

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 769 782**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01) <b>C21D 6/00</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01) <b>C21D 7/02</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/42</b>	(2006.01) <b>C21D 8/02</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/44</b>	(2006.01) <b>C21D 8/04</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/46</b>	(2006.01) <b>C21D 9/48</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/48</b>	(2006.01) <b>C21D 1/26</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/50</b>	(2006.01) <b>C21D 6/02</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/52</b>	(2006.01) <b>C21D 7/10</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/54</b>	(2006.01)	
<b>C22C 38/58</b>	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.12.2014 PCT/FI2014/050978**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **18.06.2015 WO15086903**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.12.2014 E 14870087 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2019 EP 3080311**

54 Título: **Método para producir acero inoxidable dúplex de alta resistencia**

30 Prioridad:

**13.12.2013 FI 20136257**  
**17.06.2014 FI 20145573**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**29.06.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**OLIVER, JAMES;**  
**ANDERSSON, JAN-OLOF y**  
**SCHEDIN, ERIK**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 769 782 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Método para producir acero inoxidable dúplex de alta resistencia

La invención se refiere a un método para producir acero inoxidable dúplex ferrítico-austenítico de alta resistencia con efecto TRIP (por sus siglas en inglés, plasticidad inducida por transformación) mediante deformación de manera que la formabilidad retenida a un nivel de resistencia elevada pueda utilizarse en el acero inoxidable dúplex ferrítico-austenítico.

La deformación es una técnica utilizada para incrementar la resistencia de un material mediante una reducción en frío de precisión con el objetivo de resistencia o de resistencia a la tracción específica. Los acabados superficiales para los aceros inoxidables deformados, por ejemplo mediante templado por laminación en frío, se indican según la norma EN 10088-2 como 2H y según la norma ASTM A666-03 como TR.

Los aceros inoxidables austeníticos estándar, tales como 301 / EN 1.4310, 304 / EN 1.4301 y 316L / EN 1.4404, se utilizan bajo condiciones de templado por laminación en frío realizada para ajustar la resistencia. Gracias al endurecimiento por trabajado se obtiene una resistencia elevada. Además, debido al endurecimiento causado por la transformación martensítica inducida por deformación en partes deformadas, el denominado efecto TRIP (plasticidad inducida por transformación), los aceros 301 y 304 presentan excelente trabajabilidad. Sin embargo, es inevitable una disminución de la trabajabilidad que acompaña a un incremento de la resistencia. Este comportamiento se aplica en la patente US nº 6.893.727 para la fabricación de una junta metálica de un acero inoxidable austenítico que contiene, en % en peso, como máximo 0,03% de C, como máximo 1,0% de Si, como máximo 2,0% Mn, 16,0 a 18,0% de Cr, 6% a 8% de Ni, como máximo 0,25% de N, opcionalmente como máximo 0,3% de Nb, siendo el resto, hierro e impurezas inevitables. La microestructura es ventajosamente o bien una estructura de fase dual que presenta al menos 40% de martensita y el resto de austenita o una estructura de una sola fase de martensita.

La patente US nº 6.282.933 se refiere a un método de fabricación de una carcasa metálica para uso en un tubo flexible o cable umbilical. El método contiene una etapa de endurecimiento por trabajado para la banda metálica antes del conformado y antes del bobinado de la banda para formar una carcasa. Según dicha patente, todos los metales que después del endurecimiento por trabajado presentan un límite elástico superior a 500 MPa y un alargamiento a la rotura de al menos 15% pueden utilizarse para fabricar una carcasa metálica. Sin embargo, esta patente US nº 6.282.933 describe además que ya era conocido que los materiales dúplex y superdúplex, utilizados para la fabricación de carcasas metálicas, no necesitan endurecerse por trabajado ya que satisfacen las demandas anteriormente mencionadas sin endurecimiento por trabajado. El endurecimiento por trabajado según dicha patente US nº 6.282.933 se lleva a cabo para aceros inoxidables austeníticos, por ejemplo 301, 301 LN, 304L y 316L, para hacer posible usar estos materiales para la fabricación de carcasas metálicas.

