

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 627 269**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/50</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/24</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/48</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/46</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/26</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/44</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/28</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/42</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)		
<b>C21D 8/02</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/06</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/20</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.11.2013 PCT/FI2013/051085**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **30.05.2014 WO14080078**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.11.2013 E 13857201 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2017 EP 2922978**

54 Título: **Acero inoxidable ferrítico**

30 Prioridad:

**20.11.2012 FI 20126212**

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

**27.07.2017**

73 Titular/es:

**OUTOKUMPU, OYJ (100.0%)  
Riihitontuntie 7  
02200 Espoo, FI**

72 Inventor/es:

**KELA, JUHA;  
KOSKINIEMI, JONI y  
LEVONMAA, RAIMO**

74 Agente/Representante:

**GARCÍA-CABRERIZO Y DEL SANTO, Pedro**

ES 2 627 269 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).

## DESCRIPCION

Acero inoxidable ferrítico

- 5
- Esta invención se refiere un acero inoxidable ferrítico estabilizado que tiene una buena resistencia a la corrosión y buenas propiedades para la formación de láminas.
- 10 El punto más crítico en el desarrollo del acero inoxidable ferrítico es cómo tratar los elementos de carbono y nitrógeno. Estos elementos tienen que estar unidos a carburos, nitruros, o carbonitruros. Los elementos usados en este tipo de unión se denominan elementos estabilizadores. Los elementos estabilizadores comunes son niobio y titanio. Los requisitos para la estabilización del carbono y del nitrógeno pueden disminuir para los aceros inoxidables ferríticos en donde, por ejemplo, el contenido de carbono es muy bajo, inferior al 0,01% en peso. Sin embargo, este
- 15 bajo contenido de carbono supone nuevos requerimientos para el proceso de fabricación. La tecnología de producción común AOD (Argon-Oxygen-Decarburization, Descarburación por Oxígeno y Argón) ya no resulta práctica para el acero inoxidable y, por lo tanto, se deben usar métodos de producción más costosos, tales como la tecnología de producción VOD (Vacuum-Oxygen-Decarburization, Descarburación por oxígeno en vacío).
- 20 La patente EP 936280 describe un acero inoxidable ferrítico estabilizado con titanio y niobio que tiene una composición en % en peso de menos de 0,025% de carbono, 0,2-0,7% de silicio, 0,1-1,0% de manganeso, 17-21% de cromo, 0,07- 0,4% de níquel, 1,0-1,25% de molibdeno, menos de 0,025% de nitrógeno, 0,1-0,2% de titanio, 0,2 - 0,35% de niobio, 0,045 - 0,060% de boro, 0,02 - 0,04% (REM+hafnio), siendo el resto hierro e impurezas inevitables. De acuerdo con esta patente EP 936280 el cobre y el molibdeno tienen un efecto beneficioso sobre la resistencia a la
- 25 corrosión general y localizada y los metales de tierras raras (REM) globulizan los sulfuros, mejorando así la ductilidad y capacidad de conformado. Sin embargo, el molibdeno y los REM son elementos caros que hacen costosa la fabricación del acero.
- La patente EP 1818422 describe un acero inoxidable ferrítico estabilizado con niobio que tiene, entre otros, menos de
- 30 0,03% en peso de carbono, 18-22% en peso de cromo, menos de 0,03% en peso de nitrógeno y 0,2 -1,0% en peso de niobio. De acuerdo con esta patente EP, la estabilización del carbono y del nitrógeno se lleva a cabo usando sólo niobio.
