

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 839 125**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01) C21D 6/00	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01) C21D 9/50	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01) C21D 1/18	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)	
C22C 38/42	(2006.01)	
C22C 38/44	(2006.01)	
C22C 38/46	(2006.01)	
C22C 38/48	(2006.01)	
C22C 38/52	(2006.01)	
B23K 35/30	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.12.2016 PCT/GB2016/054047**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **29.06.2017 WO17109501**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.12.2016 E 16822250 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.10.2020 EP 3394308**

54 Título: **Un acero, un consumible de soldadura, un producto colado, forjado o torneado y un producto soldado**

30 Prioridad:

23.12.2015 GB 201522777
08.04.2016 GB 201606014
16.09.2016 GB 201615834

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.07.2021

73 Titular/es:

GOODWIN PLC (100.0%)
Ivy House Foundry Hanley
Stoke-on-Trent ST1 3NR, GB

72 Inventor/es:

GOODWIN, RICHARD STANLEY;
GOODWIN, BERNARD RAFF ERNEST;
ROBERTS, STEPHEN y
BIRKS, STEVEN CHARLES

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 839 125 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

Un acero, un consumible de soldadura, un producto colado, forjado o torneado y un producto soldado

- 5 La presente invención se refiere a un acero, un consumible de soldadura, un producto colado, forjado o torneado y un producto soldado. En particular, la invención se refiere a aceros como los que se encuentran bajo la designación ASTM A995-13 Gr 6A, 1 de diciembre de 2013 y a un consumible de soldadura adecuado para soldar tales aceros y aceros similares, así como a un tratamiento térmico adecuado para tales aceros, estén soldados o no.
- 10 ASTM A995-13 Gr 6A, 1 de diciembre de 2013 (6A) es un acero inoxidable Súper Dúplex al 25 % de cromo (que comprende principalmente ferrita y austenita). Estos aceros Súper Dúplex se fabrican desde hace más de 40 años. Los aceros inoxidables Súper Dúplex se usan extensamente cuando se requiere una resistencia y resistencia a la corrosión más altas en comparación con los aceros inoxidables convencionales 18/8/3 tales como el 316 o la versión fundida ASTM A351 CF8M.
- 15 Tradicionalmente, el CF8M se ha usado y se sigue usando para aplicaciones criogénicas tales como las instalaciones de gas natural licuado (GNL). Esto se debe a que CF8M proporciona buenas propiedades de impacto hasta -196 grados C incluso en secciones de paredes gruesas, mientras que el acero inoxidable Súper Dúplex tal como ASTM A995-13 6A, 1 de diciembre de 2013 tradicionalmente solo tiene propiedades de impacto razonables hasta -46
- 20 grados C e incluso entonces no a un grosor 1/2 (T1/2) en componentes de pared muy gruesos donde el grosor de la pared es de 200 mm o incluso 250 mm y más grande.
- Es por esta razón que la especificación Norsok M630 para el grado 6A solo requiere que se realicen pruebas de impacto a -46 grados C y que se cumpla la siguiente condición para las piezas de fundición de producción.
- 25 La hoja de datos del material Norsok M630 MDS-D56: 45J promedio / 35J mínimo simple a -46° ¼ de espesor (T1/4)
- Norsok escribe muchas especificaciones de materiales después de haber investigado globalmente cuáles son las mejores prácticas y lo que se puede lograr a partir de fabricantes de alta calidad. Las especificaciones de Norsok se usan por muchos metalúrgicos y diseñadores ingenieros, especialmente en la industria petrolífera y de gas, como una
- 30 guía autorizada sobre qué propiedades metalúrgicas son posibles de lograr en diferentes aleaciones.
- Muchas piezas de fundición de acero inoxidable Súper Dúplex al 25 % de Cr se fabrican desde hace más de 40 años. Sin embargo, no ha sido posible garantizar propiedades de impacto más altas a -46 grados C que las especificadas en la Especificación Norsok y aún así no en componentes de paredes gruesas (por ejemplo, con un espesor de más
- 35 de 150 mm o más de 200 mm o más de 250 mm).
- KR 2015-0074700 desvela un acero inoxidable súper dúplex que tiene una excelente resistencia a la corrosión y trabajabilidad en caliente, que tiene dos fases de una fase de ferrita y una fase de austenita que tiene resistencia a la corrosión y trabajabilidad en caliente mejorada mediante la optimización de tungsteno (W) y molibdeno (Mo). El acero
- 40 inoxidable súper dúplex que tiene una excelente resistencia a la corrosión y trabajabilidad en caliente comprende: del 24 al 26 % en peso de cromo (Cr); del 6,0 al 8,0 % en peso de níquel (Ni); del 3,0 al 4,0 % en peso de molibdeno (Mo); del 0,2 al 0,3 % en peso de nitrógeno (N); del 0 al 1 % en peso de cobre (Cu); del 0 al 1 % en peso de tungsteno (W); y consistiendo el resto en hierro (Fe) y otras impurezas inevitables, en donde se satisface la ecuación de % en peso de Mo + 1/2 % en peso de W = 4 % y la relación de % en peso de W/% en peso de Mo varía de 0,16 a 0,18.
- 45 MEE VAN DER V ET AL: "HOW TO CONTROL HYDROGEN LEVEL IN (SUPER) DUPLEX STAINLESS STEEL WELDMENTS USING THE GTAW OR GMAW PROCESS", WELDING JOURNAL, AMERICAN WELDING SOCIETY, MIAMI, FL, EE.UU., vol. 78, n.º 1, 1 de enero de 1999 (01/01/1999), páginas 7-S, desvela Zeron 100 M con una composición de % de C: 0,020; % de Mn: 0,055; % de Si: 0,15; % de P: 0,018; % de S: 0,005; % de Cr: 25,8; % de Ni: 7,4; % de Mo: 3,65; % de Nb: n.d.; % de Cu: 0,69; % de Ti: n.d.; % de W: 0,66; % de N: 0,22, el resto Ni.
- 50 El documento KR 2014-0083169 desvela un acero inoxidable dúplex y un método de fabricación del mismo. El acero inoxidable dúplex consiste en el 24 al 26 % en peso de cromo (Cr), del 6,0 al 8,0 % en peso de níquel (Ni), del 3,0 al 4,0 % en peso de molibdeno (Mo), del 0,5 al 1,0 % en peso de tungsteno (W), del 0,5 al 1,0 % en peso de cobre (Cu), del 0,24 al 0,32 % en peso de nitrógeno (N) y la cantidad restante de Fe e impurezas inevitables, en donde los contenidos de Mo y W están en el intervalo de 4,1 a 4,6. Las fases de ferrita y austenita existen en el acero inoxidable dúplex.
- 55 El documento US 2005/158201 desvela un acero inoxidable dúplex de alta calidad con una formación muy suprimida de fases intermetálicas, de las cuales la composición química consiste esencialmente, en una base en peso, de: Cr: 21,0 %~38,0 %, Ni: 3,0 %~12,0 %, Mo: 1,5 %~6,5 %, W: 6,5 % o menos, Si: 3,0 % o menos, Mn: 8,0 % o menos, N: 0,2 %~0,7 %, C: 0,1 % o menos, al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Ba: 0,0001~0,6 % y uno o más elementos de Mischmetal (MM) e Y: 0,0001~1,0 % en total y un saldo de Fe e impurezas incidentales.
- 60 TAVARES S S M ET AL: "Influence of heat treatments at 475 and 400 °C on the pitting corrosion resistance and sensitization of UNS S32750 and UNS S32760 superduplex stainless steels", MATERIALS AND CORROSION,
- 65

WILEY, vol. 63, n.º 6, 1 de junio de 2012 (01/06/2012), páginas 522-526, desvela la calidad UNS S32750 que contiene el 24,57 % de Cr-6,68 % de Ni-3,75 % de Mo-0,83 % de Mn-0,34 % de Si-0,28 % de N-0,25 % de Cu-0,02 % de C y UNS S32760 que contiene el 25,20 % de Cr-7,00 % de Ni-3,70 % de Mo-0,64 % de Mn-0,35 % de Si-0,123 % de N-0,62 % de Cu-0,62 % de W-0,02 % de C (% en peso). Ambos aceros contienen menos del 0,03 % en peso de P y menos del 0,02 % en peso de P y menos del 0,02 % en peso de S.

