. En el documento JP 6-145903A, el Ta puede formar carburos gruesos y no puede obtenerse una excelente tenacidad. En el documento JP 3155431B, no puede obtenerse una excelente resistencia.

La presente invención tiene como objeto proporcionar una placa o una tubería de acero inoxidable dúplex que tiene una resistencia elevada y una tenacidad elevada.

Una placa o una tubería de acero inoxidable dúplex de acuerdo con la presente invención tiene: una composición química que consiste en, en porcentaje en masa: C: como máximo el $0,030$ %, Si: del $0,20$ al $1,00$ %, Mn: como máximo el $8,00$ %, P: como máximo el $0,040$ %, S: como máximo el $0,0100$ %, Cu: más del $2,00$ % y como máximo el $4,00$ %, Ni: del $4,50$ al $8,00$ %, Cr: del $20,0$ al $30,0$ %, Mo: al menos el $0,50$ % y menos del $2,00$ %, N: del $0,100$ al $0,350$ % y Al sol.: como máximo el $0,040$ %, W: como máximo el $0,1$ % y, opcionalmente, al menos un tipo seleccionado entre el grupo que consiste en V: como máximo el $1,50$ %, Ca: como máximo el $0,0200$ %, Mg: como máximo el $0,02$ %, y un metal de las tierras raras: como máximo el $0,2000$ %, siendo el resto Fe e impurezas; y que tiene una estructura en la que la tasa de ferrita en la estructura es del 35 al 55 % y la dureza de la ferrita en la estructura es superior a $315 \text{ HV}_{10\text{gf}}$, en la que el acero tiene un límite elástico de 580 MPa o más y el acero tiene una energía absorbida vE0 de 150 J o más, obtenida en un ensayo de impacto Charpy realizado a 0°C con una probeta con entalla en V a tamaño natural que tiene una anchura de 10 mm , un espesor de 10 mm , una longitud de 55 mm y una profundidad de entalla de 2 mm basándose en la norma JIS Z2242.

La placa o tubería de acero inoxidable dúplex de acuerdo con la presente invención tiene una resistencia elevada y una tenacidad elevada.

Un método de producción de la placa o tubería de acero inoxidable dúplex de acuerdo con la presente invención incluye las etapas de: producir un lingote, plancha o palancón de un material de acero inoxidable dúplex que tiene una composición química que consiste en, en porcentaje en masa: C: como máximo el $0,030$ %, Si: del $0,20$ al $1,00$ %, Mn: como máximo el $8,00$ %, P: como máximo el $0,040$ %, S: como máximo el $0,0100$ %, Cu: más del $2,00$ % y como máximo el $4,00$ %, Ni: del $4,50$ al $8,00$ %, Cr: del $20,0$ al $30,0$ %, Mo: al menos el $0,50$ % y menos del $2,00$ %, N: del $0,100$ al $0,350$ % y Al sol.: como máximo el $0,040$ %, W: como máximo el $0,1$ % y, opcionalmente, al menos un tipo seleccionado entre el grupo que consiste en V: como máximo el $1,50$ %, Ca: como máximo el $0,0200$ %, Mg: como máximo el $0,02$ %, y un metal de las tierras raras: como máximo el $0,2000$ %, siendo el resto Fe e impurezas; producir una placa de acero inoxidable dúplex mediante trabajo en caliente del lingote o la plancha, o producir una tubería de acero inoxidable dúplex mediante trabajo en caliente de una palanquilla producida mediante trabajo en caliente del lingote, la plancha o el palancón; efectuar un tratamiento en solución del material de acero inoxidable dúplex producido a una temperatura de 1050 a 1150°C ; y efectuar un tratamiento térmico de envejecimiento del material de acero inoxidable dúplex que se ha sometido al tratamiento en solución, a una temperatura de más de 480°C y como máximo de 600°C para un tiempo de inmersión de 2 a 60 minutos.

Breve descripción de las figuras

[Figura 1A] La figura 1A es un gráfico que muestra una relación entre la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento y el límite elástico de un acero inoxidable dúplex.

[Figura 1B] La figura 1B es un gráfico que muestra una relación entre la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento y la tenacidad del acero inoxidable dúplex.

[Figura 2] La figura 2 es un gráfico que muestra una relación entre la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento y la dureza de la ferrita y la dureza de la austenita en el acero inoxidable dúplex.

Descripción de las realizaciones

En lo sucesivo en el presente documento, se describe con detalle una realización de la presente invención con referencia a las figuras. En lo sucesivo en el presente documento, "%" en el contenido de un elemento significa porcentaje en masa.

Los inventores de la presente invención llevaron a cabo varios experimentos y estudios detallados para obtener los siguientes descubrimientos.

(a) El tratamiento en solución se efectúa en un acero inoxidable dúplex con una composición química a una temperatura adecuada y después se efectúa en el mismo el tratamiento térmico de envejecimiento a una temperatura adecuada. La composición química es tal como se describe en la descripción. Por consiguiente, una gran cantidad de Cu fino precipita en la ferrita y la resistencia del acero inoxidable dúplex aumenta.

(b) La figura 1A es un gráfico que muestra una relación entre la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento (°C) y el límite elástico (MPa) del acero inoxidable dúplex. La figura 1A se obtuvo de acuerdo en el siguiente método.

Se fundió un acero inoxidable dúplex que tenía la misma composición química que el acero A de la tabla 1 que se describirá más adelante. El acero inoxidable dúplex fundido se coló, produciendo de este modo lingotes. Cada uno de los lingotes producidos se calentó a 1250 °C. Se llevó a cabo una forja en caliente de los lingotes calentados, produciendo de este modo materiales de placa. Los materiales de placa producidos se calentaron de nuevo a 1250 °C. Se efectuó un laminado en caliente de los materiales de placa calentados, produciendo de este modo una pluralidad de placas de acero. La temperatura de la superficie de cada material de acero en el momento del laminado era de 1050 °C.

El tratamiento en solución se realizó en una pluralidad de placas de acero producidas a 1070 °C. En ese momento, el tiempo de inmersión fue de 5 minutos. Después del tratamiento en solución, se efectuó un tratamiento térmico de envejecimiento de la pluralidad de placas de acero a varias temperaturas de tratamiento térmico de envejecimiento. El tiempo de inmersión del tratamiento térmico de envejecimiento fue de 30 minutos. Se midió el límite elástico (MPa) de cada placa de acero que se había sometido al tratamiento térmico de envejecimiento. En ese momento, el esfuerzo convencional en el punto de fluencia del 0,2 % basado en la norma ASTM A370 se definió como el límite elástico (MPa). La figura 1A se realizó basándose en el límite elástico obtenido.