- La patente US 7056398 describe un acero inoxidable ferrítico basado en carbono ultra bajo que incluye, en % peso, menos de 0,01% de carbono, menos de 1,0% de silicio, menos de 1,5% de manganeso, 11 -23% de cromo, menos de
- 35 1,0% de aluminio, menos de 0,04% de nitrógeno, 0,0005 - 0,01% de boro, menos de 0,3% de vanadio, menos de 0,8% de niobio, menos de 1,0% de titanio, en donde  $18 < Nb / (C+N) + 2(Ti / (C+N)) < 60$ . Durante el proceso de elaboración del acero, el carbono se elimina tanto como sea posible y el carbono en solución-sólido es fijado como carburos por el titanio y el niobio. En el acero de la patente US 7056398 se sustituye una parte del titanio por vanadio y se añade vanadio en combinación con boro para mejorar la dureza. Además, el boro forma nitruro de boro (BN) que evita la precipitación
- 40 del nitruro de titanio perjudicando la dureza del acero. El acero de esta patente US 7056398 se concentra en mejorar la resistencia a la fractura a costa de la resistencia a la corrosión y recomienda usar un recubrimiento protector.
- La solicitud de patente EP 2163658 describe un acero inoxidable ferrítico con resistencia a la corrosión de sulfato que contiene menos de 0,02% de carbono, 0,05-0,8% de silicio, menos de 0,5% de manganeso, 20 - 24% de cromo,
- 45 menos de 0,5% de níquel, 0,3 - 0,8% de cobre, menos de 0,02% de nitrógeno, 0,20-0,55% de niobio, menos de 0,1% de aluminio y siendo el resto hierro e impurezas inevitables. En este acero inoxidable ferrítico se utiliza sólo niobio en la estabilización del carbono y del nitrógeno.
- La solicitud de patente EP 2182085 relaciona un acero inoxidable ferrítico que tiene una superior capacidad de
- 50 trabajo en el troquelado sin generar rebabas. El acero contiene, en % peso, 0,003-0,012% de carbono, menos de 0,13% de silicio, menos de 0,25% de manganeso, 20,5-23,5% de cromo, menos de 0,5% de níquel, 0,3-0,6% de cobre, 0,003-0,012% de nitrógeno, 0,3-0,5% de niobio, 0,05-0,15% de titanio, menos de 0,06% de aluminio, siendo el resto hierro e impurezas inevitables. Además, la relación de Nb/Ti contenida en un carbonitruro complejo de NbTi presente en los límites del grano del cristal de ferrita está en el intervalo de 1 a 10. Adicionalmente, el acero
- 55 inoxidable ferrítico de esta solicitud de patente EP 2182085 comprende menos de 0,001% de boro, menos de 0,1% de molibdeno, menos de 0,05% de vanadio y menos de 0,01% de calcio. También se dice que cuando el contenido de carbono es superior a 0,012%, la generación de carburo de cromo no puede ser suprimida y la resistencia a la corrosión se degrada, y que cuando se añade más del 0,05% de vanadio el acero se endurece y, como resultado, se perjudica la capacidad de trabajo.
- 60 Un acero inoxidable ferrítico con una buena resistencia a la corrosión también se describe en la solicitud de patente US 2009056838 con una composición que contiene menos de 0,03% de carbono, menos de 1,0% de silicio, menos de 0,5% de manganeso, 20,5 - 22,5% de cromo, menos de 1,0% de níquel, 0,3-0,8% de cobre, menos de 0,03% de nitrógeno, menos de 0,1% de aluminio, menos de 0,01% de niobio,  $(4x(C+N) \% < \text{titanio} < 0,35\%)$ , (C+N) menos de
- 65 0,05% y siendo el resto hierro e impurezas inevitables. De acuerdo con esta solicitud de patente US 2009056838 no se utiliza niobio, debido a que el niobio aumenta la temperatura de recristalización, causando un recocido insuficiente en la línea de recocido a alta velocidad de una lámina laminada en frío. Por el contrario, el titanio es un

elemento esencial que se añade para aumentar el potencial de picaduras y, por lo tanto, mejorar la resistencia a la corrosión. El vanadio tiene un efecto de prevenir la aparición de corrosión intergranular en el área de soldadura. Por tanto, el vanadio se añade opcionalmente en el intervalo de 0,01 - 0,5%.