DE MESSANO L V R ET AL: "The effect of biofouling on localized corrosion of the stainless steels N08904 and UNS S32760", INTERNATIONAL BIODETERIORATION & BIODEGRADATION, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vo. 63, N.º 5, 1 de julio de 2009 (01/07/2009), páginas 607-614 desvela un acero que consiste en, en % en peso, C: 0,015, Si: 0,28; Mn: 0,49; P: 0,019; S: 0,000; Cr: 25,0, Mo: 3,59, Ni: 7,11, Cu: 0,58, N: 0,21, W: 0,54, el resto Fe.

BARNOUSH AFROOZ ET AL: "Oxygen argon plasma treatment effect on hydrogen uptake in austenitic stainless steels", INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B,V., BARKING GB, vol. 39, n.º 26, 25 de julio de 2014 (25/07/2014), páginas 14120-14131, desvela un acero que consiste en, en % en peso, C: 0,017; Si: 0,23; Mn: 0,51; S: 0,001; P: 0,027; Cr: 24,92; Ni: 7,31; W: 0,53; Mo: 3,6; Cu: 0,6; N: 0,253; Al: 0,005, el resto Fe.

El documento US 6.129.999 desvela una estructura de acero soldada de alta resistencia con excelente SSC y resistencia a la corrosión en un entorno húmedo de dióxido de carbono que tiene una baja concentración de H₂S. Una estructura que tiene una dureza Vickers de 350 como máximo y una resistencia a la tracción conjunta de al menos 620 MPa y está compuesta por un metal base que comprende un acero inoxidable martensítico con una estructura martensítica o martensítica templada que contiene del 0,001 al 0,05 % de C y del 9 al 14 % de Cr y un metal de soldadura que comprende un acero inoxidable austenítico-ferrítico que tiene una estructura dúplex compuesta por austenita y del 35 al 75 % en volumen de ferrita y que contiene del 22 al 27 % de Cr, del 7 al 11 % de Ni y del 1,5 al 5 % de Mo y como máximo del 0,03 % de C como una impureza.

La presente invención se refiere a una química específica para un ASTM A995-13 Gr 6A, 1 de diciembre de 2013 aleación tipo Súper Dúplex que proporciona consistentemente propiedades de impacto superiores hasta un 150 % más altas que la especificación Norsok a - 46 grados C y también proporciona propiedades de impacto aceptables (45J Av / 35J Min) a - 101 grados C.

La norma de calificación de soldadura ASTM A488 no requiere pruebas de impacto profundo (es decir, a través de la profundidad de la soldadura) y casi todas las pruebas de impacto del metal de soldadura se llevan a cabo normalmente cerca de la tapa de soldadura en lugar de la raíz de la soldadura.

Es por esta razón que hay poco conocimiento de las propiedades de impacto en soldaduras Dúplex gruesas. Los datos generados por un extenso programa de pruebas usando electrodos o alambre de soldadura Dúplex disponibles en el mercado han demostrado que las propiedades de impacto del metal de soldadura a -46 grados C en piezas fundidas tratadas con solución después de la soldadura disminuyen severamente cuanto más avanzan las pruebas desde la tapa de soldadura. Entre 50 mm y 100 mm de profundidad, las propiedades de impacto son inaceptables, ya que a menudo se encuentran en cifras individuales.

La adopción de las mismas restricciones químicas o similares determinadas en el acero de la invención cuando se aplica a electrodos de soldadura para una aleación Súper Dúplex de Cr al 25% también proporciona propiedades de impacto muy mejoradas en el metal de soldadura a una profundidad mayor de 25 mm desde la tapa de soldadura.

La presente invención proporciona un acero que consisten en, en % en masa: del 0,005 al 0,015 % de carbono; del 0,05 al 0,35 % de silicio, del 7,45 al 8,4 % de níquel; el 1,00 % o menos de manganeso; el 0,025 % o menos de azufre; el 0,030 % o menos de fósforo; del 24,0 al 26,0 % de cromo; del 0,50 al 1,00 % de cobre; del 3,0 al 4,0 % de molibdeno; el 0,75 % o menos de cobalto; el 0,010 % o menos de niobio, el 0,015 % o menos de aluminio; del 0,20 al 0,30 % de nitrógeno y del 0,50 al 0,85 % de tungsteno; el 0,20 % o menos de vanadio; siendo el resto hierro e impurezas incidentales.

La invención se define en las reivindicaciones.

La adopción de la química específica de los controles de la presente invención en C, Si, Ni, Nb y W (para minimizar la presencia de fase sigma) de la presente invención da como resultado lo siguiente:

1) Propiedades de impacto en ASTM A995-13 6A, 1 de diciembre de 2013 que alcancen hasta y más 140J de promedio / 100J mínimo único a -46 ° C tanto en % como en 1/2 T en secciones de 200 mm de espesor y que aún logren el rendimiento requerido, UTS, propiedades de elongación y corrosión como se especifica en la especificación ASTM

2) Propiedades de impacto a -101 grados C en ASTM A995-13 6A, 1 de diciembre de 2013 en secciones de 200 mm de espesor que alcanzan de manera constante 45J Av y 35 J mínimo.

Este nivel de rendimiento mecánico y margen de seguridad nunca se ha logrado históricamente con piezas fundidas de sección gruesa de manera constante.

3) Si se aplican las mismas o similares limitaciones químicas que son más estrictas que la especificación ASTM a un consumible de soldadura (por ejemplo, metal de soldadura de relleno y electrodos de soldadura), entonces las propiedades de impacto en una soldadura de 100 mm de profundidad en acero inoxidable Súper Dúplex de 200 mm de espesor como ASTM A995 6A, proporcionará en el tratamiento térmico posterior a la soldadura (tratado con solución y templado con agua) o en la condición soldada, propiedades de impacto de hasta 100J promedio / 80J simple a - 46 ° C a lo largo de todo el espesor de la sección de soldadura.

La presente invención proporciona además el uso del acero o los consumibles de soldadura en una instalación de gas de petróleo líquido (LPG).