La solicitud de patente EP 436032 se refiere a un método para producir una banda de acero inoxidable de alta resistencia que presenta una microestructura dual ferrita/martensita que contiene, en % en peso, 0,01% a 0,15% de carbono, 10% a 20% de cromo y al menos uno de los elementos níquel, manganeso y cobre en una cantidad de 0,1% a 4,0% para muelles. Para la microestructura dual ferrita/martensita, la banda laminada en frío se pasa en continuo por un horno de tratamiento térmico continuo donde la banda se calienta hasta un intervalo de temperaturas para dos fases de ferrita y austenita, y después, la banda calentada se enfría rápidamente para proporcionar una banda de una estructura dual, que consiste esencialmente en ferrita y martensita y, además, opcionalmente, la banda se somete a temple por laminación en frío de la fase dual a un grado de laminación no superior a 10%, y todavía una etapa de envejecimiento continuo de no más de 10 min en la que la banda de la fase dual se pasa en continuo por un horno de tratamiento térmico continuo. Debido a que el objeto de esta patente EP 436032 es fabricar un material de muelle, puede mejorarse el valor de muelle con temple por laminación en frío antes del envejecimiento.

La solicitud de patente GB 2481175 se refiere a un proceso para fabricar una tubería tubular flexible usando de alambres de acero inoxidable austenítico-ferrítico que contiene 21% a 25% en peso de cromo, 1,5% a 7% en peso de níquel y 0,1% a 0,3% en peso de nitrógeno. En el proceso después del recocido en el intervalo de temperaturas de 1000°C a 1300°C y enfriamiento, los alambres se endurecen por trabajado reduciendo la sección transversal en al menos 35%, de manera que los alambres endurecidos por trabajado presentan una resistencia a la tracción superior a 1300 MPa. Además, los alambres endurecidos por trabajado se bobinan directamente después de la etapa de endurecimiento por trabajado, reteniendo sus propiedades mecánicas.

En la solicitud de patente china nº 102 605 284 A se describe un acero inoxidable dúplex que muestra el efecto TRIP y una excelente resistencia a la corrosión, presentando la composición de 0,01% a 0,08% de C, 0,2% a 1,0% de Si, 1,5% a 3,5% de Mn, 19,0% a 21,0% de Cr, 1,2% a 2,8% de Ni, 0,08% a 0,18% de N, menor que o igual a 0,5% de Mo, menor que o igual a 1,0% de W y menor que o igual a 1,0% de Cu. El método de fabricación comprende calentar un lingote a una temperatura de 1100°C a 1250°C durante 0,5 a 1,5 h, procesar hasta el grosor requerido y recocer a de 1030°C a 1150°C.

El objeto de la presente solicitud de patente es eliminar algunas desventajas de la técnica anterior y conseguir un método mejorado de producción de acero inoxidable dúplex ferrítico-austenítico de alta resistencia con efecto TRIP (plasticidad inducida por transformación) por deformación de tal manera que la formabilidad retenida a un nivel de

resistencia elevada pueda utilizarse en el acero inoxidable dúplex ferrítico-austenítico. Las características esenciales de la invención se proporcionan en las reivindicaciones adjuntas.

En el método según la presente invención, en primer lugar, un acero inoxidable dúplex ferrítico-austenítico en el que se ha conseguido el efecto TRIP (plasticidad inducida por transformación) se trata térmicamente en el intervalo de temperaturas de 950°C a 1150°C. Tras el enfriamiento, con el fin de tener un nivel elevado de resistencia a la tracción de al menos 1000 MPa reteniendo la formabilidad el acero inoxidable dúplex ferrítico-austenítico se deforma con un grado de reducción de al menos 10%, preferiblemente de al menos 20%, con un alargamiento ( $A_{50}$ ) de al menos 15%. Con el grado de reducción de al menos 40%, el acero inoxidable dúplex ferrítico-austenítico alcanza el nivel de resistencia a la tracción de al menos 1300 MPa y presenta un alargamiento ( $A_{50}$ ) de al menos 4,5%. Después de la deformación, el acero inoxidable ferrítico-austenítico se calienta en el intervalo de temperaturas de 100°C a 450°C, preferiblemente en el intervalo de temperaturas de 175°C a 250°C, durante un periodo de 1 segundo a 20 minutos, preferiblemente de 5 a 15 minutos, para mejorar la resistencia adicionalmente reteniendo un alargamiento ( $A_{50}$ ) de al menos 15%. Además de las ya bien conocidas propiedades de corrosión elevadas, el acero inoxidable dúplex deformado con el efecto TRIP alcanzado presenta una relación de resistencia a ductilidad, resistencia a la fatiga y resistencia a la erosión mejoradas.