Con referencia a la figura 1A, el gráfico GLE del límite elástico del acero inoxidable dúplex es convexo hacia arriba y tiene un máximo en las proximidades de la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento de 550 °C. Más específicamente, hasta que la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento llega a 550 °C, el límite elástico aumenta a medida que aumenta la temperatura de tratamiento térmico de envejecimiento. Por otra parte, una vez que la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento supera los 550 °C, el límite elástico disminuye a medida que disminuye la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento. Tal como se muestra en la figura 1A, en el caso en el que la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento es de 460 a 630 °C, el límite elástico del acero inoxidable dúplex es igual o superior a 550 MPa. Además, en el caso en el que la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento es de 480 a 600 °C, el límite elástico del acero inoxidable dúplex es igual o superior a 580 MPa.

(C) La figura 1B es un gráfico que muestra una relación entre la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento y la energía absorbida (vE0) del acero inoxidable dúplex obtenida en un ensayo de impacto Charpy a 0 °C. La figura 1B se obtuvo de acuerdo en el siguiente método. Se obtuvo una probeta con entalla en V a tamaño natural (con una anchura de 10 mm, un espesor de 10 mm, una longitud de 55 mm y una profundidad de entalla de 2 mm) de cada placa de acero producida en el momento de realizar la figura 1A. El ensayo de impacto Charpy a 0 °C se efectuó usando la probeta con entalla en V obtenida, basándose en la norma JIS Z2242, mediante lo cual se obtuvo la energía absorbida (vE0).

Con referencia a la figura 1B, en el caso en el que la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento es igual o inferior a 630 °C, la energía absorbida vE0 del acero inoxidable dúplex disminuye gradualmente con la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento. A continuación, una vez que la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento supera los 630 °C, la tenacidad del acero inoxidable dúplex disminuye rápidamente a medida que aumenta la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento. Esto es, la energía absorbida vE0 tiene un punto de inflexión en las proximidades de la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento de 630 °C. Así, cuando la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento es igual o inferior a 630 °C, la energía absorbida vE0 es de 100 J o superior. Además, en el caso en el que la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento es igual o inferior a 600 a 0 °C, la energía absorbida vE0 del acero inoxidable dúplex es igual o superior a 150 J.

(d) La figura 2 es un gráfico que muestra la relación entre la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento y la dureza Vickers (Hv_{10gf}) de la fase de ferrita y de la fase de austenita en el acero inoxidable dúplex. La figura 2 se obtuvo de acuerdo en el siguiente método.

Se recogió una muestra, para la observación de la estructura, de cada placa de acero producida en el momento de realizar la figura 1A. La muestra recogida se pulió mecánicamente y después la muestra pulida se sometió a grabado electroquímico en una solución del 30 % de KOH. La superficie grabada de la muestra se observó usando un microscopio óptico y se encontró una fase de ferrita y una fase de austenita en la misma. Se seleccionaron diez puntos dados de la fase de ferrita encontrada. Se midió la dureza Vickers de acuerdo con la norma JIS Z2244 en los diez puntos seleccionados. La fuerza del ensayo en el momento de la medición se fijó en 98,07 N (el símbolo de la dureza era "Hv_{10gf}"). El promedio de ocho puntos obtenido excluyendo el valor máximo y el valor mínimo de los valores de la dureza Vickers medidos se definió como la dureza de la ferrita. Análogamente, se seleccionaron diez puntos dados de la fase de austenita encontrada. De forma similar a la fase de ferrita, la dureza Vickers se midió en los diez puntos seleccionados. El promedio de ocho puntos

obtenido excluyendo el valor máximo y el valor mínimo de los valores de la dureza Vickers medidos se definió como la dureza de la austenita.

Con referencia a la figura 2, el gráfico G_{DF} de la dureza de la fase de ferrita tiene la misma forma que el del límite elástico del acero inoxidable dúplex mostrado en la figura 1A. Específicamente, la línea G_{DF} curvada es convexa hacia arriba y tiene un máximo en las proximidades de la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento de 550 °C. Así, en el caso en el que la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento es de 460 a 630 °C, la dureza de la fase de ferrita es igual o superior a 300 Hv_{10gf}. Además, en el caso en el que la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento es de 480 a 600 °C, la dureza de la fase de ferrita es igual o superior a 315 Hv_{10gf}. Por otro lado, en un gráfico G_{DA} que muestra la dureza de la fase de austenita, incluso aunque aumente la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento, la dureza de la fase de austenita se mantiene sustancialmente constante en un valor de 245 a 250 MPa.

(e) A partir de los descubrimientos descritos previamente, se consideran las siguientes cuestiones. En el caso en el que el tratamiento térmico de envejecimiento se realice en un acero inoxidable dúplex con la composición química anteriormente mencionada, si la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento es excesivamente baja, la tasa de ferrita en el acero es elevada. En este caso, la cantidad de Cu que precipita en la ferrita por unidad de área es pequeña. Así pues, la dureza de la ferrita del acero inoxidable dúplex es excesivamente baja (véase la figura 2), y el límite elástico del acero inoxidable dúplex disminuye (véase la figura 1A). Por otra parte, si la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento es excesivamente elevada, la tasa de ferrita en el acero es baja y el Cu se disuelve a la ferrita. Por ello, la dureza de la ferrita disminuye (véase la figura 2). Como resultado, el límite elástico del acero inoxidable dúplex disminuye (véase la figura 1A). Asimismo, si la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento es excesivamente elevada, se producen en el acero una fase σ , carburos de Mo y carburos de Cr, y la tenacidad del acero inoxidable dúplex disminuye (véase la figura 1B).

(f) Si la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento es de 460 a 630 °C, la tasa de ferrita en el acero es de un 30 a un 70 % y precipita una cantidad suficiente de Cu fino en la ferrita. Por tanto, tal como muestra la figura 2, la dureza de la ferrita es igual o superior a 300 Hv_{10gf}. Como resultado, tal como muestra la figura 1A, la resistencia del acero inoxidable dúplex es igual o superior a 550 MPa. Además, si la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento está dentro del intervalo de temperaturas mencionado anteriormente, se puede suprimir la producción de una fase σ , de carburos de Mo y carburos de Cr. Por tanto, tal como muestra la figura 1B, la energía absorbida vE0 del acero inoxidable dúplex es igual o superior a 100 J.

(g) En el acero inoxidable dúplex de acuerdo con la presente invención, el contenido de Mo se ajusta para que sea bajo. Asimismo, no contiene W. Es decir, en la presente invención el W es una impureza. Si se lleva a cabo el tratamiento térmico de envejecimiento, es probable que el Mo y el W formen en el acero compuestos intermetálicos tales como una fase σ y carburos. La fase σ y los carburos de Mo y W reducen la tenacidad del acero. De acuerdo con esto, en la presente invención el contenido de Mo se limita para que sea bajo y el W es una impureza.

Basándose en los descubrimientos anteriores, se completa el acero inoxidable dúplex de acuerdo con la presente invención. En lo sucesivo en el presente documento, se describe el acero inoxidable dúplex de acuerdo con la presente invención.