5 La publicación WO 2010016014 describe un acero inoxidable ferrítico que tiene una resistencia excelente a la fragilización por hidrogeno y al agrietamiento por corrosión bajo tensión. El acero contiene menos de 0,015% de carbono, menos de 1,0% de silicio, menos de 1,0% de manganeso, 20 - 25% de cromo, menos de 0,5% de níquel, menos de 0,5% de molibdeno, menos de 0,5% de cobre, menos de 0,015% de nitrógeno, menos de 0,05% de aluminio, menos de 0,25% de niobio, menos de 0,25% de titanio, y mucho menos de 0,20% del caro elemento, tantalio, siendo el resto hierro e impurezas inevitables. La adición de altos contenidos de niobio y/o tantalio provoca el endurecimiento de la estructura cristalina y, de este modo, la suma (Ti+Nb+Ta) se ubica en el rango 0,2-0,5%. Además, para evitar la fragilización por hidrogeno la relación  $(Nb+1/2Ta)/Ti$  es necesario que esté en el rango de 1-2.

10 La publicación WO 2012046879 se refiere a un acero inoxidable ferrítico que se utiliza para un separador de una celda de combustible de membrana de intercambio de protones. Se forma una película de pasivación sobre la superficie del acero inoxidable por inmersión del acero inoxidable en una solución que contiene principalmente ácido fluorhídrico o una mezcla líquida de ácido fluorhídrico y ácido nítrico. El acero inoxidable ferrítico contiene carbono, silicio, manganeso, aluminio, nitrógeno, cromo y molibdeno además del hierro como elementos de aleación necesarios. Todos los demás elementos de aleación descritos en la referencia WO 2012046879 son opcionales. Tal como se describe en los ejemplos de esta publicación WO, el acero inoxidable ferrítico que tiene un bajo contenido de carbono se produce por medio de fundición al vacío, que es un método de fabricación muy costoso.

15 El documento JP2010100877 describe una lámina de acero laminado en caliente a partir de acero inoxidable del tipo de ferrita que tiene excelente dureza, soldabilidad, capacidad de trabajo de la parte de soldadura y resistencia a la corrosión producida por el procedimiento de desgasificación al vacío (método RH), VOD (Vacuum Oxygen Decarburization, Descarburación por oxígeno en vacío) o AOD (Argon Oxygen Decarburization, Descarburación por Oxígeno y Argón).

20 El objeto de la presente invención es eliminar algunas desventajas de las técnicas anteriores y conseguir un acero inoxidable ferrítico que tenga una buena resistencia a la corrosión y buenas propiedades para formación de láminas, acero que es estabilizado con niobio, titanio y vanadio y que se produce usando tecnología AOD (Argon Oxygen Decarburization, Descarburación por Oxígeno y Argón). Las características esenciales de la presente invención se incluyen en las reivindicaciones adjuntas.

35 La composición química del acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la invención consiste, en % en peso, de 0,003-0,035% de carbono (C), 0,05-1,0% de silicio (Si), 0,1 - 0,8% de manganeso (Mn), 20-21,5% de cromo (Cr), 0,05 - 0,8% de níquel (Ni), 0,003-0,5% de molibdeno (Mo), 0,2-0,8% de cobre (Cu), 0,003 - 0,05% de nitrógeno (N), 0,05-0,15% de titanio (Ti), 0,25-0,8% de niobio (Nb), 0,03-0,5% de vanadio (V), 0,010-0,04% de aluminio, siendo el resto hierro e impurezas evitables que se dan en los aceros inoxidables, en condiciones tales que la suma de (C+N) es menor a 0,06% y la proporción  $(Ti+Nb)/(C+N)$  es mayor o igual a 8, y menor a 40, al menos menor a 25 y la proporción  $(Ti+0,515*N+0,940*V)/(C+0,858*N)$  es mayor o igual a 6, y menor a 40, al menos menor a 20. El acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la invención es producido ventajosamente usando la tecnología AOD (Argon Oxygen Decarburization, Descarburación por Oxígeno y Argón)

