

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 899 448**

51 Int. Cl.:

B32B 15/01	(2006.01)	C22C 18/00	(2006.01)
C21D 6/00	(2006.01)	C23C 2/28	(2006.01)
C21D 8/02	(2006.01)	C23C 2/02	(2006.01)
C21D 9/46	(2006.01)	C22C 38/26	(2006.01)
C21D 1/22	(2006.01)	C21D 1/18	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)	C23C 2/06	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)		
C22C 38/06	(2006.01)		
C23C 2/40	(2006.01)		
C22C 38/38	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2016 E 19216515 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.10.2021 EP 3653737**

54 Título: **Procedimiento de producción de una lámina de acero que tiene una resistencia, ductilidad y conformabilidad mejoradas**

30 Prioridad:
21.12.2015 WO PCT/IB2015/059837

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.03.2022

73 Titular/es:
**ARCELORMITTAL (100.0%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:
**JUN, HYUN JO y
VENKATASURYA, PAVAN**

74 Agente/Representante:
PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 899 448 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

Procedimiento de producción de una lámina de acero que tiene una resistencia, ductilidad y conformabilidad mejoradas

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento para producir una lámina de acero de alta resistencia que tiene una resistencia, ductilidad y conformabilidad mejoradas y a una lámina obtenida con el procedimiento.
- 10 **[0002]** Para fabricar diversos equipos, tales como piezas de elementos estructurales de la carrocería y paneles de la carrocería para vehículos automovilísticos, se conoce utilizar láminas recubiertas fabricadas de aceros DP (de fase dual) o aceros TRIP (de plasticidad inducida por transformación).
- 15 **[0003]** También se conoce el uso de aceros que tienen una estructura bainítica, libre de precipitados de carburos, con austenita retenida, que contienen aproximadamente el 0,2 % de C, aproximadamente el 2 % de Mn, aproximadamente el 1,7 % de Si, con un límite elástico de aproximadamente 750 MPa, una resistencia a la tracción de aproximadamente 980 MPa, un alargamiento total de aproximadamente el 8 %. Estas láminas se producen en líneas de recocido continuo por enfriamiento desde una temperatura de recocido superior al punto de transformación A_{c3} , hasta una temperatura de mantenimiento por encima del punto de transformación M_s , y manteniendo la lámina a la temperatura durante un tiempo determinado. El documento EP 2546368 describe un procedimiento para fabricar
20 una lámina de acero de alta resistencia que comprende en % en masa: C 0,10 al 0,73 %, Si 3,0 % o menos, Mn 0,5 % al 3,0 %, P 0,1 % o menos, S 0,07 % o menos, Al 3,0 % o menos, N 0,010 % o menos, el resto Fe e impurezas.
- 25 **[0004]** Para reducir el peso de los automóviles con el fin de mejorar su eficiencia en consumo de combustible, en vista de la conservación global del medio ambiente, es deseable tener láminas que tengan un límite elástico y resistencia a la tracción mejorados. Pero tales láminas también deben tener una buena ductilidad y una buena conformabilidad.
- 30 **[0005]** A este respecto, es deseable tener láminas recubiertas o no recubiertas que tengan un límite elástico YS comprendido entre 440 MPa y 750 MPa, preferentemente comprendido entre 450 MPa y 750 MPa, una resistencia a la tracción TS de al menos 980 MPa, un alargamiento total TE de al menos el 20 %, preferentemente de al menos el 21 %, y una relación de expansión de orificio HER según la norma ISO 16630:2009 de al menos el 20 %. La resistencia a la tracción TS y el alargamiento total TE se miden según la norma ISO 6892-1, publicada en octubre de 2009. Se debe enfatizar que, debido a las diferencias en los procedimientos de medición, en particular debido a las diferencias en las geometrías de la muestra utilizada, los valores del alargamiento total AT según la norma ISO son
35 muy diferentes, y en particular, son más bajos, que los valores del alargamiento total medidos según la norma JIS Z 2201-05. Además, debido a las diferencias en los procedimientos de medición, los valores de la relación de expansión del orificio HER según la norma ISO son muy diferentes y no comparables con los valores de la relación de expansión del orificio A según JFS T 1001 (norma de la Federación Japonesa de Hierro y Acero estándar).
- 40 **[0006]** También es deseable tener láminas de acero que tengan propiedades mecánicas como se mencionó anteriormente, en un intervalo de espesor de 0,7 a 3 mm, y más preferentemente en el intervalo de 1 a 2 mm.
- 45 **[0007]** Por lo tanto, el objetivo de la presente invención es proporcionar una lámina con las propiedades mecánicas mencionadas anteriormente y un procedimiento para producirla.
- [0008]** Con este fin, la invención se refiere a un procedimiento para producir una lámina de acero según la reivindicación 1.
- 50 **[0009]** Preferentemente, la lámina de acero tiene, justo después del temple, una estructura que consiste, en fracción de área, en al menos el 20 % de austenita, entre el 30 % y el 60 % de martensita y del 20 % y el 50 % de ferrita.
- [0010]** Según una realización particular, la composición del acero es tal que $1,25 \% \leq Si + Al \leq 2,35 \%$.
- 55 **[0011]** Según una realización particular, el procedimiento comprende además, entre la etapa de mantener la lámina a la temperatura de partición PT y la etapa de enfriar la lámina hasta la temperatura ambiente, una etapa de recubrimiento por inmersión en caliente de la lámina.
- 60 **[0012]** En esta realización, la temperatura de partición PT está comprendida preferentemente entre 400 °C y 430 °C, y el tiempo de partición Pt está comprendido preferentemente entre 50 s y 150 s.
- [0013]** La etapa de recubrimiento por inmersión en caliente puede ser una etapa de galvanización.
- [0014]** Según otro ejemplo, la etapa de recubrimiento por inmersión en caliente es una etapa de galvanizado recocido, con una temperatura de aleación GAT comprendida entre 480 °C y 515 °C. Preferentemente, en este