Se desvela además un método preferido de tratamiento térmico de un producto fundido o forjado o torneado de un acero inoxidable dúplex en estado soldado o sin soldar, que comprende: elevar la temperatura del producto a una primera temperatura entre 1100 y 1150 grados C y mantener a la primera temperatura; disminuir la temperatura del producto a una segunda temperatura entre 1040 y 1070 grados C y mantener a la segunda temperatura; y enfriar el producto en agua desde la segunda temperatura. La fundición o forja puede tratarse térmicamente de manera más convencional simplemente elevando la temperatura de la fundición a una primera temperatura entre 1100 y 1150 grados C y manteniéndola a la primera temperatura. Ambos de estos dos ciclos también se aplican a piezas de fundición soldadas.

El tratamiento térmico puede aplicarse al acero de la invención y al consumible de soldadura de la invención así como a otros aceros inoxidables Súper Dúplex. El control difiere del tratamiento térmico ASTM en que se mantiene a 1120 grados C para permitir que la pieza fundida se caliente a través (durante aproximadamente 1 hora por pulgada de sección transversal máxima de la pieza), seguido de una disminución de la temperatura a 1050 grados C y mantenerla durante un tiempo adicional (por ejemplo, 5 horas) seguido de un enfriamiento con agua.

La adopción de este proceso de tratamiento térmico, o en el caso de la soldadura, ningún tratamiento térmico posterior a la soldadura, seguirá produciendo propiedades de impacto un 50 % mejores de lo normal con la química mejorada, pero el tratamiento térmico escalonado de la presente invención mejora además las propiedades de impacto tanto del metal/acero base de la presente invención como de la soldadura hecha del consumible de soldadura de la presente invención.

El acero inoxidable dúplex de la presente invención tiene propiedades de alto impacto en piezas fundidas en estado tratado térmicamente. Una pieza fundida ya tratada térmicamente puede soldarse con una carga o varilla según la química de la invención y no someterse a un tratamiento térmico posterior a la soldadura y todavía tener una excelente resistencia al impacto tanto en el metal fundido de base como en el metal de soldadura. Se cree que la resistencia superior al impacto y a la corrosión es el resultado de una fracción de volumen menor de fase sigma en la microestructura del acero. La fase sigma es un compuesto intermetálico que puede estar presente en el acero inoxidable dúplex además de la austenita y la ferrita que componen el resto de la microestructura junto con los carburos, nitruros, etc. La ausencia de cantidades sustanciales de fase sigma también significa que las piezas de fundición grandes no se agrietan al subir y bajar la temperatura durante el tratamiento térmico. Anteriormente, incluso el aumento lento de la temperatura de una fundición grande Súper Dúplex daba como resultado el agrietamiento de la pieza fundida.

La presente invención se describirá ahora a modo de ejemplo no limitante por referencia a los siguientes dibujos.

La Figura 1 es una tabla del intervalo de composición para un acero ASTM A995-13 Gr 6A con fecha del 1 de diciembre de 2013

La Figura 2 es una tabla de composiciones y resistencias al impacto de ejemplos de la invención y ejemplos comparativos;

La Figura 3 es una tabla de composiciones y resistencias al impacto de ejemplos de la invención;

La Figura 4 es una tabla de un ejemplo de composición de consumibles de soldadura;

La Figura 5 es una ilustración esquemática de las dimensiones de una placa de prueba de soldadura de 200 mm;

La Figura 6 es una tabla que muestra los resultados de impacto para una soldadura hecha del consumible de soldadura de la Figura 4;

La Figura 7 es un gráfico de barras que muestra la mejora en la resistencia al impacto de un consumible de soldadura de la presente invención en comparación con el consumible de soldadura convencional en la condición de soldado; y

La Figura 8 es un gráfico de barras que muestra la mejora en la resistencia al impacto de un consumible de soldadura de la presente invención en comparación con el consumible de soldadura convencional en la condición tratada con calor después de la soldadura.

La presente invención se refiere a un acero con una composición que cae dentro de ASTM A995-13 Gr 6A, 1 de diciembre de 2013 y que tiene una composición más compacta para aumentar la resistencia al impacto a baja temperatura, particularmente en secciones gruesas y a grandes profundidades, manteniendo los otros requisitos físicos de ASTM A995-13 Gr 6A, 1 de diciembre de 2013, tales como rendimiento, UTS, alargamiento y resistencia a la corrosión. Se cree que el acero de la invención también tiene una resistencia a la corrosión mejorada en

comparación con otros aceros que caen en ASTM A995-13 Gr 6A, 1 de diciembre de 2013. También se logra una resistencia a la corrosión mejorada.

En la presente invención, en comparación con ASTM A995-13 dúplex Grado 6A, 1 de diciembre de 2013 el contenido de silicio es relativamente limitado y/o el contenido de níquel está relativamente elevado, así como cantidades específicas de carbono y tungsteno, combinado con la limitación de las cantidades de niobio y aluminio dan como resultado las propiedades mejoradas, que se cree que se debe al menos en parte a la reducción en presencia de la fase sigma que se forma durante el enfriamiento después del tratamiento térmico de la solución a los 1120 grados C nominales

A continuación se describirán las razones para restringir la composición química del acero inoxidable dúplex de la presente invención en comparación con ASTM A995-13 Gr 6A, 1 de diciembre de 2013. Se omite una explicación del efecto de las adiciones que no varían de la norma ASTM.

Todos los porcentajes son porcentajes en peso a menos que se indique lo contrario. La expresión "que consiste en" se usa en el presente documento para indicar que se está haciendo referencia al 100 % de la composición y se excluye la presencia de componentes adicionales de modo que los porcentajes sumen 100 %.

Carbono (C)

El carbono es eficaz para estabilizar las fases austeníticas. Su cantidad es el 0,005 % o más. Sin embargo, la cantidad de carbono es limitada ya que su solubilidad tanto en ferrita como en austenita es limitada. De esta manera limitar la cantidad de carbono al 0,020 %, a saber, del 0,005 al 0,020, reduce el riesgo de precipitación de carburos, particularmente carburos de cromo. Los experimentos han demostrado que limitar aún más el carbono da como resultado una resistencia al impacto aún más alta. En la invención, el carbono está limitado al 0,015 % o menos, preferentemente el 0,0145 % o menos. Particularmente para los consumibles de soldadura (por ejemplo, electrodos) se prefiere un nivel más bajo de carbono del 0,0145 % o menos.

Silicio (Si)

El silicio está presente como un desoxidante. Una cantidad mínima de silicio del 0,05 % o más, preferentemente el 0,1 % o más consigue una desoxidación suficiente. Sin embargo, la presencia de silicio puede provocar la precipitación de fases intermetálicas no deseadas, incluyendo la fase sigma. Por lo tanto, la cantidad de silicio está limitada al 0,35 por ciento en masa pero preferentemente al 0,30 % y preferentemente al 0,25 %. Se ha descubierto que para niveles más altos de silicio, su presencia en piezas fundidas puede mitigarse en cierta medida mediante una composición de alto contenido de níquel como se muestra en los ejemplos descritos a continuación. Preferentemente, la cantidad de silicio se limita al 0,30 % o incluso al 0,25 % para reducir de esta manera la posibilidad de precipitación en fase sigma. Las mejores propiedades se logran con una combinación de bajo contenido de silicio (el 0,35 % o menos o preferentemente el 0,30 % o menos y preferentemente el 0,25 % o menos) combinado con alto contenido de níquel del 7,45 al 8,4 % o preferentemente del 7,5 al 8,4 %, más preferentemente del 7,8 al 8,4 % y más preferentemente del 8,05 al 8,4 % y lo más preferentemente de 8,1 al 8,4 %. El contenido de níquel del 7,45 a menos del 7,8 % logra un rendimiento de alto impacto, pero el rendimiento de impacto mejora aún más con un 7,8 % o más de níquel.