40 Los efectos y el contenido, en % en peso, si otra cosa no se menciona, de cada elemento de la aleación se tratan como sigue:

45 El carbono (C) disminuye el alargamiento y el valor-r y, preferiblemente, el carbono se elimina tanto como sea posible durante el proceso de fabricación del acero. El carbono en solución- sólido es fijado como carburos por el titanio, niobio y vanadio tal como se describe a continuación. El contenido de carbono se limita a 0,035%, preferiblemente a 0,03%, pero teniendo al menos un 0,003% de carbono.

50 El silicio (Si) se utiliza para reducir el cromo de la escoria que regresa a fundición. Algunos remanentes de silicio en el acero son necesarios para asegurar que la reducción se hace bien. Por lo tanto, el contenido de silicio es inferior al 1,0%, pero al menos 0.05%, preferiblemente 0,05-0,7%.

55 El manganeso (Mn) degrada la resistencia a la corrosión del acero inoxidable ferrítico mediante la formación de sulfuros de manganeso. Con un bajo contenido de azufre (S) el contenido de manganeso es inferior al 0,8%, preferiblemente inferior al 0,65%, pero al menos del 0,10%. El intervalo más preferible es 0,10-0,65% de manganeso.

60 El cromo (Cr) mejora la resistencia a la oxidación y la resistencia a la corrosión. Con el fin de lograr una resistencia a la corrosión comparable a la del acero grado EN 1.4301, el contenido de cromo debe ser 20 - 24%, preferiblemente 20 -21,5%.

65 El níquel (Ni) es un elemento que contribuye favorablemente a la mejora de la dureza, pero el níquel tiene sensibilidad a la corrosión por tensión (SCC). Con el fin de considerar estos efectos el contenido de níquel es inferior al 0,8%, preferiblemente inferior al 0,5%, siempre que el contenido de níquel sea al menos del 0,05%.

## ES 2 627 269 T3

El molibdeno (Mo) mejora la resistencia a la corrosión pero reduce el alargamiento a la fractura. El contenido de molibdeno es inferior al 0,05%, preferiblemente inferior al 0,2%, pero al menos del 0,003 %.

5 El cobre (Cu) mejora la resistencia a la corrosión en soluciones ácidas, pero un contenido de cobre alto puede ser dañino. Por lo tanto, el contenido de cobre es inferior al 0,8%, preferiblemente inferior al 0,5%, pero al menos del 0,2%.

El nitrógeno (N) reduce el alargamiento a la fractura. El contenido de nitrógeno es inferior al 0,05%, preferiblemente inferior al 0,03%, pero al menos del 0,003%.

10 El aluminio (Al) se utiliza para eliminar el oxígeno de la masa fundida. El contenido de aluminio es inferior al 0,04 %.

El titanio (Ti) es muy útil debido a que forma nitruros de titanio con nitrógeno a temperaturas muy elevadas. Los nitruros de titanio previenen el crecimiento del grano durante el recocido y la soldadura. El contenido de titanio está entre 0,05-0,15%.

15 El niobio (Nb) se utiliza en cierto grado para unir carbono a carburos de niobio. Con el niobio se puede controlar la temperatura de recristalización. El niobio es el elemento más caro de los elementos de estabilización elegidos: titanio, vanadio y niobio. El contenido de niobio es inferior al 0,8%, pero al menos del 0,25%. El vanadio (V) forma carburos y nitruros a temperaturas más bajas. Estas precipitaciones son pequeñas y la mayor parte de ellas es generalmente dentro de los granos. La cantidad de vanadio necesaria para la estabilización del carbono es sólo aproximadamente la mitad de la cantidad de niobio necesaria para la misma estabilización de carbono. Esto se debe a que el peso atómico del vanadio es sólo aproximadamente la mitad del peso atómico del niobio. Debido a que el vanadio es más barato que el niobio, entonces el vanadio es una opción económica. El vanadio también mejora la dureza del acero. El contenido de vanadio es inferior al 0,5% pero al menos 0,03%, preferiblemente 0,03-0,20%.