ejemplo, el tiempo de partición Pt está comprendido entre 50 s y 140 s.

- [0015]** Según otra realización particular, la etapa de enfriar la lámina hasta la temperatura ambiente se realiza inmediatamente después de la etapa de mantener la lámina a la temperatura de partición PT durante el tiempo de partición Pt, y el tiempo de partición Pt es de al menos 100 s.
- [0016]** Preferentemente, la lámina se enfría hasta la temperatura ambiente a una velocidad de enfriamiento de al menos 10 °C/s.
- 10 **[0017]** Preferentemente, después de que la lámina se temple a la temperatura de temple QT, y antes de que la lámina se caliente a la temperatura de partición PT, la lámina se mantiene a la temperatura de temple QT durante un tiempo de mantenimiento comprendido entre 2 s y 8 s, preferentemente entre 3 s y 7 s.
- [0018]** La invención se refiere también a una lámina de acero según la reivindicación 13.
- 15 **[0019]** Preferentemente, la lámina de acero tiene un límite elástico comprendido entre 440 y 750 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 980 MPa, un alargamiento total, medido según la norma ISO 6892-1, de al menos el 20 %, y una relación de expansión del orificio HER, medida según la norma ISO 16630:2009, de al menos el 20 %.
- 20 **[0020]** Según una realización particular, la composición del acero es tal que $1,25 \% \leq \text{Si} + \text{Al} \leq 2,35 \%$.
- [0021]** Preferentemente, el contenido de C $C_{RA}\%$ en la austenita retenida está comprendido entre el 0,9 % y el 1,3 %.
- 25 **[0022]** Según una realización particular, la lámina de acero está recubierta, por ejemplo, con Zn o una aleación de Zn o Al o una aleación de Al.
- [0023]** Por ejemplo, la lámina de acero está galvanizada o galvanizada recocida.
- 30 **[0024]** La invención se describirá ahora en detalle.
- [0025]** La composición del acero según la invención comprende, en porcentaje en peso:
- 35 - del 0,18 % al 0,25 % de carbono, y preferentemente del 0,19 % al 0,22 %, para garantizar una resistencia satisfactoria y mejorar la estabilidad de la austenita retenida. Este contenido de carbono es necesario para obtener un alargamiento total suficiente. Si el contenido de carbono es superior al 0,25 %, la lámina laminada en caliente es demasiado dura para laminar en frío y la soldabilidad es insuficiente. Si el contenido de carbono es inferior al 0,18 %, los niveles de límite elástico y de resistencia a la tracción no alcanzarán respectivamente 450 y 980 MPa, y el
- 40 alargamiento total no alcanzará el 20 %.
- del 1,5 % al 2,5 % de manganeso. El mínimo se define para tener una templabilidad suficiente para obtener una microestructura que contenga al menos el 30 % de la suma de martensita y bainita, y una resistencia a la tracción de más de 980 MPa. El máximo se define para evitar tener problemas de segregación que son perjudiciales para la ductilidad.
- 45 - del 0,9 % al 1,8 % de silicio para estabilizar la austenita, proporcionar un refuerzo de la solución sólida y retrasar la formación de carburos durante el sobrevejecimiento, es decir, durante el mantenimiento a la temperatura de partición PT, sin formación de óxidos de silicio en la superficie de la lámina que sería perjudicial para la capacidad de recubrimiento. Preferentemente, el contenido de silicio es superior o igual al 1,1 %. Una mayor cantidad de silicio mejora la relación de expansión del orificio. Preferentemente, el contenido de silicio es inferior o igual al 1,7 %. Un