Níquel (Ni)

El níquel es un elemento estabilizador de austenita. Los experimentos han demostrado que un mayor contenido de níquel mejora la resistencia al impacto. Una cantidad mínima de níquel del 7,45 % conduce a una alta resistencia al impacto en el caso de que la presencia de silicio se limite al 0,35 % o menos. Una cantidad mínima del 7,8 % de níquel logra una alta resistencia al impacto incluso con niveles relativamente altos de silicio de hasta el 0,45 %. Sin embargo, se obtienen los mejores resultados, sea cual sea el nivel de silicio, a niveles de níquel del 7,45 % al 8,4 %, preferentemente del 7,5 % al 8,4 % y más preferentemente del 7,8 al 8,4 % e incluso más preferentemente del 8,05 al 8,4 % y lo más preferentemente de 8,10 al 8,4 %.

Niobio (Nb)

No se hace referencia al niobio en la norma ASTM A995-13, 1 de diciembre de 2013. Sin embargo, el niobio es perjudicial para las propiedades de impacto por la formación de carburos y/o nitruros como descubrieron los presentes inventores. El niobio tiene una alta afinidad por el nitrógeno y, como tal, forma más específicamente nitruros que se combinan con el nitrógeno presente en el acero como un elemento de aleación intencional. El niobio está presente preferentemente en una cantidad del 0,002 % o más o el 0,003 % o más. Sin embargo, la presencia de niobio en cantidades superiores al 0,017 % puede conducir a una reducción de la resistencia al impacto del acero como se muestra en los ejemplos adjuntos. Por lo tanto, la cantidad de niobio se limita al 0,010 % para un mejor rendimiento. Un nivel de niobio del 0,010 % o menos es muy bajo en comparación con la mayoría de los aceros fabricados, que normalmente tienen un nivel de al menos el 0,015 % hasta el 0,03 %, aunque el nivel preciso a menudo no se controla ni se informa debido a la prevalencia del niobio en estas concentraciones. Las especificaciones de ASTM no imponen

ninguna limitación al nivel de niobio. Para lograr una concentración baja de niobio, es necesario el refinado por descarburación de argón con oxígeno (AOD) o la fusión por inducción de cromo puro y también el uso de ARMCO. En AOD, la temperatura de refinado y la concentración de silicio se controlan mientras se sopla oxígeno para retirar el niobio sin retirar otros elementos. La ventaja de usar el proceso AOD es que puede usarse chatarra (por ejemplo, acero inoxidable, chapa, etc.) para mantener bajo el coste de las materias primas. Para la fusión por inducción no puede usarse chatarra, ya que la chatarra contiene demasiado niobio y, por lo tanto, es necesario comprar materiales de partida caros.

Tungsteno (W)

El tungsteno mejora la resistencia a la corrosión, particularmente resistencia a la corrosión por picaduras y grietas. En la presente invención, la cantidad de tungsteno está entre el 0,50 y el 0,85 %, ya que los experimentos han demostrado que esto proporciona el mejor intervalo para una buena resistencia al impacto a bajas temperaturas. Preferentemente la cantidad de tungsteno es del 0,64 al 0,84 % o del 0,66 al 0,84 %.

Aluminio

No se hace referencia al aluminio en la norma ASTM A995-13, 1 de diciembre de 2013. Sin embargo, la cantidad de aluminio debe limitarse para reducir la precipitación de nitruro de aluminio, cuya presencia puede resultar en una pérdida de resistencia a la corrosión y tenacidad. Por lo tanto, la cantidad de aluminio se limita al 0,015 % o menos, preferentemente el 0,010 % o menos.

Azufre

Se prefiere un nivel más bajo de azufre que el permitido por la especificación ASTM para evitar la formación de sulfuros en el acero y así mejorar la resistencia al impacto. Se prefiere un nivel de azufre del 0,010 % o menos.

Cobalto

El cobalto suele estar presente en el níquel de origen ya que los dos elementos se encuentran juntos. El cobalto se comporta de manera similar al níquel y, por lo tanto, puede estar presente en un 0,75 % o menos, preferentemente en un 0,60 % o menos, más preferentemente en un 0,50 % o menos y lo más preferentemente en un 0,20 % o menos.

Pueden estar presentes impurezas accidentales, preferentemente hasta un máximo del 0,20 %. El vanadio puede estar presente hasta un máximo del 0,20 %. Preferentemente, el vanadio está presente a un nivel del 0,10 % o menos.

La presencia de la fase sigma puede afectar negativamente a la resistencia al impacto. Por lo tanto, preferentemente, la fracción de volumen de la fase sigma en el acero es menos del 0,25 %, preferentemente menos del 0,1 %, lo más preferentemente ninguna fase sigma detectable según se mide bajo cualquiera de los procedimientos de ASTM A923 2014, preferentemente ASTM A923-14 método C.

Acero preferido

Un acero preferido incluye o consiste en, en % en masa: del 0,005 al 0,015 % de carbono; del 0,05 al 0,35 (o preferentemente el 0,30 %) de silicio, del 7,45 al 8,4 % de níquel (preferentemente del 7,8 al 8,4 % de níquel); el 1,00 % o menos de manganeso; el 0,025 % o menos de azufre; el 0,030 % o menos de fósforo; del 24,0 al 26,0 % de cromo; del 0,50 al 1,00 % de cobre; del 3,0 al 4,0 % de molibdeno; el 0,75 % o menos de cobalto; el 0,010 % o menos de niobio, el 0,015 % o menos de aluminio; del 0,20 al 0,30 % de nitrógeno y del 0,50 al 0,85 % de tungsteno; siendo el resto hierro e impurezas incidentales. Incluso más preferentemente el acero preferido incluye o comprende el 0,25 % o menos de silicio y/o el 0,0145 % o menos de carbono y/o el 8,0 % o más de níquel y/o el 8,05 % o más de níquel y/o el 0,010 % o menos de azufre y/o el 0,002 % o más de niobio y/o el 0,003 % o más de niobio.

Consumible de soldadura preferido

Un consumible de soldadura preferido incluye o consiste en, en % en masa: el 0,015 % o menos de carbono; del 0,05 al 0,35 (o preferentemente el 0,30 %) de silicio, del 7,45 al 10,5 % de níquel (preferentemente del 7,8 al 10,5 % de níquel); el 2,00 % o menos de manganeso; el 0,025 % o menos de azufre; el 0,030 % o menos de fósforo; del 24,0 al 27,0 % de cromo; del 0,00 al 1,00 % de cobre; del 3,0 al 4,5 % de molibdeno; el 0,75 % o menos de cobalto; el 0,010 % o menos de niobio, el 0,015 % o menos de aluminio; del 0,20 al 0,30 % de nitrógeno y del 0,00 al 1,00 % de tungsteno; siendo el resto hierro e impurezas incidentales. Incluso más preferentemente el consumible de soldadura preferido incluye o comprende el 0,25 % o menos de silicio y/o el 0,0145 % o menos de carbono y/o el 8,0 % o más de níquel y/o el 8,05 % o más de níquel y/o el 9,1 % o más de níquel y/o el 9,3 % de níquel y/o el 9,4 % o más de níquel y/o el 0,010 % o menos de azufre y/o el 0,002 % o más de niobio y/o el 0,003 % o más de niobio.