25 Utilizando la totalidad de estos tres elementos de estabilización, titanio, niobio y vanadio en el acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la invención, es posible conseguir un entramado atómico, que está prácticamente libre intersticialmente. Esto significa que esencialmente todos los átomos de carbono y nitrógeno están unidos con elementos de estabilización.

30 Se prepararon varias aleaciones de acero inoxidable para ensayar el acero inoxidable ferrítico de la invención. Durante la preparación, todas las aleaciones fueron fundidas, coladas y laminadas en caliente. La placa laminada en caliente fue recocida adicionalmente y decapada antes de laminado en frío. Posteriormente, la lámina laminada en frío con el grosor final fue recocida nuevamente y decapada. La Tabla 1 contiene además las composiciones químicas de los materiales de referencia EN 1.4301 y 1.4404.

35

Aleación	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	Nb	Cu	V	Al	N
A	0,014	0,31	0,34	0,006	0,004	21,0	0,21	<0,01	0,26	0,22	0,41	0,01	0,010	0,019
B	0,021	0,46	0,29	0,005	0,003	20,9	0,20	<0,01	0,21	0,23	0,41	0,01	0,011	0,023
C	0,022	0,46	0,51	0,006	0,004	21,1	0,20	<0,01	0,32	0,12	0,42	0,01	0,016	0,019
D	0,021	0,47	0,31	0,006	0,003	20,9	0,20	<0,01	0,11	0,34	0,42	0,01	0,010	0,024
E	0,035	0,48	0,31	0,005	0,004	21,0	0,20	<0,01	0,20	<0,01	0,42	0,13	0,010	0,023
F	0,021	0,45	0,31	0,005	0,003	21,0	0,20	<0,01	0,16	<0,01	0,42	0,12	0,011	0,024
G	0,024	0,48	0,52	0,006	0,004	21,0	0,20	<0,01	0,02	0,11	0,41	0,15	0,040	0,024
H	0,019	0,60	0,35	0,040	0,003	20,8	0,21	0,02	0,15	0,25	0,33	0,07	0,012	0,024
I	0,021	0,41	0,38	0,005	0,004	20,9	0,20	<0,01	0,08	0,41	0,40	0,08	0,050	0,017
J	0,022	0,43	0,40	0,006	0,003	21,1	0,80	<0,01	0,07	0,38	0,42	0,21	0,046	0,021
K	0,023	0,44	0,32	0,006	0,003	21,0	0,20	<0,01	0,09	0,25	0,42	0,31	0,019	0,020
L	0,019	0,45	0,38	0,032	-	20,8	0,23	0,02	0,12	0,25	0,38	0,07	0,010	0,023
EN 1.4301	0,04	0,4	1,4	0,03	0,001	18,2	8,1	0,2	0,01	0	0,4	0	0,002	0,04
EN 1.4404	0,02	0,5	1,7	0,03	0,001	17,0	10,1	2,0	0,01	0	0,4	0	0,002	0,04

Tabla 1: Composiciones químicas

Los Ejemplos A-G son ejemplos comparativos.

40

5 A partir de la Tabla 1 se puede ver que las aleaciones A, B, C y D están doblemente estabilizadas con titanio y niobio. Las aleaciones A y B tienen esencialmente la misma cantidad de titanio y niobio. La aleación C tiene más titanio que niobio, mientras que la aleación D tiene más niobio que titanio. Las aleaciones E, F, G y H contienen también vanadio además de titanio y niobio, las aleaciones E y F tienen sólo una pequeña cantidad de niobio y la aleación G tiene sólo un pequeño contenido de titanio. Las aleaciones triplemente estabilizadas con titanio, niobio y vanadio de acuerdo con la invención son las aleaciones H-L.