- 50 contenido de silicio superior al 1,8 % conduciría a la formación de óxidos de silicio en la superficie.
- del 0,02 % al 1,0 % de aluminio. Se añade aluminio para desoxidar el acero líquido y esto aumenta la robustez del procedimiento de fabricación, en particular reduce las variaciones de la fracción de austenita cuando varía la temperatura de recocido. El contenido máximo de aluminio se define para evitar un aumento del punto de transformación Ac_3 a una temperatura que dificultaría el recocido. El aluminio, como el silicio, retrasa la formación de
- 55 carburos durante la redistribución del carbono de la martensita a la austenita resultante del sobrevejecimiento. Para retrasar la formación de carburos, el contenido mínimo de Al + Si debe ser del 1,0 %, preferentemente del 1,25 %. El contenido máximo de Al + Si debe ser del 2,35 %. Así, según una primera realización, $1,0 \% \leq \text{Al} + \text{Si} < 1,25 \%$. Según una segunda realización, $1,25 \% \leq \text{Al} + \text{Si} \leq 2,35 \%$.
- del 0,10 % al 0,40 % de cromo. Es necesario al menos un 0,10 % para aumentar la templabilidad y para estabilizar
- 60 la austenita retenida para retrasar la formación de bainita durante el sobrevejecimiento. Se permite un máximo del 0,40 % de Cr, por encima, se observa un efecto de saturación, y la adición de Cr es tanto inútil como costosa. Además, un contenido de Cr superior al 0,40 % conduciría a la formación de incrustaciones que comprenden óxidos de cromo fuertemente adheridos a la superficie de la lámina de acero durante el laminado en caliente y el laminado en frío, muy difíciles de eliminar mediante decapado.
- 65 - del 0,010 % al 0,035 % de niobio, para refinar los granos de austenita anteriores y proporcionar un refuerzo de la

precipitación. Un contenido de Nb del 0,010 % al 0,035 % permite obtener un límite elástico y un alargamiento satisfactorios, en particular un límite elástico de al menos 440 MPa.

[0026] El resto es hierro y elementos residuales resultantes de la fabricación del acero. A este respecto, Ni, Mo, Cu, Ti, V, B, S, P y N al menos se consideran elementos residuales que son impurezas inevitables. Por lo tanto, su contenido es inferior al 0,05 % para el Ni, el 0,02 % para el Mo, el 0,03 % para el Cu, el 0,007 % para el V, el 0,0010 % para el B, el 0,005 % para el S, el 0,02 % para el P y el 0,010 % para el N. El contenido de Ti está limitado al 0,05 % porque por encima de tales valores, los carbonitruros de gran tamaño precipitarían principalmente en la etapa líquida, y la conformabilidad de la lámina de acero disminuiría, haciendo que la diana del 20 % para el alargamiento total sea más difícil de alcanzar.

[0027] La lámina se prepara mediante laminación en caliente y laminación en frío según los procedimientos conocidos por un experto en la materia. La lámina laminada en frío tiene un espesor entre 0,7 mm y 3 mm, por ejemplo entre 1 mm y 2 mm.

[0028] Después del laminado, la lámina se decapa o se limpia, a continuación se trata con calor y se recubre por inmersión en caliente, se recubre con electrolito o se recubre al vacío.