En una realización preferida (A), el acero inoxidable dúplex con efecto TRIP según la invención contiene, en % en peso, menos de 0,05% de carbono (C), 0,2% a 0,7% de silicio (Si), 2% a 5% de manganeso (Mn), 19% a 20,5% de cromo (Cr), 0,8% a 1,5% de níquel (Ni), menos de 0,6% de molibdeno (Mo), menos de 1% de cobre (Cu), 0,16% a 0,26% de nitrógeno (N), siendo la suma C+N de 0,2% a 0,29%, menos de 0,010% en peso, preferiblemente menos de 0,005% en peso de S, menos de 0,040% en peso de P, de manera que la suma (S+P) sea inferior a 0,04% en peso y el contenido total de oxígeno (O) es inferior a 100 ppm, opcionalmente contiene uno o más elementos añadidos; 0% a 0,5% de wolframio (W), 0% a 0,2% de niobio (Nb), 0% a 0,1% de titanio (Ti), 0% a 0,2% de vanadio (V), 0% a 0,5% de cobalto (Co), 0 a 50 ppm de boro (B) y 0% a 0,04% de aluminio (Al), siendo el resto hierro (Fe) e impurezas inevitables presentes en aceros inoxidables. Este acero inoxidable dúplex es conocido de la solicitud de patente WO 2012/143610.

El acero inoxidable dúplex de la realización (A) presenta el límite elástico  $R_{p0,2}$  de 450 a 550 MPa, la resistencia al alargamiento  $R_{p1,0}$  de 500 a 600 MPa y la resistencia a la tracción  $R_m$  de 750 a 850 MPa después del tratamiento térmico en el intervalo de temperaturas de 1000°C a 1100°C.

En otra realización preferida (B), el acero inoxidable dúplex con efecto TRIP según la invención contiene, en % en peso, menos de 0,04% de carbono (C), menos de 0,7% de silicio (Si), menos de 2,5% en peso de manganeso (Mn), 18,5% a 22,5% de cromo (Cr), 0,8% a 4,5% de níquel (Ni), 0,6% a 1,4% de molibdeno (Mo), menos de 1% de cobre (Cu), 0,10% a 0,24% de nitrógeno (N), opcionalmente uno o más elementos añadidos: menos de 0,04% de aluminio (Al), preferiblemente menos de 0,03% de aluminio (Al), menos de 0,003% de boro (B), menos de 0,003% de calcio (Ca), menos de 0,1% de cerio (Ce), hasta 1% de cobalto (Co), hasta 0,5% de wolframio (W), hasta 0,1% de niobio (Nb), hasta 0,1% de titanio (Ti), hasta 0,2% de vanadio (V), siendo el resto hierro (Fe) e impurezas inevitables presentes en los aceros inoxidables. Este acero inoxidable dúplex es conocido de la solicitud de patente WO 2013/034804.

El acero inoxidable dúplex de la realización (B) presenta el límite elástico  $R_{p0,2}$  de 500 a 550 MPa, el límite elástico  $R_{p1,0}$  de 550 a 600 MPa y la resistencia a la tracción  $R_m$  de 750 a 800 MPa después del tratamiento térmico en el intervalo de temperaturas de 950°C a 1150°C.

La deformación del acero inoxidable dúplex ferrítico-austenítico según la invención puede llevarse a cabo mediante conformado en frío, tal como templado por laminación en frío, aplanado por tensión, aplanado con rodillos, estirado o cualquier otro método que pueda utilizarse para una reducción deseada de una o más dimensiones del objeto fabricado del acero inoxidable dúplex ferrítico-austenítico.

La invención se describe en mayor detalle con referencia a los dibujos siguientes, en los que:

la Figura 1 ilustra la resistencia a la tracción ( $R_m$ ) de los aceros frente al alargamiento ( $A_{50}$ ) de los aceros,

La Figura 2 ilustra la resistencia a la tracción ( $R_m$ ) y el alargamiento ( $A_{50}$ ) de los aceros frente a la reducción por laminación en frío mediante temple por laminación de los aceros,

La Figura 3 ilustra la resistencia a la erosión de los aceros, y

la Figura 4 ilustra la influencia de un tratamiento térmico de 10 minutos a diferentes temperaturas sobre el límite elástico ( $R_{p0,2}$ ) y el alargamiento ( $A_{50}$ ).