Ejemplo

Se prepararon aceros inoxidables Súper Dúplex con la composición química mostrada en la Figura 2. Se prepararon piezas de fundición de 200 mm de espesor. Estas piezas de fundición se trataron térmicamente a 1120 °C donde se mantuvieron durante un tiempo para permitir el calentamiento (por ejemplo, 1 hora por cada pulgada de espesor) antes de que la temperatura descendiera a 1050 °C y se mantuviera durante cinco horas, seguido de un templado con agua.

5 En el caso del ejemplo 3, la pieza fundida tenía un espesor de 150 mm.

El tratamiento térmico está diseñado de manera que toda la fase sigma se disuelva en las fases de austenita y ferrita a 1120 °C. Después la temperatura se reduce a 1050 °C, justo por encima de la temperatura de *solvus* de sigma, de tal manera que la máxima velocidad de enfriamiento pueda lograrse a lo largo del espesor de la pieza fundida para evitar la precipitación de sigma y nitruro tanto como sea posible durante el enfriamiento.

10

Las pruebas de impacto Charpy se llevaron a cabo usando especímenes de 10 mm x 10 mm x 55 mm de acuerdo con la Norma ASTM E23 "Test methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials" revisión 2012-C, a -46 °C a la mitad del espesor y los resultados se dan en la figura 2.

15

Como puede verse a partir de la figura 2, todos los ejemplos en la Tabla 1 tienen una composición que cae dentro de ASTM A995 Gr 6A, 1 de diciembre de 2013. Sin embargo, solo aquellos ejemplos que tienen una concentración de carbono limitada por debajo del 0,02 %, en concentración de silicio al 0,05-0,35 % donde la concentración de níquel está entre el 7,10 y el 8,4 % o en concentración de silicio al 0,05-0,45 % y una concentración de níquel del 7,8 al 8,4 %, tienen un contenido de niobio del 0,017 % o menos, un contenido de aluminio del 0,015 % o menos y una composición de tungsteno del 0,50-0,85 % logra una resistencia al impacto media superior a 120 julios y un mínimo de tres pruebas superiores a 108 julios. El vanadio está presente como una impureza incidental. El cobalto está presente menos del 0,75 %. El cobalto está presente porque a menudo está presente con fuentes de níquel.

20

25 En la presente invención, una resistencia al impacto promedio (para un producto de 200 mm de espesor) en 1/2 T es preferentemente de al menos 100 J y un mínimo de tres pruebas de 80 J o más según lo medido por ASTM E23, 2012-C a -46 °C.

30

Los Ejemplos 2-4 tienen el mejor rendimiento en términos de resistencia al impacto y tienen una concentración de silicio del 0,05-0,35 % así como una concentración de níquel del 7,8-8,4 %. Los Ejemplos 2 y 4 tienen el mejor rendimiento y caen dentro de la composición más preferida con niveles de carbono iguales o inferiores al 0,015 % y silicio por debajo del 0,30 % y al menos el 7,8 % de Ni. El Ejemplo 5 tiene concentraciones bajas de carbono y silicio del 0,014 % y el 0,33 % respectivamente y una concentración de níquel razonablemente alta del 7,46 %. Esta combinación da como resultado una resistencia al impacto de 121 julios que es mejor que el ejemplo 1, que tiene una mayor concentración de carbono.

35

Los Ejemplos 6-11 caen en composición fuera del alcance de la presente invención y tienen resistencias al impacto inferiores a 80 julios. Sin embargo, incluso estos ejemplos muestran una mayor resistencia al impacto en comparación con la resistencia al impacto lograda con los aceros 6A hasta ahora.

40

El Ejemplo 6 tiene una baja concentración de silicio del 0,33 %, pero debido a su baja concentración de níquel del 7,09 % solo tiene una resistencia al impacto de 75 Julios.

45

Todos los ejemplos 8-11 incluyen silicio y níquel en cantidades que caen fuera del alcance de la presente invención y dan como resultado resistencias de bajo impacto entre 62 y 72 julios.

50

El Ejemplo 12 tiene una resistencia al impacto relativamente baja en comparación con los ejemplos 1-5 de 90 julios. Sin embargo, el ejemplo 12 se trató térmicamente en una sola etapa con un tratamiento térmico en solución a 1120 grados C durante 10 horas seguido de un templado rápido con agua. Se cree que esta es la razón de la menor resistencia al impacto en comparación con los ejemplos 1-5, aunque la resistencia al impacto es mejor que la de los ejemplos 6-11, que quedan fuera de la composición preferida, pero se les aplicó el tratamiento térmico en dos etapas de la invención. Los ejemplos de mejor rendimiento de la Figura 2 (ejemplos 2-5 y 12) tienen todos el 0,015 % o menos de carbono, el 0,35 % o menos de silicio, el 0,010 % o menos de niobio y el 7,45 % o más de níquel.

55

El Ejemplo 12 muestra la mejora en la resistencia al impacto lograda aplicando el tratamiento térmico de dos etapas y también muestra que la composición de acero de la presente invención logra beneficios en la resistencia al impacto incluso con un tratamiento térmico convencional.

60

Por lo tanto, el método de tratamiento térmico es un tratamiento térmico en dos etapas que comprende elevar la temperatura de la pieza fundida a una primera temperatura en la que la fase sigma se disuelve en las fases austenita y ferrita. La primera temperatura está en el intervalo de 1100 a 1150 grados C. La pieza de fundición se mantiene a la primera temperatura durante el tiempo suficiente para que la pieza de fundición se caliente de manera que la totalidad de la fundición alcance la primera temperatura. Como un ejemplo, la pieza de fundición puede mantenerse a la primera temperatura durante un tiempo mínimo en horas del espesor (máximo) de la fundición en pulgadas dividido por 2, preferentemente por 1 (es decir, una hora por cada pulgada de espesor). La temperatura de la fundición se reduce después a una segunda temperatura justo por encima del punto de *solvus* de la fase sigma. La segunda temperatura

65

puede estar en el intervalo de 1040 a 1070 grados C siempre que esté por encima de la temperatura de *solvus* sigma. La pieza de fundición se mantiene allí el tiempo suficiente para que la temperatura se estabilice. Como un ejemplo, la pieza de fundición puede mantenerse a la segunda temperatura durante un tiempo mínimo en horas del espesor (máximo) de la fundición en pulgadas dividido por 4, preferentemente por 2 (es decir, media hora por cada pulgada de espesor). Por ejemplo, la pieza de fundición se mantiene allí durante 3 horas o más, por ejemplo durante 5 horas. El tiempo empleado en cada una de las temperaturas primera y segunda se limita preferentemente para evitar un crecimiento excesivo de granos. El tiempo transcurrido a la primera y segunda temperaturas preferentemente no excede el doble de la cantidad mínima máxima de tiempo especificada anteriormente.

5 La Figura 3 muestra los resultados de experimentos adicionales que se basan en los resultados de la Figura 2. La Figura 3 incluye los resultados de las pruebas de corrosión, UTS y las resistencias del rendimiento, así como resultados de pruebas de impacto para diferentes tamaños de fundición y a diferentes temperaturas. La forma en que se produjeron y se probaron las piezas de fundición es la misma que se explica con referencia a los ejemplos 1-11 de la Figura 2, excepto por las composiciones de fundición, tamaños y temperatura de las pruebas de impacto que se detallan en la Figura 3.