[0029] El tratamiento térmico, que se realiza preferentemente en una línea combinada de recocido continuo y recubrimiento por inmersión en caliente, comprende las etapas de:

- recocer la lámina de acero a una temperatura de recocido T_A tal que, al final de la etapa de recocido, el acero tiene una estructura que consiste en del 50 % al 80 % de austenita y del 20 % al 50 % de ferrita, preferentemente del 25 % al 50 % de ferrita. Un experto en la materia sabe cómo determinar la temperatura de recocido T_A a partir de pruebas de dilatometría. Generalmente, la temperatura de recocido está comprendida entre 780 °C y 840 °C. Preferentemente, la lámina se calienta a la temperatura de recocido a una velocidad de calentamiento de al menos 3 °C/s. La lámina se mantiene a la temperatura de recocido, es decir, se mantiene entre $T_A - 5$ °C y $T_A + 10$ °C, durante un tiempo de recocido t_A suficiente para homogeneizar la composición química. Este tiempo de recocido t_A es preferentemente de más de 30 s pero no es necesario que sea de más de 300 s. Preferentemente, el tiempo de recocido es de al menos 70 s.

- templar la lámina hasta una temperatura de temple QT más baja que el punto de transformación M_s de la austenita que queda después del recocido, a una velocidad de enfriamiento lo suficientemente alta como para evitar la formación de ferrita y bainita nuevas durante el enfriamiento. El Cr es útil para evitar tal formación. Por ejemplo, la velocidad de enfriamiento es superior a 20 °C/s. La temperatura de temple está entre $M_s - 50$ °C y $M_s - 5$ °C para tener una estructura que consista en al menos el 20 % de austenita, entre el 30 y el 60 % de martensita y del 20 % y el 50 % de ferrita, que es ferrita intercrítica, justo después del enfriamiento. Si la temperatura de temple QT es inferior a $M_s - 50$ °C, la fracción de la martensita revenida y no revenida en la estructura final es demasiado alta para estabilizar una cantidad suficiente de austenita retenida por encima del 10 %, y no se obtiene un alargamiento total de al menos el 20 %. Además, si la temperatura de temple QT es superior a $M_s - 5$ °C, la fracción de martensita formada es demasiado baja, de modo que la partición de carbono durante la siguiente etapa de partición es insuficiente. En consecuencia, la austenita no está suficientemente estabilizada para obtener la fracción deseada de austenita retenida después de enfriar a la temperatura ambiente, y no se obtiene un alargamiento de al menos el 20 %.

- opcionalmente, mantener la lámina templada a la temperatura de temple durante un tiempo de mantenimiento comprendido entre 2 s y 8 s, preferentemente entre 3 s y 7 s.

- recalentar la lámina desde la temperatura de temple hasta una temperatura de partición PT comprendida entre 375 °C y 450 °C, y preferentemente comprendida entre 375 °C y 430 °C. Si la temperatura de partición PT es superior a 450 °C, no se obtiene un alargamiento total de más del 20 %. Si la temperatura de partición PT es inferior a 430 °C, se puede obtener un alargamiento total de al menos el 21 %. Preferentemente, si la lámina se va a recubrir por inmersión en caliente, por ejemplo mediante galvanizado o galvanizado recocido, la temperatura de partición PT está comprendida entre 400 °C y 430 °C. La tasa de recalentamiento puede ser alta cuando el recalentamiento se realiza mediante un calentador de inducción, pero esa tasa de recalentamiento no tuvo un efecto aparente en las propiedades finales de la lámina.

- mantener la lámina a la temperatura de partición PT durante un tiempo de partición Pt de al menos 50 s, por ejemplo comprendido entre 50 s y 250 s. Durante la etapa de partición, el carbono se reparte, es decir, se difunde desde la martensita hacia la austenita, que se enriquece así en carbono y se estabiliza. Si la lámina se va a galvanizar, el tiempo de partición Pt está comprendido preferentemente entre 50 s y 150 s. Si la lámina se va a galvanizar recocer, el tiempo de partición Pt está comprendido preferentemente entre 50 s y 140 s. Si la lámina no está recubierta por inmersión en caliente, el tiempo de partición es preferentemente de al menos 100 s.

