

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 751 466**

51 Int. Cl.:

C21D 6/00 (2006.01)
C21D 9/00 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/40 (2006.01)
C22C 38/42 (2006.01)
C22C 38/44 (2006.01)
C22C 38/54 (2006.01)
C22C 38/58 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.06.2014 PCT/FI2014/050476**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **18.12.2014 WO14199019**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.06.2014 E 14810949 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.08.2019 EP 3008222**

54 Título: **Acero inoxidable austenítico ferrítico doble**

30 Prioridad:

13.06.2013 FI 20135649

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.03.2020

73 Titular/es:

**OUTOKUMPU OYJ (100.0%)
Salmisaarenranta 11
00180 Helsinki , FI**

72 Inventor/es:

**OLIVER, JAMES;
SCHEDIN, ERIK y
PETTERSSON, RACHEL**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 751 466 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

Acero inoxidable austenítico ferrítico doble

La invención se refiere a un acero inoxidable austenítico ferrítico doble que tiene una microestructura que consiste esencialmente en un 40-60 % en volumen de ferrita y un 40-60 % en volumen de austenita, preferentemente un 45-55 % en volumen de ferrita y un 45-55 % en volumen de austenita, y que tiene una trabajabilidad en frío y unas propiedades de tenacidad de impacto mejoradas por la adición de cobre.

Por lo general, el contenido de cobre está limitado en los aceros inoxidables a aproximadamente un 3 % en peso con el fin de evitar, principalmente, que no se produzca el agrietamiento en caliente durante una soldadura, colada o trabajo en caliente a temperaturas cercanas al punto de fusión. Sin embargo, los niveles inferiores (0,5-2,0 % en peso) existen en las calidades del acero inoxidable y pueden dar como resultado una mayor capacidad de mecanización y una mejora del proceso de trabajo en frío. Los aceros inoxidables dobles tienen por lo general una buena resistencia al agrietamiento en caliente.

Se conoce del documento de Patente EP 1327008 un acero inoxidable austenítico ferrítico doble que se comercializa con el nombre comercial LDX 2101® y contiene, en % en peso, un 0,02-0,07 % de carbono (C), un 0,1-2,0 % de silicio (Si), un 3-8 % de manganeso (Mn), un 19-23 % de cromo (Cr), un 1,1-1,7 % de níquel (Ni), un 0,18-0,30 % de nitrógeno (N), opcionalmente molibdeno (Mo) y/o tungsteno (W) en una cantidad total de un máximo de un 1,0 % en la fórmula (Mo + 1/2W), opcionalmente hasta un máximo de un 1,0 % de cobre (Cu), opcionalmente un 0,001-0,005 % de boro (B), opcionalmente hasta un 0,03 % de cada uno de cerio (Ce) y/o calcio (Ca), siendo el resto hierro (Fe) e impurezas inevitables en tales condiciones para los formadores de ferrita y los formadores de austenita, es decir, para el equivalente de cromo (Cr_{eq}) y el equivalente de níquel (Ni_{eq}): $20 < Cr_{eq} < 24,5$ y $Ni_{eq} > 10$, donde

$$Cr_{eq} = Cr + 1,5Si + Mo + 2Ti + 0,5Nb$$

$$Ni_{eq} = Ni + 0,5Mn + 30(C + N) + 0,5(Cu + Co).$$

En este documento de Patente EP 1327008 se dice para el cobre que el cobre es un formador de austenita valioso y puede tener una influencia favorable en la resistencia a la corrosión en algunos ambientes. Pero, por otra parte, existe un riesgo de precipitación de cobre en el caso de unos contenidos demasiado elevados del mismo, por lo que el contenido de cobre se debería maximizar a un 1,0 % en peso, preferentemente a un máximo de un 0,7 % en peso.

Como se describe en el documento de Patente EP 1786975, el acero inoxidable austenítico ferrítico del documento de Patente EP 1327008 tiene una buena capacidad de mecanización y, por lo tanto, es adecuado, por ejemplo, para operaciones de corte.

El documento de publicación de Patente WO 2010/070202 describe un acero inoxidable austenítico ferrítico doble que contiene, en % en peso, un 0,005-0,04 % de carbono (C), un 0,2-0,7 % de silicio (Si), un 2,5-5 % de manganeso (Mn), un 23-27 % de cromo (Cr), un 2,5-5 % de níquel (Ni), un 0,5-2,5 % de molibdeno (Mo), un 0,2-0,35 % de nitrógeno (N), un 0,1-1,0 % de cobre (Cu), opcionalmente menos de un 1 % de tungsteno (W), menos de un 0,0030 % de uno o más elementos del grupo que contiene boro (B) y calcio (Ca), menos de un 0,1 % de cerio (Ce), menos de un 0,04 % de aluminio (Al), menos de un 0,010 % de azufre (S) y el resto es hierro (Fe) e impurezas inevitables. En este documento de publicación de Patente WO 2010/070202 se dice para el cobre que el cobre se conoce que suprime la formación de fase intermetálica con un contenido de más de un 0,1 % en peso, y más de un 1 % en peso de cobre da como resultado una mayor cantidad de fase intermetálica.