[Composición química]

El acero inoxidable dúplex de acuerdo con la presente invención tiene la siguiente composición química.

C: 0,030 % o inferior

El carbono (C) estabiliza a la austenita. Por otro lado, si el contenido de C es excesivo se producen carburos más fácilmente. En particular, los carburos de Mo reducen la tenacidad del acero. De acuerdo con esto, el contenido de C es igual o inferior al 0,030 %. Asimismo, el límite superior del contenido de C es preferentemente del 0,020 % y el contenido de C es, más preferentemente, inferior al 0,020 %.

Si: del 0,20 al 1,00 %

El silicio (Si) suprime la reducción de la fluidez del metal fundido en el momento de la soldadura, y suprime la aparición de defectos de soldadura. Por otro lado parte, si hay un contenido excesivo de Si, se produce con más facilidad un compuesto intermetálico representado por la fase σ . Por ello, el contenido de Si es del 0,20 al 1,00 %. Asimismo, el límite superior del contenido de Si es preferentemente del 0,80 % y, más preferentemente, del 0,65 %. Asimismo, el límite inferior del contenido de Si es preferentemente del 0,30 % y, más preferentemente, del 0,35 %.

Mn: 8,00 % o inferior

El manganeso (Mn) desulfura y desoxida el acero, y aumenta la capacidad de trabajo en caliente del acero. Asimismo, el Mn aumenta la solubilidad del nitrógeno (N). Por otro lado, si hay un contenido excesivo de Mn, la resistencia a la corrosión disminuye. De acuerdo con esto, el contenido de Mn es igual o inferior al 8,00 %.

Asimismo, el límite superior del contenido de Mn es preferentemente de un 7,50 % y, más preferentemente, de un 5,00 %. El límite inferior del contenido de Mn es preferentemente del 0,03 % y, más preferentemente, del 0,05 %.

P: 0,40 % o inferior

- 5 El fósforo (P) es una impureza. El P reduce la resistencia a la corrosión y la tenacidad del acero. De acuerdo con esto, es preferente que el contenido de P sea bajo. El contenido de P es igual o inferior al 0,040 %. El contenido de P es preferentemente igual o inferior al 0,030 % y, más preferentemente, igual o inferior al 0,020 %.

- 10 S: 0,0100 % o inferior

- El azufre (S) es una impureza. El S reduce la capacidad de trabajo en caliente del acero. Además, el S forma sulfuros. Los sulfuros llegan a ser el origen de la aparición de picaduras y, por tanto, reducen la resistencia a la corrosión por picaduras del acero. De acuerdo con esto, es preferente que el contenido de S sea bajo. El contenido de S es igual o inferior al 0,0100 %. El contenido de S es preferentemente igual o inferior a un 0,0050 % y, más preferentemente, igual o inferior al 0,0010 %.

Cu: superior al 2,00 % y del 4,00% o inferior

- 20 El cobre (Cu) refuerza la película de activación y aumenta la resistencia a la corrosión que incluye la resistencia a la SCC. Asimismo, precipita Cu fino en la ferrita en el momento del tratamiento térmico de envejecimiento. El Cu precipitado aumenta la dureza de la ferrita, y aumenta la resistencia del acero. Además, precipita un Cu extremadamente fino en el material de base en el momento de la soldadura con elevado aporte de calor y suprime la precipitación de la fase σ en el límite de las fases ferrita/austenita. Por otra parte, si hay un contenido excesivo de Cu, la capacidad de trabajo en caliente del acero disminuye. De acuerdo con esto, el contenido de Cu es superior al 2,00 % e igual o inferior al 4,00 %. Asimismo, el límite inferior del contenido de Cu es preferentemente del 2,20 % y, más preferentemente, del 2,40 %.

Ni: del 4,50 al 8,00 %

- 30 El níquel (Ni) estabiliza a la austenita. Además, el Ni aumenta la tenacidad del acero y aumenta la resistencia a la corrosión, que incluye la resistencia a la SCC del acero. Por tanto, si hay un contenido excesivo de Ni, se produce con más facilidad un compuesto intermetálico representado por la fase σ . Por ello, el contenido de Ni es del 4,50 al 8,00 %. El límite inferior del contenido de Ni es preferentemente del 7,50 % y, más preferentemente, del 7,00 %.

Cr: del 20,0 al 30,0 %

- 40 El cromo (Cr) aumenta la resistencia a la corrosión del acero. En particular, el Cr aumenta la resistencia a la SCC del acero. Por otro lado, si hay un contenido excesivo de Cr, se produce un compuesto intermetálico representado por la fase σ y se producen también carburos de Cr. La fase σ y los carburos de Cr reducen la tenacidad del acero y disminuyen también la capacidad de trabajo en caliente. Por ello, el contenido de Cr es del 20,0 al 30,0 %. El límite inferior del contenido de Cr es preferentemente del 22,0 % y, más preferentemente, del 24,0 %. Asimismo, el límite superior del contenido de Cr es preferentemente del 28,0 % y, más preferentemente, del 27,0 %.

- 45 Mo: del 0,50 % o superior, e inferior al 2,00 %

- El molibdeno (Mo) aumenta la resistencia a la SCC del acero. Por otra parte, si hay un contenido excesivo de Mo, se puede producir un compuesto intermetálico representado por la fase σ . La fase σ reduce la tenacidad, la soldabilidad y la capacidad de trabajo en caliente del acero. Además, si hay un contenido excesivo de Mo, se pueden producir carburos. Los carburos de Mo reducen la tenacidad del acero. Por ello, el contenido de Mo es igual o superior al 0,50 % e inferior al 2,00 %. El límite inferior del contenido de Mo es preferentemente del 0,80 % y, más preferentemente, del 1,00 %.

N: del 0,100 al 0,350 %

- 55 El nitrógeno (N) es un importante elemento formador de austenita y aumenta la estabilidad térmica y la resistencia a la corrosión del acero. El acero inoxidable dúplex de acuerdo con la presente invención contiene Cr y Mo que son elementos formadores de ferrita. Si se tiene en cuenta el balance de la cantidad de ferrita y la cantidad de austenita en el acero inoxidable dúplex, el contenido de N es igual o superior al 0,100 %. Por tanto, si hay un contenido excesivo de N, se producen sopladuras que son defectos de soldadura. Si hay un contenido excesivo de N, además, se producen nitruros con más facilidad en el momento de la soldadura, y disminuyen la tenacidad y la resistencia a la corrosión del acero. Por ello, el contenido de N es del 0,100 al 0,350 %. El límite inferior del contenido de N es preferentemente del 0,120 % y, más preferentemente, del 0,150 %.