Los aceros inoxidables dúplex según las realizaciones (A) y (B) de la invención después de un tratamiento térmico, recocido por solubilización en el intervalo de temperaturas de 950°C a 1150°C, se sometieron a temple por laminación en frío según la invención con el grado de reducción de al menos 10%, preferiblemente de al menos 20%. Los valores de límite elástico  $R_{p0,2}$  y de resistencia a la tracción  $R_m$  se determinaron para ambos aceros inoxidables dúplex (A) y (B) y se proporcionan los resultados en la Tabla 1. Como aleaciones de referencia, la Tabla 1 contiene además los

# ES 2 769 782 T3

valores respectivos para los aceros inoxidable dúplex ferrítico-austenítico LDX 2101, 2205 y 2507, así como para los aceros inoxidable austenítico estándar 1.4307 (304L) y 1.4404 (316L).

Tabla 1

Aleación	Grosor (mm)	Reducción (%)	R <sub>p0,2</sub> (MPa)	R <sub>m</sub> (MPa)	A <sub>50</sub> (%)
A	3,36	0	599	788	46
	1,45	0	611	845	42,4
	0,4	0	521	774	43
	0,69	20	894	1068	18,3
	2,72	20	973	1107	15,2
	0,59	30	999	1278	8,3
	0,25	40	1096	1400	7,2
	0,51	40	1113	1426	6,3
	1,1	40	1165	1418	4,5
	1,72	50	1271	1544	2,6
	0,41	50	1284	1642	3,5
	1,45	60	1439	1697	1,7
	0,16	60	1305	1750	3
B	0,46	0	519	808	42,1
	2,06	0	580	797	40,5
	0,8	0	611	836	38,6
	1,65	10	918	1057	22,6
	0,88	10	826	937	26,5
	1,32	10	883	1035	23,4
	1,65	20	936	1082	19,2
	0,68	30	998	1171	10,6
	0,59	40	1056	1346	8
	1,2	40	1162	1403	7,2
	1	50	1298	1551	3,7
	0,47	50	1251	1560	2,9
0,8	60	1468	1687	1,6	
LDX 2101	1	0	592	803	28
	0,8	20	976	1184	5
	0,6	40	1100	1400	3
	0,4	60	1216	1559	3
2205	0,7	0	698	894	22
	0,56	20	1080	1232	5
	0,42	40	1235	1400	3
	0,28	60	1331	1612	2
	0,203	71	1367	1692	2

ES 2 769 782 T3

Aleación	Grosor (mm)	Reducción (%)	R <sub>p0,2</sub> (MPa)	R <sub>m</sub> (MPa)	A <sub>50</sub> (%)
2507	1	0	834	920	26
	0,8	20	1099	1273	6
	0,6	40	1362	1623	3
	0,4	60	1423	1736	2
	0,2	80	1548	1894	2
304L		0	270	600	55
		14	648	800	30
		17	719	839	24
		17	710	837	27
		22	780	925	17
		23	779	911	16
		23	775	899	20
		23	780	900	22
		24	788	912	18
		29	838	979	14
		31	863	1005	10
		35	910	1063	9
		36	908	1057	12
		37	1050	1100	9
		48	1059	1208	8
	48	1150	1200	7	
	50	1040	1211	7	
	58	1250	1300	5	
	72	1350	1400	3	
316L		0	260	580	55
		29	820	925	14
		45	1000	1100	6
		60	1050	1200	4
		73	1150	1300	3
		80	1250	1400	2

Los resultados de la Tabla 1 para la resistencia a la tracción, R<sub>m</sub>, frente a la ductilidad retenida (alargamiento A<sub>50</sub>) se ilustran en la Figura 1 para los aceros inoxidable dúplex ferríticos-austeníticos A y B de la invención y como los materiales de referencia para el acero dúplex ferrítico-austenítico estándar (LDX 2101 y 2507), así como para el acero inoxidable austenítico estándar (304L).

5 La línea discontinua en la Figura 1 muestra la tendencia para tanto el grado estándar de acero inoxidable dúplex como para el grado estándar de acero inoxidable austenítico, mientras que la línea continua es para las aleaciones A y B.

10 Los resultados en la Figura 1 muestran que, para una resistencia a la tracción dada, R<sub>m</sub>, la ductilidad retenida es sustancialmente superior para las aleaciones A y B que para el acero inoxidable dúplex estándar y el acero inoxidable austenítico estándar de grado 304L. Alternativamente, para un alargamiento A<sub>50</sub> dado, las aleaciones A y B presentan una resistencia a la tracción R<sub>m</sub> hasta 150 MPa superior a la resistencia a la tracción R<sub>m</sub> del acero inoxidable dúplex estándar y el acero inoxidable austenítico de grado 304L.