El documento de publicación de Patente WO 2013/081422 describe un acero inoxidable doble magro y un método de preparación para el mismo. El acero inoxidable doble magro de la presente invención comprende: un 0,08 % o menos de C; un 0,2-3,0 % o menos de Si; un 2-4 % de Mn; un 19-23 % de Cr; un 0,3-2,5 % de Ni; un 0,2-0,3 % de N; un 0,5-2,5 % de Cu; y el resto de Fe y otras impurezas inevitables en peso. El método de preparación de un acero inoxidable doble magro altamente dúctil de la presente invención prepara una lámina delgada permitiendo que el acero fundido pase a través entre una pareja de rodillos de colada, en el que el nitrógeno de una cantidad sobre el límite de solubilidad de nitrógeno en el acero fundido se descarga al exterior a través de los rodillos de colada. El documento de publicación de Patente WO 2012/004473 se refiere a un acero inoxidable ferrítico austenítico que tiene una capacidad de mecanización mejorada. El acero contiene, en % en peso, un 0,01-0,1 % de carbono (C), un 0,2-1,5 % de silicio (Si), un 0,5-2,0 de manganeso (Mn), un 20,0-24,0 % de cromo (Cr), un 1,0-3,0 % de níquel (Ni), un 0,05-1,0 % de molibdeno (Mo) y < 0,15 % de tungsteno (W) de un modo tal que $0,05 < Mo + 1/2W < 1,0$ %, un 1,6-3,0 % de cobre (Cu), un 0,12-0,20 % de nitrógeno (N), < 0,05 % de aluminio (Al), < 0,5 % de vanadio (V), < 0,5 % de niobio, < 0,5 % de titanio (Ti), < 0,003 % de boro (B), < 0,5 % de cobalto (Co), < 1,0 % de REM (metal de tierra rara), < 0,03 % de calcio (Ca), < 0,1 % de magnesio (Mg), < 0,005 % de selenio (Se), siendo el resto hierro (Fe) e impurezas. Se dice para el cobre en esta publicación, que el cobre presente en un contenido de entre un 1,6-3,0 % contribuye a la consecución de la estructura ferrítica austenítica de dos fases deseada, para obtener una mejor resistencia a la corrosión general sin que se produzca un aumento de la tasa de nitrógeno en una sombra demasiado alta. Por debajo de un 1,6 % de cobre, la tasa de nitrógeno requerida para la estructura de fase deseada comienza a ser demasiado grande para evitar los problemas de la calidad de la superficie de floraciones coladas de forma continua, y por encima de un 3,0 % de cobre, puede comenzar el riesgo de segregación y/o precipitación de

cobre y de ese modo genera resistencia a la corrosión localizada y disminuye la resiliencia tras un uso prolongado.

5 El documento de publicación de Patente JP 2010222695 se refiere a un acero inoxidable austenítico ferrítico que contiene, en % en peso, un 0,06 % o menos de C, un 0,1-1,5 % de Si, un 0,1-6,0 % de Mn, un 0,05 % o menos de P, un 0,005 % o menos de S, un 0,25-4,0 % de Ni, un 19,0-23,0 % de Cr, un 0,05-1,0 % de Mo, un 3,0 % o menos de Cu, un 0,15-0,25 % de N, un 0,003-0,050 % de Al, un 0,06-0,30 % de V y un 0,007 % o menos de O, mientras que se controla Ni-bal. representado por la expresión

$$\text{Ni-bal.} = (\text{Ni} + 0,5\text{Mn} + 0,5\text{Cu} + 30\text{C} + 30\text{N}) - 1,1(\text{Cr} + 1,5\text{Si} + \text{Mo} + \text{W}) + 8,2$$

para que sea de -8 a -4 e incluye un 40-70 % mediante una tasa de área de fases de austenita.

10 El documento de publicación de Patente US 2011097234 describe un acero inoxidable doble magro que suprime la caída en la resistencia a la corrosión y la tenacidad de una zona afectada térmica de soldadura y se caracteriza por que contiene, en % en peso, C: un 0,06 % o menos, Si: de un 0,1 a un 1,5 %, Mn: de un 2,0 a un 4,0 %, P: un 0,05 % o menos, S: un 0,005 % o menos, Cr: de un 19,0 a un 23,0 %, Ni: de un 1,0 a un 4,0 %, Mo: un 1,0 % o menos, Cu: de un 0,1 a un 3,0 %, V: de un 0,05 a un 0,5 %, Al: de un 0,003 a un 0,050 %, O: un 0,007 % o menos, N: de un 0,10 a un 0,25 %, y Ti: un 0,05 % o menos, siendo el resto Fe e impurezas inevitables, teniendo un valor de temperatura M_{d30} expresado por la fórmula

$$M_{d30} = 551 - 462(\text{C} + \text{N}) - 9,2\text{Si} - 8,1\text{Mn} - 29(\text{Ni} + \text{Cu}) - 13,7\text{Cr} - 18,5\text{Mo} - 68\text{Nb}$$

de 80 o menos, teniendo un Ni-bal expresado por la fórmula

$$\text{Ni-bal} = (\text{Ni} + 0,5\text{Mn} + 0,5\text{Cu} + 30\text{C} + 30\text{N}) - 1,1(\text{Cr} + 1,5\text{Si} + \text{Mo} + \text{W}) + 8,2$$

de -8 a -4, y teniendo una relación entre el Ni-bal y el contenido de N que satisface la fórmula

$$20 \quad \text{N}(\%) \leq 0,37 + 0,03(\text{Ni-bal})$$

y teniendo además un porcentaje de área de fase de austenita de un 40 a un 70 %, y teniendo un $2\text{Ni} + \text{Cu}$ de 3,5 o más.

25 En ambas publicaciones, el documento de publicación de Patente JP 2010222695 y el documento de publicación de Patente US 2011097234, el vanadio es un elemento aditivo importante, debido que, según las publicaciones, el vanadio disminuye la actividad del nitrógeno y de ese modo retrasa la precipitación de los nitruros. La precipitación de los nitruros es crítica, debido a que se añade nitrógeno para mejorar la resistencia a la corrosión de una zona afectada térmicamente (HAZ) durante una soldadura, y con un mayor contenido de nitrógeno, aumentará el riesgo de la degradación de la propiedad por el depósito de nitrógeno en los límites de grano.

30 El objeto de la presente invención es eliminar algunas desventajas de la técnica anterior y mejorar el acero inoxidable austenítico ferrítico doble según el documento de Patente EP 1327008 en trabajabilidad en frío y en tenacidad de impacto con un aumento en el contenido de cobre. Los rasgos esenciales de la presente invención se enumeran en las reivindicaciones anexas.