- 65 Al sol.: 0,040 % o inferior

El aluminio (Al) desoxida al acero. Por tanto, si hay un contenido excesivo de Al, se forma nitruro de aluminio (AlN) y disminuyen la tenacidad y la resistencia a la corrosión del acero. De acuerdo con esto, el contenido de Al es igual o inferior al 0,040 %. El contenido de Al en el presente documento significa el contenido de Al soluble en ácido (Al sol.). En la presente invención, el Al es un elemento esencial.

5 El límite inferior del contenido de Al es preferentemente del 0,003 % y, más preferentemente, del 0,005 %. El límite superior del contenido de Al es preferentemente del 0,035 % y, más preferentemente, del 0,030 %.

10 El resto del acero inoxidable dúplex de acuerdo con la presente invención consiste en Fe e impurezas. Las impurezas en este contexto significan elementos mezclados en el acero que proceden de minerales o escorias usados como materia prima para el acero o varios factores en el proceso de producción. Cabe señalar que, en la presente invención el W es una impureza. En el caso de realizar un tratamiento térmico de envejecimiento, el W promueve la producción de la fase σ . Además, el W forma carburos. La fase σ y los carburos de W reducen la tenacidad del acero. Por tanto, en la presente invención, el W es una impureza y el contenido de W es inferior o igual al 0,1 %.

[Con respecto a los elementos selectivos]

20 La composición química del acero inoxidable dúplex de acuerdo con la presente invención puede contener, en lugar de Fe, uno o más tipos de elementos seleccionados entre al menos un grupo de los siguientes primer a tercer grupos. Esto es, los elementos del primer grupo al tercer grupo son elementos selectivos que pueden estar contenidos si así se requiere.

25 Primer grupo: V: un 1,50 % o inferior
Segundo grupo: Ca: un 0,0200 % o inferior, Mg: un 0,02 % o inferior
Tercer grupo: un metal de las tierras raras (*rare earth metal* o REM): 0,2000 % o inferior

En lo sucesivo en el presente documento, se describen con detalle estos elementos selectivos.

30 [Primer grupo]

V: 1,50 % o inferior

35 El vanadio (V) es un elemento selectivo. El V aumenta la resistencia a la corrosión del acero inoxidable dúplex y, en particular, aumenta la resistencia a la corrosión en medios ácidos. Más específicamente, si contiene V junto con Mo y Cu, la resistencia a la corrosión por cavitación del acero aumenta. Por otro lado, si hay un contenido excesivo de V, la cantidad de ferrita en el acero aumenta excesivamente y la resistencia a la corrosión del acero disminuye. De acuerdo con esto, el contenido de V es igual o inferior al 1,50 % y, preferentemente, es inferior al 1,50 %. Si el contenido de V es igual o superior al 0,05 %, el efecto mencionado anteriormente se puede obtener de forma notable. Sin embargo, aunque el contenido de V sea inferior al 0,05 %, el efecto mencionado anteriormente se puede obtener en cierto grado. Asimismo, el límite superior del contenido de V es preferentemente del 0,50 % y, más preferentemente, del 0,10 %.

45 [Segundo grupo]

Ca: 0,0200 % o inferior,

Mg: 0,02 % o inferior

50 El calcio (Ca), y el magnesio (Mg) son elementos selectivos. El Ca y el Mg inmovilizan al S y al O (oxígeno) en el acero, y aumentan la capacidad de trabajo en caliente del acero. El contenido de S en el acero inoxidable dúplex de acuerdo con la presente invención es bajo. De acuerdo con esto, aunque no contenga Ca ni Mg, la capacidad de trabajo en caliente del acero es elevada. Sin embargo, por ejemplo, en el caso de producir una tubería de acero sin soldadura, de acuerdo con el método de posición oblicua de un cilindro, puede ser necesaria una mayor capacidad de trabajo en caliente. Si contiene uno o más tipos seleccionados entre el grupo que consiste en Ca y Mg, se puede obtener una mayor capacidad de trabajo en caliente.

60 Por otro lado, si hay un contenido excesivo de uno o más tipos de Ca, Mg y V, las inclusiones no metálicas (tales como óxidos y sulfuros de Ca y Mg) aumentan. Las inclusiones no metálicas llegan a ser el origen de las picaduras y, por tanto, reducen la resistencia a la corrosión del acero. De acuerdo con esto, el contenido de Ca es igual o inferior al 0,0200 % y el contenido de Mg es igual o inferior al 0,02 %.

65 A fin de obtener de forma notable el efecto mencionado anteriormente, es preferente que el contenido de al menos un tipo de Ca y Mg, o el contenido total de los dos tipos sea igual o superior al de S (porcentaje en masa) + $1/2 \times O$ (porcentaje en masa). Sin embargo, si contiene incluso un poco de al menos un tipo de Ca y Mg o los dos tipos, el efecto mencionado anteriormente se puede obtener en cierto grado.

En el caso en el que contiene los dos tipos de Ca y Mg, el contenido total de estos elementos es igual o inferior al 0,04 %.

5 [Tercer grupo]

Un metal de las tierras raras (REM): 0,2000 % o inferior

10 El metal de las tierras raras (REM) es un elemento selectivo. Análogamente al Ca y el Mg, el REM inmoviliza al S y al O (oxígeno) en el acero, y aumenta la capacidad de trabajo en caliente del acero. Por tanto, si hay un contenido excesivo de REM, las inclusiones no metálicas (tales como óxidos y sulfuros de metales de las tierras raras) aumentan y la resistencia a la corrosión del acero disminuye. De acuerdo con esto, el contenido de REM es igual o inferior al 0,2000 %. A fin de obtener de forma notable el efecto mencionado anteriormente, es preferente que el contenido de REM sea igual o superior al de S (porcentaje en masa) + $1/2 \times O$ (porcentaje en masa). Sin embargo, 15 si contiene incluso un poco de REM, el efecto mencionado anteriormente se puede obtener en cierto grado.

REM es un término colectivo que incluye los 15 elementos del grupo de los lantánidos más el Y y el Sc. El acero contiene uno o más tipos de estos elementos. El contenido de REM significa el contenido total de uno o más tipos de estos elementos.

20 [Estructura]

La estructura del acero inoxidable dúplex de acuerdo con la presente invención incluye ferrita y austenita y el resto del mismo consiste en precipitados e inclusiones.

25 En la estructura del acero inoxidable dúplex de acuerdo con la presente invención, la tasa de ferrita es del 30 al 70 %. Nótese que la tasa de ferrita se refiere a la fracción del área de ferrita y se mide de acuerdo con el siguiente método. Se recoge una muestra de una porción dada del acero inoxidable dúplex. La muestra recogida se pule mecánicamente y después la muestra pulida se somete a grabado electroquímico en una solución del 30 % de KOH. 30 La superficie grabada de la muestra se observa usando un microscopio óptico. En ese momento, se mide la tasa de ferrita de acuerdo con un método de recuento de puntos según la norma ASTM E562.