- opcionalmente, si la lámina se va a recubrir por inmersión en caliente, la temperatura de la lámina se ajusta enfriando o calentando para que sea igual a la temperatura a la que la lámina se debe recubrir por inmersión en caliente.

- opcionalmente recubrir por inmersión en caliente la lámina. El recubrimiento por inmersión en caliente opcional puede ser, por ejemplo, por galvanizado, pero es posible todo el recubrimiento por inmersión en caliente metálico siempre que las temperaturas a las que se lleva la lámina durante el recubrimiento permanezcan por debajo de 480 °C. Cuando la lámina se galvaniza, se realiza con las condiciones habituales. La lámina de acero según la invención puede ser galvanizada recocida, a una temperatura de galvanizado recocido comprendida entre 480 °C y 515 °C, por ejemplo

comprendida entre 480 °C y 500 °C, para alear el recubrimiento de Zn por interdifusión con Fe después de sumergir el acero en el baño de Zn. Si la temperatura de galvanizado recocido es superior a 515 °C, el alargamiento total disminuye a menos del 20 %. El acero según la invención también puede galvanizarse con aleaciones de Zn como zinc-magnesio o zinc-magnesio-aluminio.

5 - enfriar la lámina a la temperatura ambiente, después de la etapa de recubrimiento por inmersión en caliente o inmediatamente después de la etapa de mantener la lámina a la temperatura de partición, a una velocidad de enfriamiento preferentemente superior a 10 °C/s.

10 **[0030]** En lugar de utilizar un recubrimiento por inmersión en caliente, la lámina puede recubrirse mediante procedimientos electroquímicos, por ejemplo, electro-galvanizado, o mediante cualquier procedimiento de recubrimiento al vacío, como la deposición de vapor por plasma o la deposición por chorro de vapor. De nuevo, se puede utilizar cualquier tipo de recubrimiento y, en particular, zinc o aleaciones de zinc, como aleaciones de zinc-níquel, zinc-magnesio o zinc-magnesio-aluminio.

15 **[0031]** Este tratamiento permite obtener una estructura final, es decir, después del reparto, recubrimiento por inmersión en caliente opcional y enfriamiento a la temperatura ambiente, que consiste en del 20 % al 50 % de ferrita intercrítica, del 10 % al 20 % de austenita retenida, del 25 % al 45 % de martensita revenida, del 10 % al 20 % de martensita fresca y bainita, estando comprendida la suma de martensita revenida y bainita entre el 30 % y el 60 %.

20 **[0032]** Además, este tratamiento permite obtener un mayor contenido de C en la austenita retenida, que es de al menos un 0,9 %, preferentemente incluso de al menos un 1,0 %, y hasta un 1,3 %.

25 **[0033]** Con dicho tratamiento, se pueden obtener láminas que tienen un límite elástico YS comprendido entre 450 y 750 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 980 MPa, un alargamiento total de al menos el 20 % e incluso superior al 21 % y una relación de expansión del orificio HER según la norma ISO 16630: 2009 de al menos el 20 %.

[0034] Los ejemplos siguientes tienen fines ilustrativos y no están destinados a ser interpretados como limitantes del alcance de la descripción de esta invención:

30 Ejemplos:

[0035] Como ejemplo, se produjeron láminas hechas de un acero que tiene una composición que comprende el 0,21 % de C, el 1,5 % de Si, el 1,9 % de Mn, el 0,015 % de Nb, el 0,2 % de Cr y el 0,02 % de Al, siendo el resto Fe e impurezas (composición n. ° 1), por laminación en caliente y laminación en frío.

35 **[0036]** Los puntos Ac1, Ac3 y Ms del acero se determinaron mediante experimentos con dilatómetro, como Ac1 = 780 °C, Ac3 = 900 °C y Ms = 250 °C.

40 **[0037]** Las primeras muestras de la lámina se trataron térmicamente mediante recocido a una temperatura TA durante un tiempo tA, templando a una temperatura QT a una velocidad de enfriamiento de 50 °C/s, se recalentó a una temperatura de partición PT y se mantuvo a la PT de partición durante un tiempo de partición Pt, a continuación se enfrió inmediatamente a temperatura ambiente.