La Figura 2 muestra claramente la diferencia de ductilidad retenida (alargamiento  $A_{50}$ ) con respecto a la reducción en la laminación en frío cuando se comparan las aleaciones A y B con el acero inoxidable dúplex estándar y el acero inoxidable austenítico de grado 304L. Por ejemplo, para una reducción en la laminación en frío de 20% de los aceros inoxidables dúplex estándares, sólo se mantiene un 5% de alargamiento  $A_{50}$ , mientras que en las aleaciones A y B se mantiene un alargamiento  $A_{50}$  de 15% a 20% con una resistencia a la tracción  $R_m$  similar. Además, las aleaciones A y B requieren un grado de reducción en la laminación en frío más pequeño que el acero inoxidable austenítico estándar 304L para alcanzar el mismo objetivo de resistencia a la tracción,  $R_m$ . En consecuencia, la ductilidad retenida (alargamiento  $A_{50}$ ) es mayor en las aleaciones A y B que en el acero inoxidable austenítico estándar 304L a la misma resistencia a la tracción,  $R_m$ .

Los resultados en la Figura 2 muestran además que por ejemplo para alcanzar una resistencia a la tracción  $R_m$  de 1100 a 1200 MPa, se requiere un grado de reducción del temple por laminación de 20% para los aceros inoxidables dúplex estándar y para las aleaciones A y B, mientras que se requiere un grado de reducción en el temple por laminación de 50% para el acero inoxidable austenítico 304L para conseguir la misma resistencia a la tracción  $R_m$  de 1100 a 1200 MPa. Simultáneamente, las aleaciones A y B presentan una ductilidad retenida más elevada ( $A_{50}$  de 15% a 20%) en comparación con los aceros inoxidables dúplex estándar ( $A_{50}$  de aproximadamente 5%) y que el acero austenítico estándar de grado 304L ( $A_{50}$  de 7% a 8%).

Para muchas aplicaciones en las que se utilizan aceros inoxidables dúplex, la resistencia a la fatiga es importante. La Tabla 2 muestra el límite de fatiga  $R_{d50\%}$  de los aceros antes ( $R_{d50\%}(0\%)$ ) y después ( $R_{d50\%}(TR\%)$ ) del temple por laminación en frío, así como la relación  $R_{d50\%}(TR\%)/R_{d50\%}(0\%)$ , es decir, la relación del límite de fatiga del material templado por laminación en frío y no templado por laminación. El límite de fatiga  $R_{d50\%}$  describe la probabilidad de 50% de fallo después de 2 millones de ciclos, determinada en el máximo de tensión y  $R=0,1$ , donde R es la relación entre la tensión máxima y mínima en el ciclo de fatiga.

Tabla 2

Aleación	Reducción (%)	$R_{p0,2}$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	$R_{d(50\%)}$ (MPa)	$R_{d50\%}(TR\%)/R_{d50\%}(0\%)$
A	0	594	799	596	-
A	30	1032	1235	719	1,21
B	0	580	797	594	-
B	10	918	1057	748	1,26

La Tabla 2 muestra el propio límite de fatiga y el valor de la relación  $R_{d50\%}(TR\%)/R_{d50\%}(0\%)$ , siendo la relación superior a 1,2 para las aleaciones A y B templadas por laminación. De esta manera, el temple por laminación según la invención por tanto también mejora el límite de fatiga en más de 20% para las aleaciones A y B.

La Tabla 3 muestra los resultados de resistencia a la erosión de un intervalo de grados de acero inoxidable, en donde la velocidad de desgaste volumétrico medio se ensayó con la configuración de ensayo estandarizado GOST 23.208-79.