Asimismo, la dureza de la ferrita es igual o superior a 315 Hv_{10gf}. En este caso, la dureza de la ferrita se determina de acuerdo con el siguiente método. Se seleccionan diez puntos dados de la ferrita en la muestra usada para la observación de la estructura descrita anteriormente. Se mide la dureza Vickers de acuerdo con la norma JIS Z2244 35 en los diez puntos seleccionados. La fuerza del ensayo en el momento de la medición se fija en 98,07 N (el símbolo de la dureza es "Hv_{10gf}"). El promedio de ocho puntos obtenido excluyendo el valor máximo y el valor mínimo de los valores de la dureza Vickers medidos se define como la dureza de la ferrita.

40 En el caso en el que la tasa de ferrita es inferior al 30 %, el acero inoxidable dúplex no se puede proporcionar con un límite elástico suficiente. Específicamente, el límite elástico del acero inoxidable dúplex es inferior a 550 MPa. Por otro lado, en el caso en el que la tasa de ferrita es superior al 70 %, la tenacidad del acero inoxidable dúplex es excesivamente baja. Así pues, el límite superior de la tasa de ferrita es del 70 %.

45 Además, aunque la tasa de ferrita no se encuentre dentro del intervalo del 30 al 70 %, si el Cu no precipita lo suficiente en la ferrita, el acero inoxidable dúplex no se puede proporcionar con un límite elástico suficiente. Específicamente, aunque la tasa de ferrita sea del 30 al 70 %, si la dureza de la ferrita es inferior a 300 Hv_{10gf}, el límite elástico del acero inoxidable dúplex es inferior a 550 MPa.

50 Si la tasa de ferrita es del 30 al 70 % y si la dureza de la ferrita es igual o superior a 300 Hv_{10gf}, precipita una cantidad suficiente de Cu en la ferrita. Por tanto, el acero inoxidable dúplex tiene una resistencia excelente. Asimismo, si la tasa de ferrita es del 30 al 70 %, el acero inoxidable dúplex tiene una tenacidad excelente. En el caso en el que la tasa de ferrita es del 30 al 70 %, y la dureza de la ferrita es igual o superior a 300 Hv_{10gf}, el límite elástico del acero inoxidable dúplex es igual o superior a 550 MPa y la energía absorbida vE0 es igual o superior a 100 J.

55 La dureza de la ferrita es igual o superior a 315 Hv_{10gf}. En este caso, el límite elástico del acero inoxidable dúplex es igual o superior a 580 MPa.

[Método de producción]

60 El acero inoxidable dúplex que tiene la composición química mencionada anteriormente se funde. El acero inoxidable dúplex se puede fundir usando un horno eléctrico y se puede fundir usando un horno de descarbonización con soplado por el fondo de una mezcla gaseosa de Ar-O₂ (horno AOD). De forma alternativa, el acero inoxidable dúplex se puede fundir usando un horno de descarbonización al vacío (horno VOD). El acero inoxidable dúplex fundido se puede conformar en un lingote de acuerdo con un proceso de fabricación de lingotes y se puede conformar en una pieza colada (una plancha, un palancón o una palanquilla) de acuerdo con un proceso de colada continua. 65

Se produce un material de acero inoxidable dúplex usando el lingote o la pieza colada producidos. Ejemplos del material de acero inoxidable dúplex incluyen una placa de acero inoxidable dúplex y una tubería de acero inoxidable dúplex.

5 La placa de acero inoxidable dúplex se produce, por ejemplo, de acuerdo con el siguiente método. Se lleva a cabo el trabajo en caliente del lingote o la plancha producidos, mediante lo cual se produce la placa de acero inoxidable dúplex. Ejemplos de trabajo en caliente incluyen la forja en caliente y el laminado en caliente.

10 La tubería de acero inoxidable dúplex se produce, por ejemplo, de acuerdo con el siguiente método. Se efectúa un trabajo en caliente del lingote, la plancha o el palancón producidos, mediante lo cual se produce una palanquilla. Se lleva a cabo el trabajo en caliente de la palanquilla producida, mediante lo cual se produce la tubería de acero inoxidable dúplex. Ejemplos de trabajo en caliente incluyen la perforación-laminación de acuerdo con el proceso de Mannesmann. Se puede realizar la extrusión en caliente como trabajo en caliente, y la forja en caliente se puede realizar como tal. La tubería de acero inoxidable dúplex producida puede ser una tubería sin soldadura y puede ser una tubería de acero soldada.

20 En el caso en el que la tubería de acero inoxidable dúplex es una tubería de acero soldada, por ejemplo, se realiza un trabajo de flexión sobre la tubería de acero inoxidable dúplex mencionada anteriormente para conformarla como una tubería abierta. Ambos lados de los extremos en dirección longitudinal de la tubería abierta se sueldan de acuerdo con un método de soldadura bien conocido tal como la soldadura por arco sumergido, mediante la cual se produce la tubería de acero soldada.

25 El tratamiento en solución se efectúa sobre el material de acero inoxidable dúplex producido. Específicamente, el material de acero inoxidable dúplex se coloca en un horno de tratamiento térmico y se sumerge a una temperatura de tratamiento en solución de 1050 a 1150 °C. Después de la inmersión, el acero inoxidable dúplex se enfría rápidamente mediante refrigeración con agua o similar. El tiempo de inmersión en el tratamiento en solución es preferentemente de 2 a 60 minutos.

30 Después del tratamiento en solución, se lleva a cabo un tratamiento térmico de envejecimiento del material de acero inoxidable dúplex. Específicamente, el material de acero inoxidable dúplex se coloca en un horno de tratamiento térmico. A continuación, el material de acero inoxidable dúplex se sumerge a la temperatura de tratamiento térmico de envejecimiento. Después de la inmersión, el acero inoxidable dúplex se enfría al aire. El tiempo de inmersión en el tratamiento térmico de envejecimiento es de 2 a 60 minutos.

35 La temperatura del tratamiento en solución es de 1050 a 1150 °C y la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento es superior a 480 °C e igual o inferior a 600 °C. En este caso, la tasa de ferrita es del 35 al 55 % y la dureza de la ferrita es igual o superior a 315 Hv_{10gf}. Como resultado, el límite elástico del acero inoxidable dúplex es igual o superior a 580 MPa. La temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento es, más preferentemente, de 500 a 600 °C.

Ejemplo

45 Se fundieron aceros inoxidables dúplex que tenían varias composiciones químicas usando un horno de vacío con una capacidad de 150 kg. Se produjeron una pluralidad de placas de acero inoxidable dúplex usando los aceros inoxidables dúplex fundidos de acuerdo con varias condiciones de producción. Se evaluaron el límite elástico y la tenacidad de las placas de acero producidas.

[Método de evaluación]

50 Se fundieron aceros inoxidables dúplex que tenían varias composiciones químicas, del acero A al acero F y del acero X al acero Z, mostrados en la tabla 1.