10 Debido a que la resistencia a la corrosión es la propiedad más importante del acero inoxidable, el potencial de corrosión por picadura de todas las aleaciones enumeradas en la Tabla 1 se determinó potenciodinámicamente. Las aleaciones fueron trituradas en húmedo con malla 320 y se dejaron repasivar en aire a temperatura ambiente durante al menos 24 horas. Las mediciones del potencial de picadura se realizaron en solución acuosa de NaCl al 1,2% en peso (0,7% en peso de Cl<sup>-</sup>, 0,2 M NaCl) aireada al natural y a temperatura ambiente de aproximadamente 22 °C. Las curvas de polarización fueron registradas a 20 mV/min utilizando celdas puerto de flujo libres de hendiduras (Celdas Avesta como se describe en ASTM G150) con un área electroquímicamente activa de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup>. Las láminas de platino sirvieron como contraelectrodos. Se usaron electrodos KCl de calomelano saturado (SCE) como electrodos de referencia. Se calculó el valor medio de seis mediciones de potencial de penetración de picadura para cada aleación y se muestra en la Tabla 2.

20 Con el fin de verificar que la estabilización contra la corrosión intergranular resultó exitosa, las aleaciones fueron sometidas a un ensayo Strauss de acuerdo con la norma EN ISO 3651-2:1998-08: Determinación de resistencia a la corrosión intergranular de los aceros inoxidables-Parte 2: aceros inoxidables ferríticos, austeníticos y ferríticos-austeníticos (dúplex) Ensayo de corrosión en medios que contienen ácido sulfúrico. Los resultados de estas pruebas se presentan en la Tabla 2.

25 La Tabla 2 contiene también los resultados respectivos para los materiales de referencia EN 1.4301 y 1.4404

Tabla 2 Potencial de picadura y sensibilización

Aleación	Potencial de Corrosión, mV	Sensibilización
A	480	No
B	476	No
C	487	No
D	459	No
E	576	No
F	620	No
G	223	Sí
H	645	No
I	524	No
J	566	No
K	567	No
L	672	No
Ref. EN 1.4301	451	No
Ref. EN 1.4404	550	No

30 Los resultados para el potencial de corrosión en la Tabla 2 muestran que el acero inoxidable ferrítico de la invención tiene una mejor resistencia a la corrosión por picadura que los aceros de referencia EN 1.4301 y EN 1.4404. Además, no hay sensibilización para las aleaciones de acuerdo con la invención. La aleación G está fuera de esta invención, debido a que la aleación G no satisface los requisitos de corrosión de esta invención. La aleación G está subestabilizada.

40 La resistencia a la fluencia  $R_{p0,2}$ , la resistencia a la tracción  $R_m$  así como el alargamiento a la fractura ( $A_{50}$ ) se determinaron para el acero inoxidable ferrítico de la invención en los ensayos mecánicos para las aleaciones de la Tabla 1. Los resultados se presentan en la Tabla 3:

Tabla 3 Resultados para pruebas mecánicas

Aleación	Rp0,2 N/mm <sup>2</sup>	Rm N/mm <sup>2</sup>	Alargamiento (A <sub>50</sub> ) %
A	352	490	27
B	313	475	28
C	319	473	30
D	316	485	28
E	358	488	28
F	365	481	30
H	350	515	31
I	334	498	28
J	361	509	26
K	324	492	29
L	332	485	32
Ref. EN 1.4301	240	540	>45