45 **[0038]** Las condiciones de tratamiento térmico y las propiedades obtenidas se informan en la tabla I.

50 **[0039]** En las tablas a continuación, TA es la temperatura de recocido, tA es el tiempo de recocido, QT la temperatura de temple, PT la temperatura de partición, Pt el tiempo de mantenimiento a la temperatura de partición, YS el límite elástico, TS la resistencia a la tracción, UE el alargamiento uniforme, TE el alargamiento total y HER la relación de expansión del orificio medida según la norma ISO.

[0040] En la tabla I y las tablas II-IV a continuación, los números subrayados no son según la invención, y «nd» significa que las propiedades no se determinaron.

Tabla I

Ejemplo	TA (°C)	tA (S)	QT (°C)	PT (°C)	Pt (s)	YS (Mpa)	TS (Mpa)	UE (%)	TE (%)	HER (%)
1			<u>175</u>	400	150	691	1054	12,1	<u>16,9</u>	nd
2			200			694	1062	14,2	21,8	nd
3			225			612	1016	15,4	21,5	31
4			<u>250</u>			594	996	10,5	<u>10,4</u>	nd
5				375		489	996	15,6	21,4	nd

(continuación)

Ejemplo	TA (°C)	tA (S)	QT (°C)	PT (°C)	Pt (s)	YS (Mpa)	TS (Mpa)	UE (%)	TE (%)	HER (%)	
6	820	120	225	400	150	612	1016	15,4	21,5	31	
7				425		526	980	17	21,6	nd	
8				450		440	1011	15,6	20,4	nd	
9			225	400	400	50	520	1030	12,9	<u>15,1</u>	20,6
10						80	601	1035	13,7	<u>18,1</u>	28
11						100	639	1039	16,3	23,5	30,2
12						150	612	1016	15,4	21,5	31

[0041] Para los ejemplos 1-12, la temperatura de recocido fue de 820 °C, lo que condujo a una estructura, después de la etapa de recocido, que consistía en un 65 % de austenita y un 35 % de ferrita intercrítica.

5 **[0042]** Los ejemplos 1 a 4 ilustran la influencia de la temperatura de temple en las propiedades mecánicas obtenidas. Estos ejemplos muestran que cuando la temperatura de temple QT está por debajo o por encima del intervalo Ms - 50 °C - Ms - 5 °C, el alargamiento total TE no alcanza el 20 %.

[0043] Los ejemplos 5 a 8 ilustran las variaciones de las propiedades mecánicas con la temperatura de partición PT, siendo el ejemplo 6 idéntico al ejemplo 3. Estos ejemplos muestran que cuando la temperatura de partición PT está comprendida entre 375 °C y 450 °C, las propiedades mecánicas alcanzan valores específicos.

[0044] En particular, si la temperatura de partición PT está comprendida entre 375 °C y 425 °C, el alargamiento a la tracción TE es incluso superior al 21 % y el límite elástico de más de 450 MPa.

15 **[0045]** Los ejemplos 10 a 12 ilustran la influencia del tiempo de partición Pt en las propiedades mecánicas, para una lámina que no está recubierta por inmersión en caliente. El ejemplo 12 es idéntico a los ejemplos 3 y 6.

[0046] Estos ejemplos muestran que, en ausencia de una etapa de recubrimiento por inmersión en caliente, un tiempo de partición Pt de al menos 100 s permite obtener un límite elástico comprendido entre 440 y 750 MPa, una resistencia a la tracción de más de 980 MPa, un alargamiento total de más del 20 %, incluso superior al 21 %, y una relación de expansión del orificio superior al 20 % e incluso superior al 30 %.

25 **[0047]** Otras muestras de la lámina se trataron térmicamente mediante recocido a una temperatura TA durante un tiempo tA, para obtener una estructura que comprende del 50 % al 80 % de austenita y del 20 % al 50 % de ferrita, templando a una temperatura QT a una velocidad de enfriamiento de 50 °C/s, se recalentó a una temperatura de partición PT, se mantuvo a la PT de partición durante un tiempo de partición Pt, se galvanizó a 430 °C y se enfrió a temperatura ambiente.

30 **[0048]** Las condiciones de tratamiento térmico y las propiedades obtenidas se informan en la tabla II.