[Tabla 1]

55

TABLA 1
Composición química (en porcentaje en masa, siendo el resto: Fe e impurezas)

Acero	Composición química (en porcentaje en masa, siendo el resto: Fe e impurezas)															
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	N	Al sol.	V	Ca	Mg	B	REM
A	0,014	0,52	0,97	0,021	0,0002	2,44	5,03	25,0	1,10	0,189	0,014	0,05	0,0023	-	0,0023	-
B	0,015	0,50	1,51	0,001	0,0008	3,41	4,21 *	20,3	1,98	0,152	0,020	-	-	-	-	-
C	0,015	0,50	1,52	0,014	0,0011	2,20	4,08 *	23,9	1,96	0,192	0,020	0,06	0,0015	-	-	-
D	0,017	0,51	1,53	0,012	0,0004	2,51	7,82	25,2	1,02	0,305	0,013	-	-	0,02	-	-
E	0,015	0,50	1,03	0,014	0,0006	2,07	5,22	26,0	0,51	0,228	0,014	-	-	-	-	0,0012
F	0,016	0,50	1,03	0,015	0,0009	2,15	5,22	27,1	0,50	0,202	0,014	0,08	-	-	0,0006	-
X	0,016	0,49	1,52	0,011	0,0008	3,22	5,21	18,1	1,94	0,232	0,012	-	-	-	-	-
Y	0,011	0,48	1,54	0,012	0,0009	1,55	5,12	26,7	1,04	0,155	0,020	-	-	-	-	-
Z	0,015	0,49	1,03	0,016	0,0006	1,21	5,08	24,8	2,11	0,185	0,020	-	-	-	-	-
* No dentro del alcance de la invención																

En resumen, los ejemplos B y C (níquel) y los ejemplos A y F (boro) no están dentro del alcance de la invención.

Los contenidos (porcentajes en masa) de los elementos en cada uno de los aceros A a F y los aceros X a Z se muestran en la sección de la composición química de la tabla 1. El resto o balance (componentes distintos a los elementos mostrados en la tabla 1) de la composición química con cada número de tipo de acero consiste en Fe e impurezas. El símbolo "-" de la tabla 1 representa que el contenido del elemento correspondiente está en un nivel de impureza.

Las composiciones químicas del acero D al acero E están dentro del intervalo de la composición química de la presente invención. Por otro lado, las composiciones químicas del acero X al acero Z están fuera del intervalo de la composición química de la presente invención. Específicamente, el contenido de Cr del acero X era inferior al límite inferior del contenido de Cr de acuerdo con la presente invención. El contenido de Cu del acero Y era inferior al límite inferior del contenido de Cu de acuerdo con la presente invención. El contenido de Cu del acero Z era inferior al límite inferior del contenido de Cu de acuerdo con la presente invención. Así, el contenido de Mo del acero Z era superior al límite superior del contenido de Mo de acuerdo con la presente invención.

Los aceros inoxidables dúplex fundidos se colaron, produciendo de este modo lingotes. Cada uno de los lingotes producidos se calentó a 1250 °C. Se llevó a cabo una forja en caliente de los lingotes calentados, produciendo de este modo materiales de placa. Los materiales de placa producidos se calentaron de nuevo a 1250 °C. Se efectuó un laminado en caliente de los materiales de placa calentados, mediante lo cual se produjeron una pluralidad de placas de acero cada una con un espesor de 15 mm. La temperatura de la superficie de cada material de acero en el momento del laminado era de 1050 °C.

El tratamiento en solución y el tratamiento térmico de envejecimiento se efectuaron sobre la pluralidad de placas de acero producidas, mediante lo cual se produjeron las placas de acero con los números de ensayo 1 a 15 de la tabla 2.

[Tabla 2]

TABLA 2

Número de ensayo	Acero	Temperatura del tratamiento en solución (°C)	Temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento (°C)	Tasa de ferrita (%)	Dureza de la ferrita (Hv _{10gf})	LE (MPa)	RT (MPa)	vE0 (J)
1	A	1070	500	54	332	612	846	174
2	A	1070	550	43	329	631	859	163
3	A	1070	600	37	317	588	807	158
4 *	B	1070	550	41	335	613	842	117
5 *	C	1070	550	44	308	578	853	121
6	D	1070	550	36	315	580	802	180
7	E	1070	550	43	317	606	839	184
8	F	1070	550	55	327	622	837	167
9	A	1070	450	62	298	545	850	207
10	A	1070	700	33	291	502	772	65
11	X	1070	550	29	305	543	793	182
12	Y	1070	550	45	278	540	801	179
13	Z	1070	550	47	284	537	776	85
14	A	1070	-	49	283	528	796	210
15	D	1070	700	29	289	500	762	62

* Fuera del alcance de la invención

En resumen, los números de ensayo 1-5, 8-10 y 14 están fuera del alcance de la invención.

El tratamiento en solución se efectuó sobre la placa de acero con cada número de ensayo. La temperatura del tratamiento en solución (°C) era la mostrada en la tabla 2 y el tiempo de inmersión era de 5 minutos para todos los números de ensayo. Más específicamente, cada placa de acero se colocó en un horno de tratamiento térmico y se

mantuvo después durante 5 minutos a la temperatura del tratamiento en solución (°C) mostrada en la tabla 2. Después de esto, cada placa de acero se retiró del tratamiento térmico y se enfrió con agua hasta que la temperatura de la superficie de acero alcanzó una temperatura normal (25 °C).

- 5 Después del tratamiento en solución, se efectuó el tratamiento térmico de envejecimiento de cada placa de acero. La temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento (°C) era la mostrada en la tabla 2 y el tiempo de inmersión era de 30 minutos para todos los números de ensayo. Más específicamente, cada placa de acero se colocó en un horno de tratamiento térmico y se mantuvo después durante 30 minutos a la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento (°C) mostrada en la tabla 2. Después de esto, cada placa de acero se retiró del horno de tratamiento
- 10 térmico y se enfrió con aire hasta que la temperatura de la superficie de acero alcanzó una temperatura normal (25 °C).

[Medición de la tasa de ferrita]

- 15 Se obtuvo la tasa de ferrita de la placa de acero con cada número de ensayo de acuerdo con el siguiente método. Se recogió de cada placa de acero una muestra para la observación de la estructura. La muestra recogida se pulió mecánicamente y después la muestra pulida se sometió a grabado electroquímico en una solución del 30 % de KOH. La superficie grabada de la muestra se observó usando un microscopio óptico (con campo x 400). En ese momento, el área de la región observada era de aproximadamente 2000 mm². Se obtuvo la tasa de ferrita (%) en la
- 20 región observada. La tasa de ferrita se obtuvo de acuerdo con un método de recuento de puntos según la norma ASTM E562.