35 Según la invención, se ha descubierto que al aumentar el contenido de cobre en el acero inoxidable austenítico ferrítico doble que se describe en el documento Patente EP 1327008 y se comercializa bajo la marca comercial LDX 2101®, de un modo tal que el acero inoxidable austenítico ferrítico contenga un 1,1-1,5 % en peso de cobre, mejorarán las propiedades de trabajabilidad en frío. La adición de cobre también afecta a la capacidad de mecanización. El acero inoxidable austenítico ferrítico doble según la invención, que tiene un 40-60 % en volumen de ferrita y un 40-60 % en volumen de austenita, preferentemente un 45-55 % en volumen de ferrita y un 45-55 % en volumen de austenita en las condiciones de recocido, contiene, en % en peso, menos de un 0,04 % de carbono (C), un 0,1-2,0 % de silicio (Si), un 3-5 % de manganeso (Mn), un 21-22 % de cromo (Cr), un 1,1-1,9 % de níquel (Ni), un 0,75-3,5 % de cobre (Cu), un 0,18-0,26 % de nitrógeno (N), opcionalmente molibdeno (Mo) y/o tungsteno (W) en una cantidad total calculada con la fórmula $(\text{Mo} + 1/2\text{W}) \leq 1,0$ %, opcionalmente un 0,001-0,005 % de boro (B), opcionalmente hasta un 0,03 % de cada uno de cerio (Ce) y/o calcio (Ca), siendo el resto hierro (Fe) e impurezas inevitables en tales condiciones para los formadores de ferrita y los formadores de austenita, es decir, para el equivalente de cromo (Cr_{eq}) y el equivalente de níquel (Ni_{eq}): $21 < \text{Cr}_{\text{eq}} < 24,5$ y $\text{Ni}_{\text{eq}} > 10$, donde

$$\text{Cr}_{\text{eq}} = \text{Cr} + 1,5\text{Si} + \text{Mo} + 2\text{Ti} + 0,5\text{Nb}$$

$$\text{Ni}_{\text{eq}} = \text{Ni} + 0,5\text{Mn} + 30(\text{C} + \text{N}) + 0,5(\text{Cu} + \text{Co}).$$

La temperatura crítica de picadura (CPT) del acero según la invención es 13-19 °C, preferentemente 13,4-18,9 °C, más preferentemente 14,5-17,7 °C.

50 Los efectos de los diferentes elementos en la microestructura se describen a continuación, describiéndose los contenidos del elemento en % en peso:

5 El carbono (C) contribuye a la resistencia del acero y es también un formador de austenita valioso. Sin embargo, es consumidor de tiempo al llevar el contenido de carbono por debajo de su nivel bajo en conexión con la descarburización del acero, y también es caro debido a que aumenta el consumo de agentes de reducción. Si el contenido de carbono es elevado, existe el riesgo de la precipitación de carburos, que pueden reducir la tenacidad de impacto del acero y la resistencia a la corrosión intercrystalina. También se ha de considerar que el carbón tiene una solubilidad muy baja en la ferrita, lo que significa que el contenido de carbono del acero se recoge básicamente en la fase austenítica. Por lo tanto, el contenido de carbono se restringirá a un máximo de un 0,04 %.

10 El silicio (Si) se puede usar con fines de desoxidación en la fabricación del acero y existe en forma de un residuo de la fabricación del acero en una cantidad de al menos un 0,1 %. El silicio tiene unas características favorables en el acero debido al efecto de refuerzo de la resistencia a alta temperatura de la ferrita, lo que tiene una importancia significativa en la fabricación. El silicio también es un fuerte formador de ferrita y participa como tal en la estabilización de la estructura doble y, debido a estas razones, debería existir en una cantidad de al menos un 0,2 %, preferentemente en una cantidad de al menos un 0,35 %. Además, el silicio tiene algunas características desfavorables debido a que reduce de forma pronunciada la solubilidad del nitrógeno, que deberá existir en mayores cantidades, y si el contenido de silicio también es alto el riesgo de precipitación de fases intermetálicas no deseadas aumenta. Por lo tanto, el contenido de silicio se limita a un máximo de un 2,0 %, preferentemente a un máximo de 1,5 %, y de forma adecuada a un máximo de un 1,0 %. Un contenido de silicio óptimo es un 0,35-0,80 %.

20 El manganeso (Mn) es un importante formador de austenita y aumenta la solubilidad del nitrógeno en el acero y por lo tanto deberá existir en una cantidad de al menos un 3 %, preferentemente al menos un 3,8 %. Por otra parte, el manganeso reduce la resistencia a la corrosión del acero. Además, es difícil descarburizar los fundidos de acero inoxidable que tienen altos contenidos de manganeso, lo que significa que no es necesario añadir el manganeso después de que se acabe la descarburización en forma de manganeso comparativamente puro y, en consecuencia, caro. Por lo tanto, el acero no debería contener más de un 5 % de manganeso. Un contenido óptimo es un 3,8-4,5 % de manganeso.

25 El cromo (Cr) es el elemento más importante para la consecución de una resistencia a la corrosión deseada del acero. Además, el cromo es el formador de ferrita más importante del acero y da, en combinación con otros formadores de ferrita y con un contenido equilibrado de los formadores de austenita del acero, el carácter doble deseado del acero. Si el contenido de cromo es bajo, existe el riesgo de que el acero contenga martensita y si el contenido de cromo es alto, existe el riesgo de una estabilidad perjudicada frente a la precipitación de fases intermetálicas y la denominada fragilidad 475, y a una composición de fases no equilibrada del acero. Por estas razones, el contenido de cromo debería ser un 21,0-22,0 %, preferentemente un 21,2-21,8 %.