Tabla 3

Aleación	Velocidad de desgaste volumétrico medio ( $\text{mm}^3/\text{kg}$ )
316L	10,3
304L	10,5
2507	9,3
2205	10,3
LDX 2101	9,8
Aleación B	6,9
Aleación A	7,1
Aleación A(TR)	5,7

Los resultados para la velocidad de desgaste volumétrico medio en la Tabla 3 y en la Figura 3 muestran la elevada resistencia a la erosión para las aleaciones A y B en comparación con las aleaciones de referencia de acero inoxidable austenítico de grados 316L y 304L, así como para los aceros inoxidables dúplex 2507, 2205 y LDX 2101. El temple por laminación según la invención mejora adicionalmente la resistencia a la erosión, tal como se muestra para la aleación A(TR), la aleación A después del temple por laminación en frío según la invención. La velocidad de desgaste volumétrico medio después del temple por laminación en frío es inferior a 6,0  $\text{mm}^3/\text{kg}$ .

La Tabla 4 muestra el efecto favorable del tratamiento térmico sobre el límite elástico ( $R_{p0,2}$ ) y el alargamiento ( $A_{50}$ ). El tratamiento térmico se llevó a cabo después de la deformación en frío.

Tabla 4

Temperatura del tratamiento térmico (°C)	$R_{p0,2}$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	$A_{50}$ (%)
25	883	1035	23,4
100	897	1026	23,2
150	906	1022	23,6
200	947	1032	21,7
250	961	1059	21,2
275	955	1062	21,0
300	950	1076	20,4
360	949	1075	18,2
420	951	1067	18,0

5 El material ensayado en la Tabla 4 es la aleación B con un 10% de reducción en la laminación de la Tabla 1 y con el periodo de tratamiento térmico de 10 minutos. El material original corresponde a la muestra a temperatura ambiente (25°C) en la Tabla 4. Los resultados en la Tabla 4 y en la Figura 4 demuestran que el calentamiento durante 10 minutos proporciona un incremento de la resistencia. En particular, el límite elástico ( $R_{p0,2}$ ) mejora, alcanzando un incremento máximo de aproximadamente 10% a la temperatura de 250°C. El alargamiento ( $A_{50}$ ) es bastante estable hasta la temperatura de 250°C, de 20%. Por encima de esta temperatura de 250°C el alargamiento disminuye pero se mantiene por encima de 15%. Por tanto, los tratamientos térmicos cortos dentro del intervalo de temperaturas de 175°C a 420°C se muestra que mejoran el límite elástico ( $R_{p0,2}$ ) y mantienen al mismo tiempo una buena ductilidad.

15 Los aceros inoxidable dúplex templados por laminación según la invención pueden utilizarse para sustituir los aceros inoxidable austeníticos estándar 1.4307 (304L) y 1.4404 (316L) sometidos a temple por laminación en frío en aplicaciones en las que existe una necesidad de mejor resistencia a la corrosión general y problemas de erosión y fatiga, así como en aplicaciones en las que estos aceros inoxidable austeníticos no son capaces de alcanzar una relación resistencia/ductilidad deseada. Posibles aplicaciones de utilización pueden ser, por ejemplo, componentes de maquinaria, elementos constructivos, cintas transportadoras, componentes electrónicos, componentes de absorción de energía, cajas y carcasas de equipos, líneas flexibles (alambre de carcasa y armado), muebles, piezas ligeras de coches y camiones, entresuela protectora, componentes estructurales ferroviarios, piezas de herramientas y piezas sujetas a desgaste.