[0049] Los ejemplos 13 a 15 ilustran las variaciones de las propiedades mecánicas con la temperatura de partición PT para una lámina galvanizada. Estos ejemplos muestran que, cuando la lámina se galvaniza, una temperatura de partición PT comprendida entre 400 °C y 430 °C permite obtener un alargamiento total TE superior al 20 %, disminuyendo el alargamiento total TE con temperaturas de partición aumentadas.

40 **[0050]** Los ejemplos 16 a 18 ilustran la influencia de la temperatura de temple QT en las propiedades obtenidas, con temperaturas de recocido TA de 820 °C o 840 °C. Estos ejemplos muestran que cuando la temperatura de temple está comprendida entre Ms - 50 °C y Ms - 5 °C, las propiedades mecánicas obtenidas son satisfactorias. Sin embargo, cuando la temperatura de temple QT es superior a Ms - 5 °C, el alargamiento total TE es inferior al 20 %, lo que se debe a la formación de una fracción demasiado baja de martensita.

45 **[0051]** Los ejemplos 19 a 24 ilustran la variación de las propiedades mecánicas obtenidas con la temperatura de partición PT, cuando la temperatura de temple QT es de 200 °C (ejemplos 19 a 21) o de 225 °C (ejemplos 22 a 24). Estos ejemplos muestran que cuando la temperatura de partición PT es demasiado alta, no se obtiene un alargamiento total de más del 20 %.

Tabla II

Ejemplo	TA (°C)	tA (S)	QT (°C)	PT (°C)	Pt (s)	YS (MPa)	TS (MPa)	UE (%)	TE (%)	HER (%)	
13	820	120	225	400	100	459	1054	17,4	22,2	20,3	
14				415		449	1042	17,2	23,6	nd	
15				430		440	1076	17,1	23,2	nd	
16	820	136	200	400	100	450	1061	18	25,4	nd	
17	840		225			470	1076	16,9	23,5	nd	
18	840		<u>250</u>			491	1073	15,7	<u>17,4</u>	nd	
19	800	136	200	400	100	644	1072	16,5	23,3	nd	
20				430		611	1096	16,8	23,3	nd	
21				460		501	1142	13,3	<u>16,8</u>	nd	
22	820	136	225	400	100	605	1068	16,9	23,1	nd	
23				430		618	1100	15,2	20,3	nd	
24				<u>460</u>		645	1176	13,4	<u>19,1</u>	nd	
25	820	85	225	400	62	504	1080	16,9	20,2	nd	
26		172			124	589	1057	16,7	21	nd	

[0052] Los ejemplos 25 y 26 ilustran la variación de las propiedades mecánicas logradas cuando varían el tiempo de recocido t_A y el tiempo de partición Pt. Estos ejemplos muestran que, incluso si las propiedades mecánicas deseadas siempre se obtienen cuando el tiempo de recocido t_A varía y cuando el tiempo de recocido Pt es de al menos 5 50 s, el límite elástico YS y el alargamiento total TE mejoran cuando aumentan el tiempo de recocido t_A y el tiempo de partición Pt.

[0053] Otras muestras de la lámina se trataron térmicamente mediante recocido a una temperatura TA durante un tiempo t_A , para obtener una estructura que comprende del 50 % al 80 % de austenita y del 20 % al 50 % de ferrita, 10 templando a una temperatura QT a una velocidad de enfriamiento de 50 °C/s, se recalentó a una temperatura de partición PT, se mantuvo a la PT de partición durante un tiempo de partición Pt, se galvanizó recoció a diversas temperaturas de galvanizado recocido GAT, a continuación se enfrió a temperatura ambiente.

[0054] Las condiciones de tratamiento térmico y las propiedades obtenidas se informan en la tabla III. 15

Tabla III

Ejemplo	TA (°C)	tA (S)	QT (°C)	PT (°C)	Pt (s)	GAT (°C)	YS (MPa)	TS (MPa)	UE (%)	TE (%)	HER (%)
27	820	120	225	400	50	480	601	1011	15,5	22	23,9
28					100		608	994	17	26,2	27,3
29					50	500	574	1020	15,2	20,5	25,5
30					100		583	998	16,6	24,1	26,8
31					50	<u>520</u>	537	1008	12,8	<u>17,2</u>	nd
32					100		538	985	14,1	<u>19,5</u>	nd

[0055] Estos ejemplos muestran que cuando la temperatura de galvanizado recocido GAT está comprendida entre 480 °C y 515 °C, las propiedades mecánicas específicas se obtienen con un tiempo de partición Pt de 50 s o un 20 tiempo de partición Pt de 100 s. Cuando la temperatura de galvanizado recocido GAT es de 520 °C, el alargamiento total cae por debajo del 20 %.