35 El níquel (Ni) es un fuerte formador de austenita y tiene un efecto favorable en la ductilidad del acero y por lo tanto deberá existir en una cantidad de al menos un 1,1 %. Sin embargo, el precio de la materia prima de níquel es a menudo elevado y fluctúa, por lo que el níquel, según un aspecto de la invención, se sustituye por otros elementos de aleación siempre que sea posible. No es necesario más de un 1,9 % de níquel para la estabilización de la estructura doble deseada del acero en combinación con otros elementos de aleación. Por lo tanto, un contenido óptimo de níquel es un 1,35-1,90 % de níquel.

40 El molibdeno (Mo) es un elemento que se puede omitir según un amplio aspecto de la composición del acero, es decir, el molibdeno es un elemento opcional en el acero de la invención. Sin embargo, el molibdeno, junto con el nitrógeno, tiene un efecto de sinergia favorable en la resistencia a la corrosión. En vista del alto contenido de nitrógeno del acero, el acero debería contener por lo tanto al menos un 0,1 % de molibdeno, preferentemente al menos un 0,15 %. Sin embargo, el molibdeno es un fuerte formador de ferrita, y puede estabilizar la fase sigma en la microestructura del acero, y también tiene una tendencia a la segregación. Además, el molibdeno es un elemento de aleación caro. Por estas razones, el contenido de molibdeno se limita a un máximo de un 1,0 %, preferentemente a un máximo de un 0,8 %, de forma adecuada a un máximo de un 0,65 %. Un contenido óptimo de molibdeno es un 0,15-0,54 %. El molibdeno se puede reemplazar parcialmente por una cantidad doble de tungsteno (W), que tiene unas propiedades similares a las del molibdeno. La cantidad total de molibdeno y tungsteno se calcula según la fórmula $(Mo + 1/2W) \leq 1,0$ %. Sin embargo, en una composición preferente del acero, el acero no contiene más de un máximo de un 0,5 % de tungsteno.

50 El cobre (Cu) es un formador de austenita valioso y puede tener una influencia favorable en la resistencia a la corrosión en algunos ambientes, en especial en algunos medios ácidos. El cobre también mejora el trabajo en frío y la tenacidad de impacto del acero inoxidable según la invención. El acero de la invención contiene un 1,1-1,5 % en peso de cobre.

55 El nitrógeno (N) tiene una importancia fundamental debido a que es el formador de austenita dominante del acero. El nitrógeno también contribuye a la resistencia y a la resistencia a la corrosión del acero y por lo tanto deberá existir en una cantidad mínima de un 0,18 %. Sin embargo, la solubilidad del nitrógeno en el acero es limitada. En el caso de un contenido de nitrógeno demasiado alto, existe el riesgo de la formación de defectos cuando se solidifica el acero, y el riesgo de formación de poros en conexión con la soldadura del acero. Por lo tanto, el acero no debería contener más de un 0,26 % de nitrógeno, un contenido óptimo es un 0,20-0,24 %.

El boro (B) puede existir opcionalmente en el acero como adición de aleación micro hasta un máximo de un 0,005 % (50 ppm) con el fin de mejorar la ductilidad en caliente del acero. Si el boro existe como un elemento añadido de forma intencionada, debería existir en una cantidad de al menos un 0,001 % con el fin de mejorar el efecto deseado por referencia a una ductilidad en caliente mejorada del acero.

5 De una forma similar, el cerio y el calcio pueden existir opcionalmente en el acero en cantidades de un máximo de un 0,03 % de cada uno de dichos elementos con el fin de mejorar la ductilidad en caliente del acero.

Además de los elementos mencionados anteriormente, el acero no contiene esencialmente ningún elemento añadido adicional de forma intencionada, sino solo impurezas y hierro. El fósforo es, como en la mayoría de los aceros una impureza no deseada y preferentemente no debería existir en una cantidad mayor de un máximo de un 0,035 %. El azufre también se debería mantener tan bajo como sea posible desde un punto de vista de fabricación económica, preferentemente en una cantidad de un máximo de un 0,10 %, de forma adecuada menor, por ejemplo un máximo de un 0,002 % con el fin de no perjudicar la ductilidad en caliente del acero y por lo tanto su capacidad de laminado, que puede ser un problema general en conexión con los aceros dobles.

10 Los resultados de ensayo de los aceros inoxidables austeníticos ferríticos de la invención se ilustran con mayor detalle en las siguientes figuras, en las que

la Figura 1 muestra los resultados de ensayo mecánico para los aceros en condiciones según se forjan,

la Figura 2 muestra los resultados de ensayo mecánico para los aceros después de recocido a una temperatura de 1050 °C, y

15 la Figura 3 muestra los resultados de ensayo de impacto para aceros tanto en condiciones según se forjan como después de recocido a una temperatura de 1050 °C.

El efecto del cobre en las propiedades de trabajabilidad en frío se sometió a ensayo usando para cada aleación los materiales fundidos de 30 kg que se reciben de un horno de vacío. Antes del ensayo mecánico, las aleaciones se forjaron hasta un grosor final de 50 mm. Para todos los materiales fundidos se usó el acero inoxidable austenítico ferrítico doble que se comercializa bajo la marca comercial LDX 2101® como el material de base con adiciones variables de cobre. Las composiciones químicas de las aleaciones que se someten a ensayo se describen en la

Tabla 1 Composiciones químicas; * fundido a pequeña escala de 200 g

Aleación	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	N
LDX 2101®	0,021	0,76	4,83	21,34	1,58	0,40	0,240
0,75 % de Cu	0,014	0,59	4,09	21,56	1,62	0,74	0,186
0,85 % de Cu*	0,028	0,83	3,81	21,08	1,50	0,86	0,25
1,0 % de Cu	0,015	0,60	4,14	21,22	1,93	1,01	0,200
1,1 % de Cu*	0,013	0,88	4,42	21,18	1,36	1,12	0,22
1,5 % de Cu	0,015	0,55	4,15	21,33	1,6	1,50	0,188
2,5 % de Cu*	0,028	0,79	4,04	21,17	1,36	2,55	0,19
3,5 % de Cu*	0,012	0,80	3,82	20,87	1,38	3,57	0,21