[Ensayo de medición de la dureza de la ferrita]

- 25 Se determinó la dureza de la ferrita de la placa de acero con cada número de ensayo de acuerdo con el siguiente método. Se seleccionan diez puntos dados de la ferrita en la región observada de la muestra para la observación de la estructura descrita anteriormente. Se midió la dureza Vickers de acuerdo con la norma JIS Z2244 en cada uno de los puntos seleccionados. La fuerza del ensayo en el momento de la medición era de 98,07 N. El promedio de ocho puntos obtenido excluyendo el valor máximo y el valor mínimo de los valores de la dureza Vickers medidos se define
- 30 como la dureza de la ferrita (Hv_{10gf}).

[Ensayo del límite elástico y de la resistencia a la tracción]

- De la placa de acero con cada número de ensayo se tomó una muestra de tracción de barra redonda. La muestra de tracción de barra redonda tenía un diámetro externo de 6,35 mm y una longitud de la parte paralela de 25,4 mm. La parte paralela de la misma se extendía en la dirección de laminación de la placa de acero. Se efectuó un ensayo de tracción de la muestra de barra redonda tomada a una temperatura normal, mediante el cual se obtuvieron el límite elástico LE (MPa) y la resistencia a la tracción RT (MPa). Un esfuerzo convencional en el punto de fluencia del 0,2 % basado en la norma ASTM A370 se definió como el límite elástico LE (MPa).
- 35
- 40

[Ensayo de tenacidad]

- Como ensayo de tenacidad se efectuó un ensayo de impacto Charpy. Para el ensayo de impacto Charpy, de cada placa de acero se tomó una probeta con entalla en V a tamaño natural (con una anchura de 10 mm, un espesor de
- 45 10 mm, una longitud de 55 mm y una profundidad de entalla de 2 mm). El ensayo de impacto Charpy a 0 °C se efectuó usando la probeta con entalla en V obtenida, basándose en la norma JIS Z2242, mediante lo cual se obtuvo la energía absorbida (vE0).

[Resultados de la evaluación]

- 50 Los resultados se muestran en la tabla 2. La tasa de ferrita (%) para cada número de ensayo se introduce en la sección "Tasa de ferrita" de la tabla 2. La dureza de la ferrita (Hv_{10gf}) para cada número de ensayo se introduce en la sección "Dureza de la ferrita". El límite elástico (MPa) para cada número de ensayo se introduce en la sección "LE". La resistencia a la tracción (MPa) para cada número de ensayo se introduce en la sección "RT". La energía absorbida (J) a 0 °C para cada número de ensayo se introduce en la sección "vE0".
- 55

- Con referencia a la tabla 2, las composiciones químicas de las placas de acero con los números de ensayo 6 a 7 estaban dentro del intervalo de la presente invención. Además, las temperaturas del tratamiento en solución y del tratamiento térmico de envejecimiento de las placas de acero con los números de ensayo 1 a 8 estaban dentro del
- 60 intervalo de la presente invención. Por tanto, las tasas de ferrita de las placas de acero con los números de ensayo 1 a 8 estaban dentro del intervalo del 30 al 70 % y todas las durezas de la ferrita de las mismas eran iguales o superiores a 300 Hv_{10gf}. Como resultado, el límite elástico LE de las placas de acero con los números de ensayo 1 a 8 eran iguales o superiores a 550 MPa y, más específicamente, iguales o superiores a 580 MPa. Asimismo, las energías absorbidas a 0 °C de las placas de acero con los números de ensayo 1 a 8 eran iguales o superiores a 100 J.
- 65

En comparación, en el número de ensayo 9, la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento era de 450 °C,

que era inferior al límite inferior de la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento de acuerdo con la presente invención. Por tanto, el límite elástico LE de la placa de acero con el número de ensayo 9 era inferior a 550 MPa. Esto es presuntamente porque, debido a una temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento excesivamente baja, la cantidad de Cu precipitado no era suficiente para aumentar la resistencia de toda la ferrita.

En el número de ensayo 10, la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento era de 700 °C, que era superior al límite superior de la presente invención. Así pues, la dureza de la ferrita de la placa de acero con el número de ensayo 10 era inferior a 300 Hv_{10gf} y el límite elástico LE de la misma era igual o inferior a 550 MPa. Esto es presuntamente porque, debido a una temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento excesivamente elevada, el Cu se disolvía en la ferrita y la cantidad de Cu precipitado era, por tanto, pequeña.

Además, la energía absorbida vE0 de la placa de acero con el número de ensayo 10 era inferior a 100 J. Esto es presuntamente porque, debido a una temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento excesivamente elevada, precipitaban grandes cantidades de fases σ , carburos de Mo y carburos de Cr.

El contenido de Cr de la placa de acero con el número de ensayo 11 era inferior al límite inferior del contenido de Cr de acuerdo con la presente invención. Por tanto, la tasa de ferrita era inferior al 30 % y el límite elástico LE era inferior a 550 MPa. Se estima que, debido a una tasa de ferrita excesivamente baja, el límite elástico LE era bajo.

El contenido de Cu de la placa de acero con el número de ensayo 12 era inferior al límite inferior del contenido de Cu de acuerdo con la presente invención. Por tanto, la dureza de la ferrita era inferior a 300 Hv_{10gf} y el límite elástico LE era inferior a 550 MPa. Se estima que, debido a un contenido de Cu excesivamente bajo, la cantidad de Cu precipitado en la ferrita era bajo.

El contenido de Cu de la placa de acero con el número de ensayo 13 era inferior al límite inferior del contenido de Cu de acuerdo con la presente invención. Además, el contenido de Mo de la placa de acero con el número de ensayo 13 era superior al límite superior del contenido de Mo de acuerdo con la presente invención. Por tanto, el límite elástico LE era inferior a 550 MPa y la energía absorbida vE0 era inferior a 100 J. Se estima que, debido a un contenido de Cu excesivamente bajo, la cantidad de Cu precipitado era baja y el límite elástico LE era bajo. Se estima también que, debido a un contenido de Mo excesivamente elevado, precipitaban grandes cantidades de fases σ y carburos de Mo y la tenacidad era baja.

En el número de ensayo 14 la temperatura del tratamiento en solución de la misma estaba dentro del intervalo de la presente invención. Sin embargo, no se realizó el tratamiento térmico de envejecimiento de la placa de acero con el número de ensayo 14. Por tanto, la dureza de la ferrita era inferior a 300 Hv_{10gf} y el límite elástico era inferior a 550 MPa.

Aunque la composición química de la placa de acero con el número de ensayo 15 estaba dentro del intervalo de la presente invención, la temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento era de 700 °C, que era superior al límite superior de la presente invención. Por tanto, la tasa de ferrita de la placa de acero con el número de ensayo 15 era inferior al 30 %, la dureza de la ferrita de la misma era inferior a 300 Hv_{10gf} y el límite elástico de la misma era inferior a 550 MPa. Se estima que, debido a una temperatura del tratamiento térmico de envejecimiento excesivamente elevada y a una tasa de ferrita excesivamente baja, no se pudo conseguir el rendimiento deseado.