5 Los resultados de la Tabla 3 muestran que las aleaciones H-L que presentan la estabilización con niobio, titanio y vanadio de acuerdo con la invención aportan mejores valores dentro de las aleaciones analizadas en relación con las propiedades mecánicas evaluadas que las aleaciones A-F, las cuales no están de acuerdo con la invención. Esto se muestra, por ejemplo, cuando la resistencia a la tracción se combina con el alargamiento a la fractura. Además, los resultados del ensayo de la Tabla 3 muestran que la resistencia a la tracción y el alargamiento a la fractura del material de referencia EN 1.4301 es mayor que los valores representativos para el acero inoxidable ferrítico. La razón se basa en el diferente tipo de entramado atómico. El entramado atómico del acero de referencia se llama entramado cúbico centrado de cara (FCC) y el entramado inoxidable ferrítico se llama entramado cúbico centrado de cuerpo (BCC). El entramado FCC tiene "siempre" un mejor alargamiento que el entramado BCC.

15 El acero inoxidable ferrítico de acuerdo con la invención también fue evaluado para la determinación de valores en relación con las propiedades de formación de lámina, que son muy importantes en muchas aplicaciones de láminas finas. Para estas propiedades de formación de lámina se realizó una prueba de simulación de formación de lámina para un alargamiento uniforme (Ag) y un valor-r. El alargamiento uniforme se correlaciona con las capacidades de estiramiento de la lámina, y el valor-r se correlaciona con las capacidades de embutición profunda. El alargamiento uniforme y los valores r fueron medidos con la prueba de tracción. Los resultados de las pruebas se presentan en la Tabla 4:

Tabla 4 Propiedades de formación de lámina

Aleación	Alargamiento uniforme (A <sub>g</sub> ) %	Valor r
A	18,9	1,82
B	19,0	1,75
C	18,5	1,75
D	18,6	2,05
E	18,4	2,09
F	18,6	1,91
H	19,1	2,44
I	18,8	1,82
J	17,0	1,81
K	18,0	1,89
L	19,1	2,55
Ref. EN 1.4301	>40	1,1

25 Los resultados de la Tabla 4 muestran que las aleaciones H y L tienen un alargamiento uniforme más grande y el valor-r más elevado, cuando estas aleaciones son comparadas con las otras aleaciones del ensayo. Aunque el material de referencia EN 1.4301 tiene un alargamiento uniforme mejor que las aleaciones evaluadas, EN 1.4301 tiene un valor r mucho más débil que todas las aleaciones evaluadas.

5 Cuando se usa niobio, titanio y vanadio en la estabilización de los elementos intersticiales carbono y nitrógeno en el acero inoxidable ferrítico de la invención, los compuestos que se generan durante la estabilización son tales como carburo de titanio (TiC), nitruro de titanio (TiN), carburo de niobio (NbC), nitruro de niobio (NbN), carburo de vanadio (VC) y nitruro de vanadio (VN). En esta estabilización se utiliza una fórmula simple para evaluar la cantidad y el efecto de la estabilización, así como el papel de los diferentes elementos de estabilización.

La conexión entre los elementos de estabilización titanio, niobio y vanadio se define por una fórmula (1) para un equivalente de estabilización ( $Ti_{eq}$ ) en donde el contenido de cada elemento es, en % en peso:

10 
$$Ti_{eq} = Ti + 0,515 \cdot Nb + 0,940 \cdot V \quad (1)$$

Respectivamente, la conexión entre los elementos intersticiales carbono y nitrógeno se define por una fórmula (2) para un equivalente intersticial ( $C_{eq}$ ) en donde los contenidos de carbono y nitrógeno son, en % en peso:

15 
$$C_{eq} = C + 0,858 \cdot N \quad (2)$$

20 La relación  $Ti_{eq}/C_{eq}$  es usada como un factor para determinar la disposición para la sensibilización, y la relación  $Ti_{eq}/C_{eq}$  es mayor o igual a 6 y la relación  $(Ti+Nb)/(C+N)$  mayor o igual a 8 para el acero inoxidable ferrítico de la invención con el fin de evitar la sensibilización.

25 Los valores para la relación  $Ti_{eq}/C_{eq}$  para las aleaciones A a H así como para la relación  $(Ti+Nb)/(C+N)$  se calculan en la Tabla 5.