20 Los ejemplos de un 1,1 % de Cu y un 1,5 % de Cu son parte de la invención. El resto son ejemplos comparativos.

Las investigaciones de la microestructura se llevaron a cabo principalmente para comprobar el contenido de ferrita. Es decir, dado que el cobre es un estabilizador de austenita, se esperó que el contenido de austenita aumentara con las adiciones de cobre. Cuando se mantiene el contenido de ferrita en al menos un 45 % en volumen, el contenido de manganeso, como estabilizador de austenita, se redujo a aproximadamente en el intervalo de un 3-5 % en peso. También se consideró necesario que el cobre se disolviera completamente en la fase de ferrita dado que las partículas de cobre o las fases ricas en cobre pueden ser perjudiciales para la resistencia a la corrosión por picadura.

Las microestructuras de las muestras se revelaron por grabado en solución de Behara II después de recocido a una temperatura de 1050 y/o 1150 °C. El recocido se realizó mediante recocido en solución. La microestructura de la aleación de un 0,85 % de de Cu es esencialmente la misma que la aleación de referencia. Para unos niveles de cobre de un 1,1 % de Cu y superior, el contenido de la fase de ferrita se vuelve sucesivamente más bajo. La fase de austenita secundaria se forma con facilidad con las adiciones de un 2,5 % de Cu y están presentes partículas de cobre en la fase de ferrita cuando se realiza el recocido a una temperatura de 1050 °C, pero se pueden disolver cuando se realiza el recocido a una temperatura de 1150 °C dado que aumenta el contenido de ferrita. La aleación con un 3,5 % de Cu tiene partículas de cobre en la fase de ferrita incluso cuando se realiza el recocido a una temperatura de 1150 °C.

- 5
- 10 Los contenidos de ferrita para las muestras reconocidas a las temperaturas de recocido (T) de 1050 °C y 1150 °C se midieron usando análisis de imágenes, y los resultados se presentan en la Tabla 2:

Tabla 2 Contenidos de ferrita

Aleación	Según se forja (%)	T 1050 °C (%)	T 1150 °C (%)
LDX2101®	62,5	54,1	
0,75 % de Cu	66,2	60,2	
0,85 % de Cu		53,1	
1,0 % de Cu	61,5	55,4	
1,1 % de Cu		44,2	50,0
1,5 % de Cu	62,4	52,7	
2,5 % de Cu		39,0	35,5
3,5 % de Cu		39,3	42,0

Los ejemplos de un 1,1 % de Cu y un 1,5 % de Cu son parte de la invención. El resto son ejemplos comparativos.

- 15 A partir de los resultados de la Tabla 2 se puede observar que hasta un contenido de cobre de un 1,5 %, el contenido de ferrita es bueno, pero para niveles mayores que este, el contenido de ferrita es demasiado bajo incluso cuando se realiza el recocido a la mayor temperatura. Por lo general, con el aumento de la temperatura de recocido el contenido de ferrita aumenta en un 5-7 % en volumen como es el caso para las aleaciones de un 1,1 % de Cu y un 3,5 % de Cu. El contenido de ferrita para el 2,5 % de Cu es el mismo para ambas temperaturas de recocido. Esto
- 20 se debe probablemente a que el cobre está completamente disuelto en la fase de ferrita a la mayor temperatura (1150 °C) dando como resultado la formación de una fase de austenita secundaria que contrarresta el aumento en la fase de ferrita.

- 25 Para las aleaciones de un 0,75 % de Cu, un 1,0 % de Cu y un 1,5 % de Cu, la microestructura se determinó en condiciones según se forjaron, en cuyo caso el contenido de ferrita estuvo entre un 61-66 % para todas esas aleaciones. Después del recocido a la temperatura de 1050 °C hubo una disminución en el contenido de ferrita en aproximadamente un 6-8 % para todas las aleaciones. A partir del análisis de imágenes se observó que la disminución en el contenido de ferrita se debe en mayor medida a la presencia de una fase de austenita secundaria que se vuelve más evidente a medida que se aumentó el contenido de cobre. En la aleación de un 1,5 % de Cu existe una gran cantidad de austenita entre los granos de ferrita.

- 30 Se determinaron las temperaturas críticas de picadura (CPT) para las aleaciones sometidas a recocido a la temperatura de 1050 °C según el ensayo de la norma ASTM G150 con NaCl 1,0 M. Para cada aleación, el ensayo se realizó dos veces (CPT1 y CPT2). Los resultados de estos ensayos se presentan en la Tabla 3:

Tabla 3 Temperaturas críticas de picadura (CPT)

	CPT1 °C	CPT2 °C	CPT Media °C
LDX2101®	11,4	9,7	10,6
1,1 % de Cu	15,7	13,4	14,5
3,5 % de Cu	16,6	18,9	17,7

El ejemplo de un 1,1 % de Cu es parte de la invención. El resto son Ejemplos comparativos.

5 Los resultados en la Tabla 3 muestran que en este entorno se da un efecto positivo del cobre en la CPT. La CPT es en realidad la más alta para la aleación de un 3,5 % a pesar de la presencia de partículas de cobre en la microestructura. De forma sorprendente, esto contradice en cierta medida la hipótesis de que las partículas de cobre son perjudiciales para la resistencia a la picadura.

10 El ensayo de formación en frío como parte para la trabajabilidad en frío se llevó a cabo en muestras en condiciones según se forjaron y sometidas a recocido (1050 °C) con el fin de determinar que el acero inoxidable austenítico ferrítico doble de la invención tiene mejores propiedades cuando se compara con el material de referencia LDX 2101®. Los materiales se mecanizaron en muestras cilíndricas con unas dimensiones de 12 mm x 8 mm por compresión de las muestras a altas tasas de 200-400 mm/s. Las muestras se evaluaron por observación de grietas (componentes fallidos) o la ausencia de grietas (componentes aprobados).