Anteriormente se ha descrito la realización de la presente invención y la realización mencionada previamente se da como un mero ejemplo para realizar la invención. De acuerdo con esto, la presente invención no se limita a la realización mencionada anteriormente y se puede llevar a cabo modificando apropiadamente la realización mencionada anteriormente dentro de un intervalo que no se aleje de la esencia de la misma.

Aplicabilidad industrial

Un acero inoxidable dúplex de acuerdo con la presente invención se puede aplicar de forma amplia a campos que requieren una resistencia elevada y una tenacidad elevada. En particular, un acero inoxidable dúplex de acuerdo con la presente invención se puede aplicar a un material de acero para una tubería de línea.

REIVINDICACIONES

1. Una placa o una tubería de acero inoxidable dúplex que tiene:

- 5 una composición química que consiste en, en porcentaje en masa: C: como máximo el 0,030 %, Si: del 0,20 al 1,00 %, Mn: como máximo el 8,00 %, P: como máximo el 0,040 %, S: como máximo el 0,0100 %, Cu: más del 2,00 % y como máximo el 4,00 %, Ni: del 4,50 al 8,00 %, Cr: del 20,0 al 30,0 %, Mo: al menos el 0,50 % y menos del 2,00 %, N: del 0,100 al 0,350 % y Al sol.: como máximo el 0,040 %, W: como máximo el 0,1 % y, opcionalmente, al menos un tipo seleccionado entre el grupo que consiste en V: como máximo el 1,50 %, Ca: como máximo el 0,0200 %, Mg: como máximo el 0,02 %, y un metal de las tierras raras: como máximo el 0,2000 %, siendo el resto Fe e impurezas; y que tiene
- 10 una estructura en la que la tasa de ferrita en la estructura es del 35 al 55 % y la dureza de la ferrita en la estructura es superior a 315 Hv_{10gf}, en la que el acero tiene un límite elástico de 580 MPa o más y el acero tiene una energía absorbida vE0 de 150 J o más, obtenida en un ensayo de impacto Charpy realizado a 0 °C con una probeta con entalla en V a tamaño natural que tiene una anchura de 10 mm, un espesor de 10 mm, una longitud de 55 mm y una profundidad de entalla de 2 mm basándose en la norma JIS Z2242.
- 15

20 2. Un método de producción de la placa o tubería de acero inoxidable dúplex de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende las etapas de:

- 25 producir un lingote, plancha o palancón de un material de acero inoxidable dúplex que tiene una composición química que consiste en, en porcentaje en masa: C: como máximo el 0,030 %, Si: del 0,20 al 1,00 %, Mn: como máximo el 8,00 %, P: como máximo el 0,040 %, S: como máximo el 0,0100 %, Cu: más del 2,00 % y como máximo el 4,00 %, Ni: del 4,50 al 8,00 %, Cr: del 20,0 al 30,0 %, Mo: al menos el 0,50 % y menos del 2,00 %, N: del 0,100 al 0,350 % y Al sol.: como máximo el 0,040 %, W: como máximo el 0,1 % y, opcionalmente, al menos un tipo seleccionado entre el grupo que consiste en V: como máximo el 1,50 %, Ca: como máximo el 0,0200 %, Mg: como máximo el 0,02 %, y un metal de las tierras raras: como máximo el 0,2000 %, siendo el resto Fe e impurezas;
- 30 producir una placa de acero inoxidable dúplex mediante trabajo en caliente del lingote o la plancha, o producir una tubería de acero inoxidable dúplex mediante trabajo en caliente de una palanquilla producida mediante trabajo en caliente del lingote, la plancha o el palancón;
- efectuar un tratamiento en solución del material de acero inoxidable dúplex producido a una temperatura de 1050 a 1150 °C; y
- 35 efectuar un tratamiento térmico de envejecimiento del material de acero inoxidable dúplex que se ha sometido al tratamiento en solución, a una temperatura de más de 480 °C y como máximo de 600 °C para un tiempo de inmersión de 2 a 60 minutos.

Fig.1A

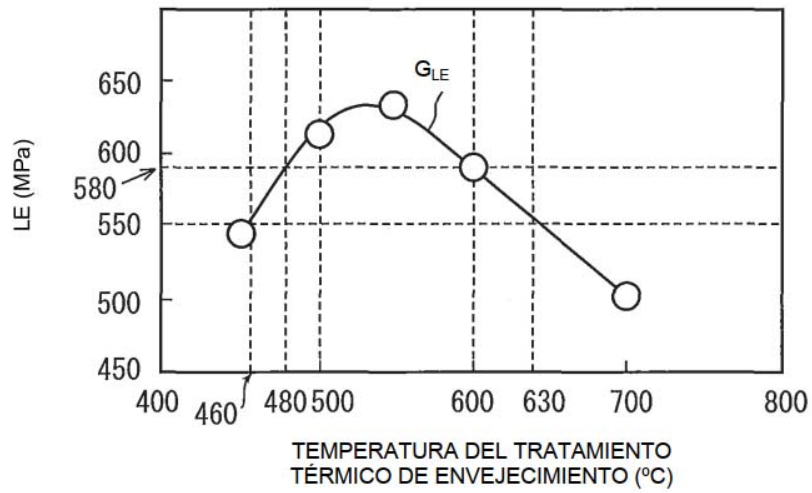


Fig.1B

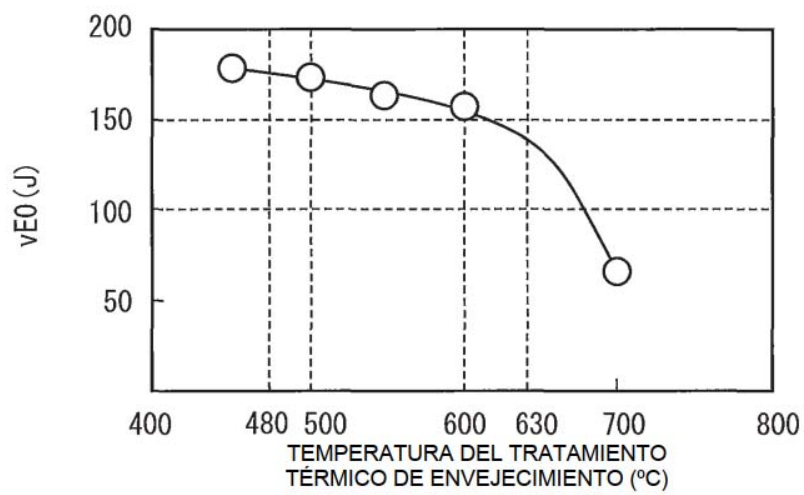


Fig.2