10 El ejemplo E tiene una composición cercana a la del ejemplo 4 y se comporta bien en la resistencia al impacto a 50 y 100 mm 1/2T a todas las temperaturas. Por tanto, los ejemplos 2 y 4 y A-E muestran que limitar el silicio al 0,30 %, carbono al 0,015 % y tener al menos el 7,8 % de níquel con niobio por debajo del 0,010 % da como resultado muy buenas propiedades de impacto. Sin embargo, ejemplos A, B, C y D, con concentraciones de carbono y silicio aún más limitadas, funcionan aún mejor en este sentido sin una pérdida de rendimiento en las otras áreas probadas.

15 Los ejemplos A-D muestran que es posible lograr una resistencia al impacto promedio a 1/2T de 140 J o más y un mínimo de estas pruebas de 105 J o más según lo medido por ASTM E23, 2012-C a -46 °C para tamaños de sección de al menos 50 mm y hasta 150 mm (y esperado a 200 mm). A -76 °C pueden lograrse promedios de al menos 90 J y un mínimo de 65 J o más y a -101 °C puede lograrse un promedio de al menos 60 J y un mínimo de 45 J.

20 Los resultados de corrosión a 60 °C se comparan con una pérdida de peso de 8-65 g/m² en 24 horas medido para la química 6A convencional que queda fuera de la presente invención como se informa en "Forging ahead with improvements in impact properties and corrosion resistance" S. Roberts, ASTM A995 Gr 6A exige una pérdida de peso de menos de 4 g/m² a 50 °C, que se logra fácilmente por la presente invención.

25 Las piezas de fundición grandes de acero inoxidable Súper Dúplex a menudo requieren soldadura. Esto es para unir componentes (o partes de componentes) juntos o quizás más comúnmente como reparaciones de soldadura de defectos de fundición. Como se describe en otra parte, La resistencia al impacto de las soldaduras de grandes espesores no se ha investigado previamente porque la norma ASTM relevante no requiere pruebas de soldaduras de grandes espesores. Las pruebas han demostrado que las soldaduras profundas en dúplex 6A que utilizan varillas de soldadura actualmente disponibles logran una resistencia al impacto muy baja a grandes profundidades (por ejemplo, 25 mm, 50 mm, 75 mm y 98,5 mm) para una soldadura de 100 mm de profundidad en una pieza de fundición de 200 mm de espesor. A menudo, tales soldaduras solo han logrado una resistencia al impacto a tales profundidades a -46 grados C de unas pocas decenas de julios, y no consistentemente a lo largo de la profundidad y/o ancho de la soldadura.

30 Los presentes inventores han descubierto que al adoptar la composición del acero de la presente invención en consumibles de soldadura al soldar aceros 6A, las resistencias al impacto a grandes profundidades y a lo ancho de la soldadura se mejoran enormemente. De hecho, parece que pueden lograrse incluso mejores propiedades de impacto de la soldadura con concentraciones más altas de níquel y concentraciones más bajas de carbono. Esto asegura un equilibrio de ferrita en la condición de soldado. Un consumible de soldadura puede tener una composición del acero de la presente invención excepto por el contenido de níquel de hasta el 10,5 % (preferentemente de hasta el 10,0 %) y limitar el carbono a un 0,015 % o menos, preferentemente el 0,0145 % o menos de carbono. En una realización, el consumible de soldadura tiene el 8,05 % o más de níquel, preferentemente el 8,1 % o más de níquel, más preferentemente el 9,1 % o más de níquel, aún más preferentemente el 9,3 % o más de níquel y lo más preferentemente el 9,4 % o más de níquel. Se cree que el aumento de las concentraciones de níquel minimiza la formación de sigma. En el consumible de soldadura, en comparación con el metal base, la cantidad de manganeso puede aumentarse hasta un 2,00 %, ya que esto puede mejorar la soldabilidad. Se permiten cantidades reducidas de cobre y tungsteno en una realización en comparación con el metal base (del 0,00 al 1,00 % y del 0,00 al 1,00 % respectivamente) para tener en cuenta los consumibles de soldadura tipo 2507 que no están aleados con ninguno de los elementos. En comparación con el metal base, se permite más cromo (del 24,0 al 27,0 %) y/o más molibdeno (del 3,0 al 4,5 %) en una realización para permitir ajustes de equilibrio de composición en la especificación del metal de soldadura.

35 La Figura 4 muestra la composición de un consumible de soldadura de ejemplo. El consumible de soldadura se usó para llenar una ranura de 100 mm de profundidad en una placa de prueba de 200 mm cuyas dimensiones se muestran en la Figura 5. La Figura 6 muestra los resultados de las pruebas de impacto realizadas a diversas profundidades a través del metal de soldadura, tanto en la condición de soldado (arriba) como en la condición de tratamiento térmico posterior a la soldadura (las mismas condiciones que se aplican a las piezas fundidas descritas anteriormente, es

ES 2 839 125 T3

decir, 1120 grados C seguido de 1050 grados C y luego un templado con agua). Como muestran los resultados, el consumible de soldadura de la presente invención da como resultado resistencias de impacto muy altas en el estado de soldadura y resistencias de impacto más que aceptables, aunque un poco más bajas, en la condición de tratamiento térmico.

- 5 La Figura 7 es un gráfico de barras que muestra la energía de impacto como soldado en J en el eje y a -46 °C para una soldadura de 100 mm de profundidad que tiene 90 mm de ancho en un bloque alargado de 200 mm x 330 mm a diferentes profundidades (25 mm, 50 mm y 98,7 mm) en el centro de soldadura para un consumible de soldadura (carga) de acuerdo con la presente invención (mejores resultados), un consumible de soldadura convencional sobrealeado con níquel (resultados medios) y un consumible de soldadura convencional con una composición que se encuentra dentro de la especificación ASTM (peores resultados). Las composiciones de las dos cargas convencionales son las siguientes:
- 10

	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	W	Mo	N
Carga sobrealeada con Ni	0,03	0,69	1,07	0,005	0,017	9,6	24,6	0,10	0,03	3,5	0,22
Carga que coincide con 6A (Cu)	0,025	0,61	1,01	0,015	0,019	7,8	24,6	0,65	0,71	3,6	0,27