15 En este método de ensayo, el agrietamiento solo se produjo cuando la muestra se comprimió con la compresión máxima hasta un grosor final real de aproximadamente 3 milímetros independientemente de la velocidad y compresión. El agrietamiento fue ligeramente más severo en la compresión a altas velocidades.

Los resultados del ensayo de la formación en frío se presentan en la Tabla 4, donde las muestras están en condiciones según se forjaron excepto cuando se sometieron a recocido a una temperatura de 1050 °C, en cuyo caso se proporciona la columna "Recocido" con el término "Sí":

20

Tabla 4: Resultados del ensayo mecánico

	Recocido (T = 1050 °C)	Grosor final real (mm)	Tasa (mm/s)	Resultado
LDX 2101®	No	2,7	200	Grieta pequeña
LDX 2101®	Sí	2,5	200	Sin grietas
LDX 2101®	No	2,5	200	Grieta grande
LDX 2101®	Sí	2,5	200	Grietas pequeñas
LDX 2101®	No	2,5	300	Grieta
LDX 2101®	Sí	2,5	300	Grietas
LDX 2101®	Sí	2,4	300	Grietas pequeñas
LDX 2101®	No	2,4	400	Grieta
LDX 2101®	Sí	2,5	400	Sin grietas
LDX 2101®	No	2,4	400	Grieta
LDX 2101®	Sí	2,5	400	Grietas grandes
0,75 % de Cu	No	2,4	200	Grieta

ES 2 751 466 T3

	Recocido (T = 1050 °C)	Grosor final real (mm)	Tasa (mm/s)	Resultado
0,75 % de Cu	Sí	2,3	200	Grieta
0,75 % de Cu	No	2,5	200	Grieta
0,75 % de Cu	Sí	2,4	200	Sin grietas
0,75 % de Cu	No	2,5	300	Grieta pequeña
0,75 % de Cu	Sí	2,4	300	Grieta
0,75 % de Cu	No	2,4	300	Grieta grande
0,75 % de Cu	Sí	2,4	300	Grietas grandes
0,75 % de Cu	No	2,6	400	Grieta
0,75 % de Cu	Sí	2,3	400	Grietas grandes
0,75 % de Cu	No	2,6	400	Grieta
0,75 % de Cu	Sí	2,3	400	Grietas grandes
1,0 % de Cu	No	2,7	200	Sin grietas
1,0 % de Cu	Sí	2,7	200	Grietas
1,0 % de Cu	No	2,6	300	Grietas pequeñas
1,0 % de Cu	Sí	2,4	200	Grietas
1,0 % de Cu	No	2,7	300	Grietas pequeñas
1,0 % de Cu	Sí	2,6	300	Sin grietas
1,0 % de Cu	Sí	2,5	300	Grietas pequeñas
1,0 % de Cu	No	2,5	400	Sin grietas
1,0 % de Cu	Sí	2,6	400	Sin grietas
1,0 % de Cu	Sí	2,4	400	Grietas pequeñas
1,5 % de Cu	No	2,4	200	Sin grietas
1,5 % de Cu	No	3,1	200	Sin grietas
1,5 % de Cu	No	2,5	200	Sin grietas
1,5 % de Cu	Sí	3,1	200	Sin grietas
1,5 % de Cu	Sí	2,5	200	Sin grietas
1,5 % de Cu	Sí	2,5	200	Grietas pequeñas
1,5 % de Cu	No	2,5	300	Sin grietas

	Recocido (T = 1050 °C)	Grosor final real (mm)	Tasa (mm/s)	Resultado
1,5 % de Cu	No	2,5	300	Sin grietas
1,5 % de Cu	Sí	2,4	300	Sin grietas
1,5 % de Cu	Sí	2,5	300	Grieta pequeña
1,5 % de Cu	Sí	2,5	300	Sin grietas
1,5 % de Cu	No	2,4	400	Sin grietas
1,5 % de Cu	No	2,4	400	Grietas
1,5 % de Cu	Sí	2,5	400	Grieta
1,5 % de Cu	Sí	2,4	400	Grieta pequeña
1,5 % de Cu	Sí	2,5	400	Sin grietas

Los ejemplos de un 1,1 % de Cu y un 1,5 % de Cu son parte de la invención. El resto son ejemplos comparativos.

Los resultados de la Tabla 4 muestran que, en los ensayos en el material forjado, todas las muestras para LDX 2101® y un 0,75 % de Cu fallaron debido al agrietamiento, mientras que la tasa de éxito aumentó a medida que aumenta el contenido de cobre. Todas las muestras excepto la de un 1,5 % de Cu aprobaron el ensayo en las condiciones según se forjaron. Después de recocido a una temperatura de 1050 °C, las aleaciones con hasta un 1,0 % de Cu muestran resultados similares, aprobando el ensayo aproximadamente un tercio de las muestras. Para la aleación de un 1,5 % de Cu, más de la mitad de los componentes sometidos a ensayo aprobaron el ensayo, lo que indica el efecto positivo del cobre.

Los resultados del ensayo de formación en frío también se muestran en las Figuras 1 y 2 usando los parámetros "fallado" o "aprobado" dependiendo de las cantidades de grietas en la superficie del acero. Las Figuras 1 y 2 muestran que la parte de resultados de ensayo "aprobados" aumentó con la adición de cobre tanto en unas condiciones según se forjaron como después de recocido a una temperatura de 1050 °C.

Los aceros inoxidables austeníticos ferríticos de la invención se sometieron a ensayo además por medición de la resistencia al impacto de los aceros con el fin de obtener información de la tenacidad de impacto de los aceros. Las mediciones se realizaron tanto en condiciones según se forjaron como después de recocido a una temperatura de 1050 °C. En la Tabla 5, las muestras están en condiciones según se forjaron excepto cuando se sometieron a recocido a una temperatura de 1050 °C, en cuyo caso la columna "Recocido" se proporciona con el término "Sí". Tanto la Tabla 5 como la Figura 3 muestran los resultados de las mediciones para la resistencia al impacto.