20

## REIVINDICACIONES

1. Método para producir un acero inoxidable dúplex ferrítico-austenítico de alta resistencia con efecto TRIP (plasticidad inducida por transformación) con deformación, caracterizado por que después de un primer tratamiento térmico en el intervalo de temperaturas de 950°C a 1150°C para proporcionar un nivel elevado de resistencia a la tracción de al menos 1000 MPa con formabilidad retenida, teniendo el acero inoxidable dúplex ferrítico-austenítico una de las composiciones, A o B, en donde la composición A contiene, en % en peso:
- 5 menos de 0,05% de carbono (C), 0,2% a 0,7% de silicio (Si), 2% a 5% de manganeso (Mn), 19% a 20,5% de cromo (Cr), 0,8% a 1,5% de níquel (Ni), menos de 0,6% de molibdeno (Mo), menos de 1% de cobre (Cu), 0,16% a 0,26% de nitrógeno (N), siendo la suma C+N de 0,2% a 0,29%, menos de 0,010% en peso de S, menos de 0,040% en peso de P, de manera que la suma (S+P) es inferior a 0,04% en peso y el contenido total de oxígeno (O) es inferior a 100 ppm, y opcionalmente contiene uno o más elementos añadidos: 0% a 0,5% de wolframio (W), 0% a 0,2% de niobio (Nb), 0% a 0,1% de titanio (Ti), 0% a 0,2% de vanadio (V), 0% a 0,5% de cobalto (Co), 0 a 50 ppm de boro (B) y 0% a 0,04% de aluminio (Al), siendo el resto hierro (Fe) e impurezas inevitables presentes en los aceros inoxidables, y la composición B contiene, en % en peso:
- 10 menos de 0,04% de carbono (C), menos de 0,7% de silicio (Si), menos de 2,5% en peso de manganeso (Mn), 18,5% a 22,5% de cromo (Cr), 0,8% a 4,5% de níquel (Ni), 0,6% a 1,4% de molibdeno (Mo), menos de 1% de cobre (Cu), 0,10% a 0,24% de nitrógeno (N), opcionalmente uno o más elementos añadidos: menos de 0,04% de aluminio (Al), preferiblemente menos de 0,03% de aluminio (Al), menos de 0,003% de boro (B), menos de 0,003% de calcio (Ca), menos de 0,1% de cerio (Ce), hasta 1% de cobalto (Co), hasta 0,5% de wolframio (W), hasta 0,1% de niobio (Nb), hasta 0,1% de titanio (Ti), hasta 0,2% de vanadio (V), siendo el resto de hierro (Fe) e impurezas inevitables en los aceros inoxidables,
- 15 se deforma con un grado de reducción de al menos 10%, preferiblemente de al menos 20%, y por que, después de la deformación, se lleva a cabo un segundo tratamiento térmico dentro del intervalo de temperaturas de 100°C a 450°C durante un periodo de 1 segundo a 20 minutos para mejorar adicionalmente el límite elástico con un grado de reducción de 20%, el alargamiento ( $A_{50}$ ) es de al menos 15%.
- 20 se deforma con un grado de reducción de al menos 10%, preferiblemente de al menos 20%, y por que, después de la deformación, se lleva a cabo un segundo tratamiento térmico dentro del intervalo de temperaturas de 100°C a 450°C durante un periodo de 1 segundo a 20 minutos para mejorar adicionalmente el límite elástico con un grado de reducción de 20%, el alargamiento ( $A_{50}$ ) es de al menos 15%.
- 25 se deforma con un grado de reducción de al menos 10%, preferiblemente de al menos 20%, y por que, después de la deformación, se lleva a cabo un segundo tratamiento térmico dentro del intervalo de temperaturas de 100°C a 450°C durante un periodo de 1 segundo a 20 minutos para mejorar adicionalmente el límite elástico con un grado de reducción de 20%, el alargamiento ( $A_{50}$ ) es de al menos 15%.
3. Método según la reivindicación 1, caracterizado por que, con un grado de reducción de 40%, se consigue un nivel de resistencia a la tracción de al menos 1300 MPa.
3. Método según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que, con un grado de reducción de 40%, el alargamiento ( $A_{50}$ ) es de al menos 4,5%.
- 30 4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 3, caracterizado por que la relación  $R_{d50\%}(TR\%)/R_{d50\%}(0\%)$  para el límite de fatiga antes ( $R_{d50\%}(0\%)$ ) y después ( $R_{d50\%}(TR\%)$ ) de la deformación es superior a 1,2.
5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 4, caracterizado por que la velocidad de desgaste volumétrico medio para la resistencia a la erosión después de la deformación es inferior a 6,0 mm<sup>3</sup>/kg.
- 35 6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 5, caracterizado por que, después de la deformación, se lleva a cabo un tratamiento térmico dentro del intervalo de temperaturas de 175°C a 250°C para mejorar adicionalmente la resistencia con un alargamiento ( $A_{50}$ ) retenido de al menos 15%.
7. Método según la reivindicación 6, caracterizado por que el tratamiento térmico se lleva a cabo durante un periodo de 5 a 15 minutos.
- 40 8. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 7, caracterizado por que la deformación del acero inoxidable dúplex ferrítico-austenítico se lleva a cabo mediante temple por laminación en frío.
9. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 7, caracterizado por que la deformación del acero inoxidable dúplex ferrítico-austenítico se lleva a cabo mediante aplanado por tensión.
- 45 10. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 7, caracterizado por que la deformación del acero inoxidable dúplex ferrítico-austenítico se lleva a cabo mediante aplanado con rodillos.
11. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 7, caracterizado por que la deformación del acero inoxidable dúplex ferrítico-austenítico se lleva a cabo mediante estirado.