- 15 La Figura 8 es la misma que la Figura 7 excepto que las muestras están en la condición de tratamiento térmico posterior a la soldadura, a saber, tratamiento de solución de 1120 °C durante 1 hora por pulgada de espesor, seguido de 1050 °C hasta igualar, seguido de un templado con agua. Los resultados de las Figuras 7 y 8 muestran la mejora en la resistencia al impacto de la presente invención con respecto a los consumibles de soldadura convencionales.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un acero que consiste en, en % en masa: del 0,005 al 0,015 % de carbono; del 0,05 al 0,35 % de silicio, del 7,45 al 8,4 % de níquel; el 1,00 % o menos de manganeso; el 0,025 % o menos de azufre; el 0,030 % o menos de fósforo; del 24,0 al 26,0 % de cromo; del 0,50 al 1,00 % de cobre; del 3,0 al 4,0 % de molibdeno; el 0,010 % o menos de niobio; el 0,75 % o menos de cobalto; el 0,015 % o menos de aluminio; del 0,20 al 0,30 % de nitrógeno; del 0,50 al 0,85 % de tungsteno; el 0,20 % o menos de vanadio; siendo el resto hierro e impurezas incidentales.
- 10 2. El acero de la reivindicación 1, incluyendo el 7,5 % o más de níquel, preferentemente el 7,8 % o más de níquel, lo más preferentemente el 8,00 % o más de níquel.
3. El acero de la reivindicación 1, que incluye el 8,05 % o más de níquel.
- 15 4. El acero de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, que incluye el 8,1 % o más de níquel.
5. El acero de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye del 0,005 al 0,0145 % de carbono.
- 20 6. El acero de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye del 0,05 al 0,30 % de silicio, preferentemente del 0,05 al 0,25 % de silicio, más preferentemente del 0,10 al 0,25 % de silicio.
7. El acero de una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, que incluye el 0,002 % o más de niobio.
8. El acero de una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, que incluye el 0,003 % o más de niobio.
- 25 9. El acero de cualquiera de las reivindicaciones 1-8, que incluye el 0,010 % o menos de azufre.
10. El acero de una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, que incluye del 0,64 al 0,84 % de tungsteno, preferentemente del 0,66 % al 0,84 % de tungsteno.
- 30 11. El acero de una cualquiera de las reivindicaciones 1-10, que incluye el 0,010 % o menos de aluminio.
12. El acero de cualquiera de las reivindicaciones 1-11, en donde una fracción de volumen de la fase sigma en el acero es menos del 0,25 %, preferentemente menos del 0,1 %, lo más preferentemente ninguna fase sigma detectable según se mide bajo ASTM A923 2014.
- 35 13. El acero de cualquiera de las reivindicaciones 1-12, en donde una resistencia al impacto promedio a espesor 1/2 es 100 J o más y un mínimo de tres pruebas de 80 J o más según lo medido por ASTM E23, 2012-C a -46 °C, preferentemente
40 en donde una resistencia al impacto promedio a espesor 1/2 es preferentemente de al menos 140 J o más y un mínimo de tres pruebas de 105 J o más según lo medido por ASTM E23, 2012-C a -46 °C.
14. Un producto colado, forjado o torneado formado por un acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-13.
- 45 15. Un producto soldado que comprende un metal base y un metal de soldadura en el que el metal base es un acero dúplex de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-14 y el metal de soldadura consiste en, en % en masa: el 0,015 % o menos de carbono; del 0,05 al 0,35 % de silicio, del 7,45 al 10,5 % de níquel; el 2,00 % o menos de manganeso; el 0,025 % o menos de azufre; el 0,030 % o menos de fósforo; del 24,0 al 27,0 % de cromo; del 0,00 al 1,00 % de cobre; del 3,0 al 4,5 % de molibdeno; el 0,75 % o menos de cobalto; el 0,010 % o menos de niobio; el 0,015 % o menos de aluminio; del 0,20 al 0,30 % de nitrógeno; del 0,00 al 1,00 % de tungsteno; siendo el resto hierro e impurezas incidentales.
- 50

Fig. 1

	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo	Nb	W	V	Al	N2	Co
Espec min	-	-	-	-	-	6,5	24,0	0,50	3,0	-	0,50	-	-	0,20	-
Espec máx	0,03	1,00	1,00	0,010	0,030	8,5	26,0	1,00	4,0	-	1,00	-	-	0,30	-

Fig. 2

N.º de Ejemplo	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo	Nb	W	V	Al	N2	Co	200mm 1/2T	Av.	150mm 1/2T	Av.
1*	0,016*	0,32	0,82	0,005	0,026	7,92	24,48	0,74	3,51	0,002	0,71	0,048	0,007	0,24	0,07	108,120,110	113		
2	0,013	0,22	0,74	0,001	0,027	7,80	24,95	0,66	3,60	0,001	0,70	0,06	0,009	0,22	0,048	133,130,153	139		
3	0,015	0,31	0,90	0,004	0,026	7,92	24,98	0,75	3,70	0,001	0,63	0,046	0,010	0,22	0,06			135,149,151	145
4	0,015	0,27	0,85	0,004	0,027	8,02	24,92	0,72	3,59	<0,001	0,68	0,051	0,008	0,245	0,066	158,108,106	124		
5	0,014	0,33	0,88	0,006	0,03	7,46	25,01	0,76	3,56	0,006	0,68	0,054	0,009	0,23	0,1	109,112,141	121		
6*	0,017*	0,33	0,88	0,005	0,029	7,09*	25,44	0,76	3,5	0,004	0,68	0,056	0,008	0,28	0,21	79,74,73	75		
7*	0,017*	0,54*	0,82	0,006	0,024	8,05	24,66	0,74	3,66	0,003	0,66	0,058	0,008	0,21	0,69	92,65,62	73		
8*	0,017*	0,6*	0,88	0,005	0,027	7,26*	25,48	0,66	3,02	0,025*	0,57	0,06	0,024	0,27	0,091	63,54,70	62		
9*	0,022*	0,43*	0,73	0,007	0,028	7,41*	25,05	0,73	3,64	0,014	0,67	0,055	0,009	0,25	0,09	63,53,66	61		
10*	0,0146	0,36*	0,83	0,005	0,026	7,27*	25,26	0,076	3,59	0,018*	0,68	0,064	0,009	0,28	0,07	86,64,66	72		
11*	0,013	0,4*	0,8	0,007	0,027	7,42*	25,08	0,73	3,58	0,014	0,67	0,06	0,009	0,27	0,08	75,54,80	70		
12+	0,015	0,32	0,85	0,003	0,025	7,98	24,93	0,69	3,64	0,006	0,68	0,05	0,010	0,25	0,06	91,71,98	87		

(* fuera del alcance de la invención)

(+ dentro del alcance de la invención pero tratamiento térmico diferente a otros ejemplos aplicados)

Fig. 3

No	Corrosion ASTN G48													UTS					Reindim:		EL		RA		Resultados de prueba de impacto a baja temperatura, julios						
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo	Nb	W	V	Al	N	50°C	55°C	60°C	65°C	UTS	Yield	EL	RA	Temp	Ubicación	Tamaño de bloque	I1	I2	I3	AVG		
A	0.011	0.25	0.65	0.002	0.023	8.38	24.4	0.74	3.77	0	0.71	0.053	0.01	0.21	0.0		0.0	0.0	771	495	39	64	-46	12T	50mm(2")	191	181	185	168		
B	0.014	0.13	0.78	0.006	0.021	8.35	25.1	0.68	3.83	0	0.7	0.049	0.009	0.21	0.0		0.0	1.0	757	556	40	63	-50	12T	50mm(2")	180	180	182	181		
																							-76	12T	50mm(2")	144	144	118	121		
																							-101	12T	50mm(2")	86	146	165	112		
																							-46	SUB	300mm(12")	95	85	112	98		
																			725	468	25	43	-46	12T	300mm(12")	51	41	56	49		
																							-46	144	300mm(12")	72	73	83	76		
																							-76	12T	300mm(12")	24	30	28	27		
																							-101	12T	300mm(12")	27	18	18	21		
C	0.013	0.249	0.750	0.003	0.025	8.130	25.390	0.680	3.790	0.001	0.690	0.047	0.007	0.250	0.0		0.0	0.0	765	483	36	64	-50	12T	50mm(2")	180	172	175	176		
																							-50	144	50mm(2")	172	171	170	171		
																							-76	12T	50mm(2")	138	139	133	137		
																							-101	12T	50mm(2")	65	68	71	68		

Fig. 3 (Cont.)