Tabla 5: Resultados de ensayo de impacto

	Recocido (T = 1050 °C)	Resistencia al impacto J
LDX 2101®	No	14,5
LDX 2101®	Sí	20,5
0,75 % de Cu	No	10,5
0,75 % de Cu	Sí	14,5
1,0 % de Cu	No	17,0
1,0 % de Cu	Sí	27,5

	Recocido (T = 1050 °C)	Resistencia al impacto J
1,5 % de Cu	No	28,5
1,5 % de Cu	Sí	36,0

El ejemplo de un 1,5 % de Cu es parte de la invención. El resto son Ejemplos comparativos.

5 Los resultados de la Tabla 5 y de la Figura 3 muestran que la adición de cobre aumenta de forma significativa la tenacidad de impacto cuando el contenido de cobre es mayor de un 0,75 % en peso. Como se ha mencionado anteriormente, un aumento en el cobre causa un aumento en la austenita secundaria, lo que puede reducir/impedir la propagación de grietas a través de la ferrita.

10 El acero austenítico ferrítico doble fabricado según la invención se puede producir en forma de piezas de fundición, lingotes, planchas, lupias, palanquillas y productos planos tales como placas, láminas, tiras, bobinas y productos alargados tales como barras, varillas, alambres, perfiles y moldes, tubos y/o tuberías sin uniones y soldados. Además, se pueden producir productos adicionales tales como polvo metálico, moldes conformados y perfiles.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Acero inoxidable austenítico ferrítico doble que tiene un 40-60 % en volumen de ferrita y un 40-60 % en volumen de austenita, en condiciones de recocido, y que tiene una capacidad para el trabajo en frío y una tenacidad de impacto mejorada, caracterizado por que el acero, tiene una resistencia al impacto de al menos 27,5 J, consiste en, en % en peso, menos de un 0,04 % de carbono (C), un 0,1-2,0 % de silicio (Si), un 3,8-5 % de manganeso (Mn), un 21-22 % de cromo (Cr), un 1,35-1,9 % de níquel (Ni), un 1,1-1,5 % de cobre (Cu), un 0,18-0,26 % de nitrógeno (N), opcionalmente molibdeno (Mo) y/o tungsteno (W) en una cantidad total calculada con la fórmula $(Mo + 1/2W) \leq 1,0$ %, opcionalmente un 0,001-0,005 % de boro (B), opcionalmente hasta un 0,03 % de cada uno de cerio (Ce) y/o calcio (Ca), siendo el resto hierro (Fe) e impurezas inevitables tales como Ti, Nb, Co y para los formadores de ferrita y los formadores de austenita, es decir para el equivalente de cromo (Cr_{eq}) y el equivalente de níquel (Ni_{eq}): $20 < Cr_{eq} < 24,5$ y $Ni_{eq} > 10$, donde $Cr_{eq} = Cr + 1,5Si + Mo + 2Ti + 0,5Nb$, $Ni_{eq} = Ni + 0,5Mn + 30(C + N) + 0,5(Cu + Co)$ y las aleaciones están recocidas según el ensayo de ASTM G150 con NaCl 1,0 M y la temperatura crítica de picadura (CPT) es 13-19 °C.
- 15 2. Acero inoxidable austenítico ferrítico doble según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que las aleaciones están recocidas según el ensayo de ASTM G150 con NaCl 1,0 M y la temperatura crítica de picadura (CPT) es 13,4-18,9 °C.
3. Acero inoxidable austenítico ferrítico doble según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que las aleaciones están recocidas según el ensayo de ASTM G150 con NaCl 1,0 M y la temperatura crítica de picadura (CPT) es 14,5-17,7 °C.
- 20 4. Acero inoxidable austenítico ferrítico doble según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el acero contiene un 21,2-21,8 % en peso de cromo.
5. Acero inoxidable austenítico ferrítico doble según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el acero contiene un 3,8-4,5 % en peso de manganeso.
- 25 6. Acero inoxidable austenítico ferrítico doble según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el acero contiene un 0,20-0,24 % en peso de nitrógeno.
7. Acero inoxidable austenítico ferrítico doble según la reivindicación 1, caracterizado por que el acero se produce en forma de lingotes, planchas, lupias, palanquillas, placas, láminas, tiras, bobinas, barras, varillas, alambres, perfiles y moldes, tubos y/o tuberías sin uniones y soldados, polvo metálico, moldes conformados y perfiles.