Tabla 5 Valores para  $Ti_{eq}/C_{eq}$  y  $(Ti+Nb)/(C+N)$

Aleación	$Ti_{eq}/C_{eq}$	$(Ti+Nb)/(C+N)$
A	12,8	14,5
B	8,4	10,0
C	10,3	10,7
D	7,0	10,0
E	6,0	3,6
F	6,8	3,8
G	4,9	2,7
H	8,8	9,3
I	10,3	12,9
J	11,5	10,4
K	12,6	8,0
L	8,1	8,7

30 Los valores de la Tabla 5 muestran que las aleaciones H-L, estabilizadas triplemente con niobio, titanio y vanadio de acuerdo con la invención, presentan valores favorables para ambas relaciones  $Ti_{eq}/C_{eq}$  y  $(Ti+Nb)/(C+N)$ . En cambio, por ejemplo, la aleación G, que fue sensibilizada de acuerdo con la Tabla 2, presenta valores no favorables para ambas relaciones  $Ti_{eq}/C_{eq}$  y  $(Ti+Nb)/(C+N)$ .

35

## REIVINDICACIONES

- 5
1. Acero inoxidable ferrítico que tiene excelentes propiedades de formación de lámina y corrosión, **caracterizado porque** el acero consiste, en porcentaje en peso, en 0,003-0,035% de carbono, 0,05-1,0% de silicio, 0,1-0,8% de manganeso, 20-21,5% de cromo, 0,05%-0,8% de níquel, 0,003-0,5% de molibdeno, 0,2-0,8% de cobre, 0,003-0,05% de nitrógeno, 0,05-0,15% de titanio, 0,25-0,8% de niobio, 0,03-0,5% de vanadio, 0,010-0,04% de aluminio, y la suma de C + N es menor a 0,06%, siendo el resto hierro e impurezas inevitables, en donde la relación  $(Ti+Nb)/(C+N)$  es mayor o igual a 8, y menor a 40, y la relación  $Ti_{eq}/C_{eq} = (Ti + 0,515*Nb + 0,940*V)/(C+0,858*N)$  es mayor que o igual a 6, y menor a 40, y el acero se produce utilizando la tecnología AOD (Descarburación por Oxígeno y Argón).
- 10
- 15
2. Acero inoxidable ferrítico según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el contenido de carbono es inferior al 0,03% en peso, pero al menos 0,003%.
- 20
3. Acero inoxidable ferrítico según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** el contenido de silicio es 0,05-0,7% en peso.
- 25
4. Acero inoxidable ferrítico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido de manganeso es inferior al 0,65% en peso, preferiblemente 0,10-0,65%.
- 30
5. Acero inoxidable ferrítico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido de níquel es inferior al 0,5% en peso, pero al menos al 0,05%.
- 35
6. Acero inoxidable ferrítico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido de molibdeno es 0,003-0,2% en peso.
- 40
7. Acero inoxidable ferrítico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido de cobre es inferior al 0,5% en peso, pero al menos 0,2%.
- 45
8. Acero inoxidable ferrítico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido de nitrógeno es inferior al 0,03% en peso, pero al menos 0,003%.
- 50
9. Acero inoxidable ferrítico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido de titanio es 0,05 -0,15% en peso.
- 55
10. Acero inoxidable ferrítico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido de niobio es 0,25 -0,40% en peso.
- 60
11. Acero inoxidable ferrítico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el contenido de vanadio es 0,03-0,20% en peso.
12. Acero inoxidable ferrítico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la relación  $(Ti+Nb)/(C+N)$  es mayor o igual a 8, y menor a 25.
13. Acero inoxidable ferrítico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la relación  $Ti_{eq}/C_{eq} = (Ti + 0,515*Nb + 0,940*V)/(C+0,858*N)$  es mayor o igual a 6, y menor a 20.