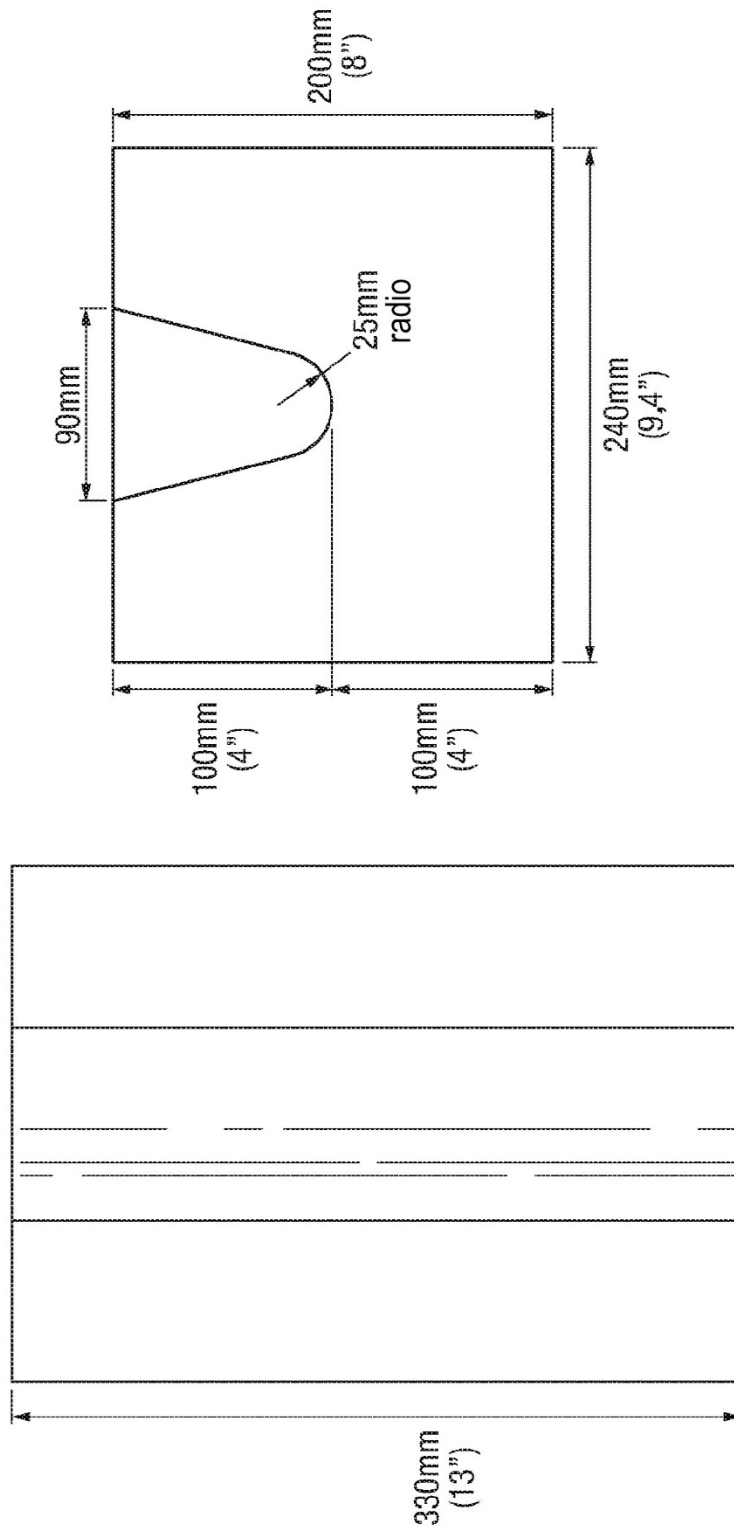
D	0.013	0.16	0.8	0.003	0.029	0.19	25.1	0.69	3.57	>0.001	0.73	0.054	0.008	0.23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	742	472	36	59	50mm(2")	127	-30	170	162	161	164
																				762	493	37	64	50mm(2")	141	-46	194	171	172	173
																								50mm(2")	127	-101	130	96	139	122
																								50mm(2")	127	-76	165	163	168	165
																				766	525	45	63	150mm(6")	127	-46	196	134	163	171
																								150mm(6")	127	-46	197	194	196	195
																								50mm(2")	127	-30	188	148	156	154
																								50mm(2")	127	-30	172	149	160	160
																								50mm(2")	127	-76	127	146	132	135
																								50mm(2")	127	-101	80	61	106	76
E																				747	491	34	71	100mm(4")	127	-46	168	142	158	158
																								100mm(4")	141	-46	163	146	154	154

Fig. 4

C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %
0,01	0,29	0,69	0,024	0,0003	25,29
Mo %	Ni %	Cu %	N %	W %	Al %
3,58	9,24	0,57	0,22	0,63	0,013
Ti %	Sn %	Nb %	Co %	B %	V %
0,005	0,004	0,006	0,04	0,0023	0,08

Fig. 5

Placa de prueba de soldadura de 200 mm que muestra la ranura mecanizada a profundidad de 100 mm radio de 25 mm



Dimensiones de la pieza de prueba de soldadura de 200 mm

Fig. 6

OPCIÓN A - PWHT: Según soldado		Resultados de impacto (Temperatura de prueba -46 °C)
	Ubicación de la muesca	
	Ubicación de muesca - línea central de la tapa de soldadura	186, 221, 189 av 199J
	Ubicación de muesca - línea central de soldadura (profundidad 22 mm)	175, 187, 175 av 179J
	Ubicación de muesca - línea central de soldadura (profundidad 50 mm)	146, 119, 142 av 136J
	Ubicación de muesca - línea central de soldadura (profundidad 75 mm)	153, 122, 151 av 142J
	Ubicación de muesca - línea central de soldadura (raíz 98,5 mm)	180, 187, 151 av 173J
OPCIÓN B - PWHT: 1120 / 1050°C		Resultados de impacto (Temperatura de prueba -46 °C)
	Ubicación de la muesca	
	<u>RESULTADOS DE LÍNEA CENTRAL DE LA TAPA DE SOLDADURA</u>	
	Ubicación de muesca - línea central de la tapa de soldadura	198, 194, 207 av 199J
	Ubicación de muesca - línea central de soldadura (profundidad 50 mm)	106, 104, 91 av 100J
	Ubicación de muesca - línea central de soldadura (raíz 98,5 mm)	89, 102, 102 av 102J
	<u>RESULTADOS DE LÍNEA DE FUSIÓN</u>	
	Ubicación de muesca Tapa de soldadura F/L	176, 186, 166 av 176J
	Ubicación de muesca profundidad 50 mm F/L	160, 189, 174 av 174J
	Ubicación de muesca Raíz profundidad 98,5 F/L	141, 165, 114 av 140J
	<u>RESULTADOS HAZ</u>	
	Ubicación de muesca profundidad 50 mm F/L + 3 mm	160, 183, 165 av 169J
	Ubicación de muesca profundidad 50 mm F/L + 5 mm	126, 139, 162 av 142J

Fig. 8