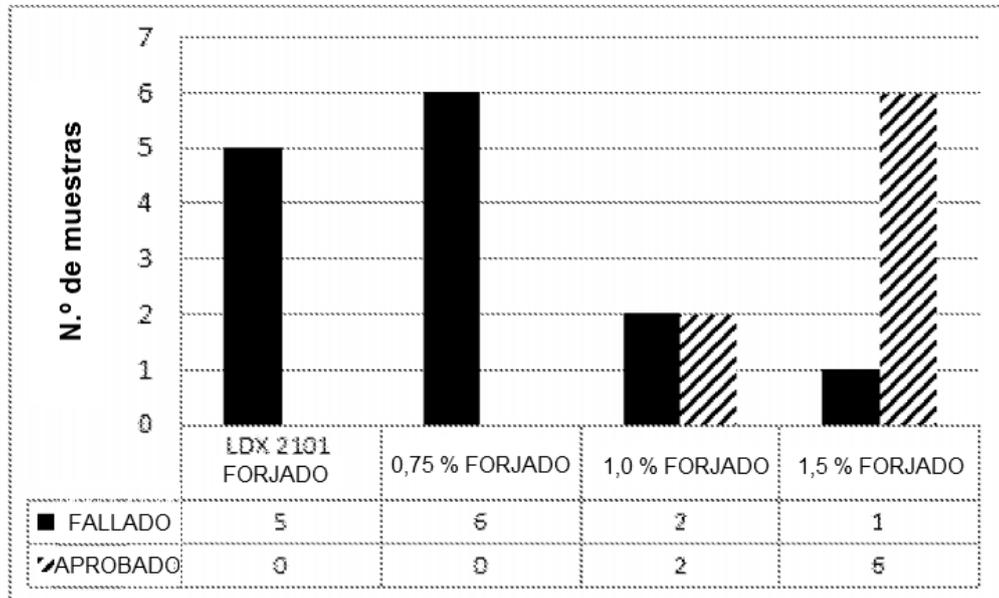


FIG. 1

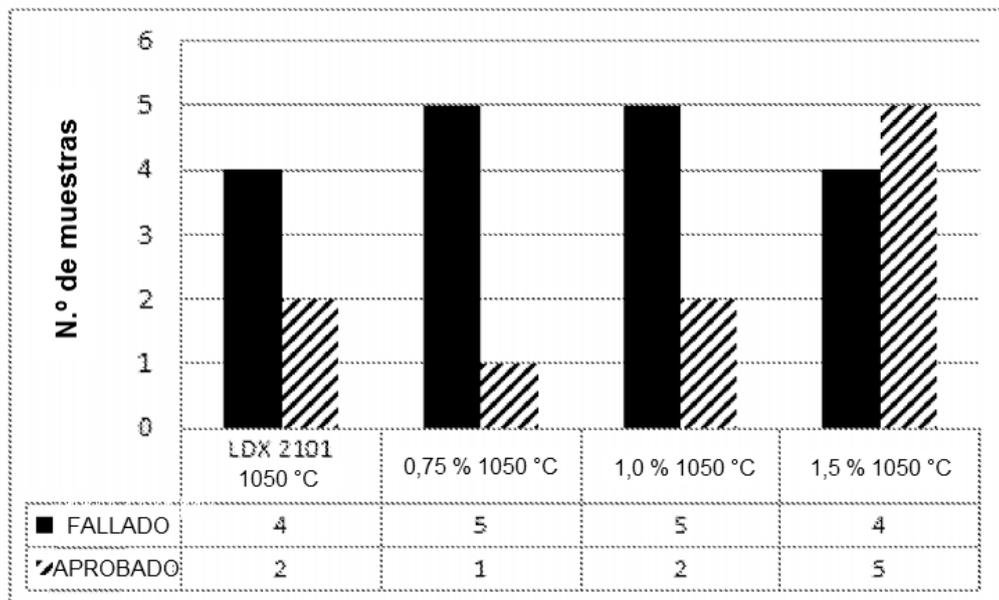


FIG. 2

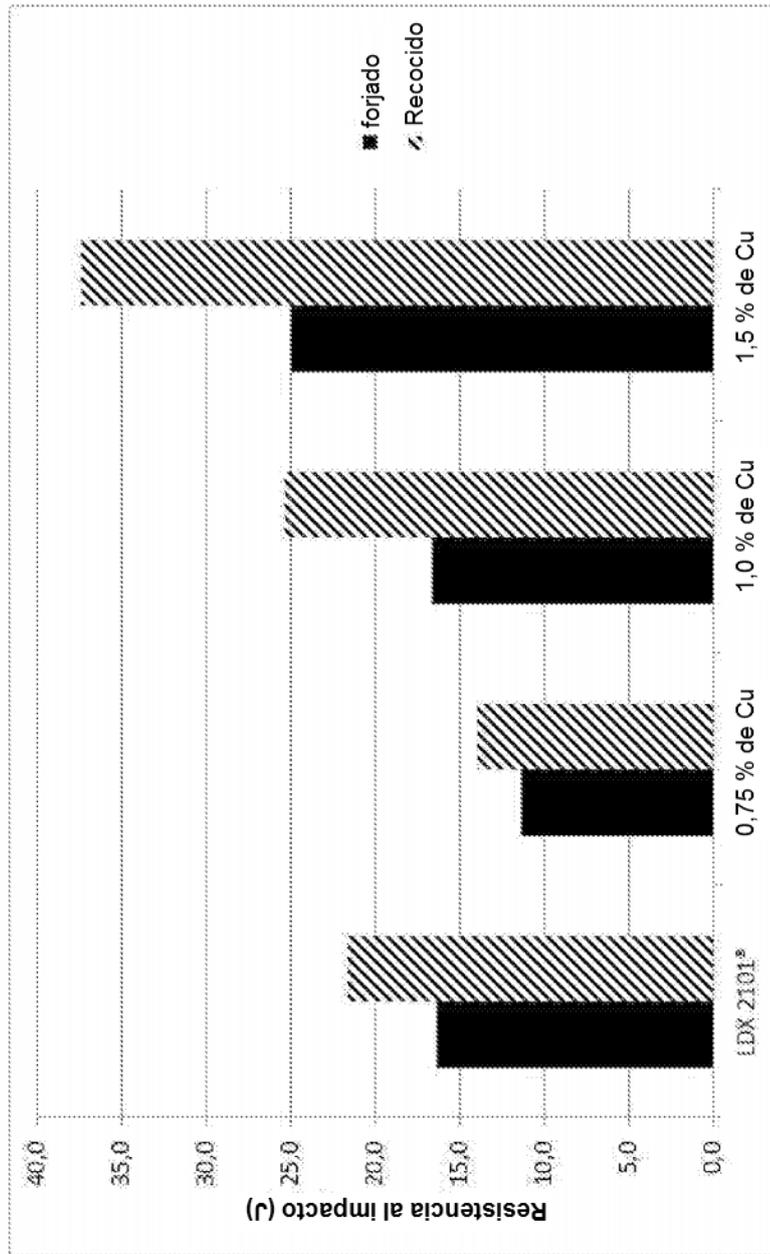


FIG. 3