[0056] Se realizaron pruebas adicionales para estudiar la influencia de la velocidad de la línea en las propiedades mecánicas de la lámina durante la fabricación, es decir, la estabilidad de estas propiedades mecánicas 25 con variaciones de la velocidad de la línea.

[0057] Estas pruebas se realizaron en una línea de recocido continuo que tiene una velocidad de línea mínima de 50 m/min y una velocidad de línea máxima de 120 m/min, con secciones de remojo y partición configuradas para que el tiempo máximo de remojo y el tiempo de partición, alcanzados con la velocidad de línea mínima, sean respectivamente de 188 s y 433 s. El tiempo mínimo de remojo y el tiempo de partición, alcanzados con la velocidad máxima de la línea, son respectivamente 79 s y 188 s.

[0058] Las pruebas se realizaron utilizando las velocidades de línea mínima y máxima, con una temperatura de temple QT de 225 °C y una temperatura de partición PT de 400 °C. Las láminas no estaban recubiertas.

10 **[0059]** Las condiciones de tratamiento térmico y las propiedades obtenidas se informan en la tabla IV.

Tabla IV

Ejemplo	TA (°C)	tA (S)	QT (°C)	PT (°C)	Pt (s)	YS (MPa)	TS (MPa)	UE (%)	TE (%)	HER (%)
33	820	79	225	400	181	604	985	16,2	24,6	23,3
34		188			433	665	994	15,2	21,8	28,2

15 **[0060]** Estas pruebas muestran que la velocidad de la línea tiene poca influencia en la calidad de las propiedades mecánicas obtenidas, por lo que las propiedades específicas se pueden obtener en todo el intervalo de velocidades de la línea. Estos resultados también muestran que el procedimiento de fabricación es muy robusto con respecto a las variaciones de la velocidad de la línea.

20 **[0061]** Se realizaron pruebas adicionales con aceros que tienen las composiciones informadas en la tabla V. En la tabla V, solo se informan los contenidos de C, Mn, Si, Cr, Nb y Al, siendo el resto de las composiciones hierro e impurezas inevitables. Los puntos Ac1, Ac3 y Ms del acero, determinados por experimentos con dilatómetro, también se informan en la tabla V.

Tabla V

Composición n. °	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Nb (%)	Al (%)	Ac1 (°C)	Ac3 (°C)	Ms (°C)
2	0,22	1,9	1,5	0,2	0,03	0,05	770	875	240
3	0,22	1,9	1,0	0,2	0,03	0,05	770	860	230
4	0,22	1,9	1,0	0,2	0,03	0,5	760	915	180

25 **[0062]** Las láminas de acero que tienen estas composiciones se produjeron por laminación en caliente y laminación en frío.

30 **[0063]** Las muestras de estas láminas se trataron térmicamente mediante recocido a una temperatura TA durante un tiempo tA, para obtener una estructura que comprende del 50 % al 80 % de austenita y del 20 % al 50 % de ferrita, templando a una temperatura QT a una velocidad de enfriamiento de 50 °C/s, se recalentó a una temperatura de partición PT, se mantuvo a la PT de partición durante un tiempo de partición Pt, se galvanizó a 430 °C y se enfrió a temperatura ambiente.

35 **[0064]** Las condiciones de tratamiento térmico y las propiedades obtenidas se informan en la tabla VI. En la tabla VI a continuación, «nd» significa que las propiedades no se determinaron.

Tabla VI

Ejemplo	Composición n. °	TA (°C)	tA (S)	QT (°C)	PT (°C)	Pt (s)	YS (MPa)	TS (MPa)	UE (%)	TE (%)	HER (%)
35	2	800	136	200	400	100	472	1074	16,6	20	nd
36	2	820	136	225	400	100	459	1045	16,8	20,6	nd
37	3	800	136	200	400	100	544	1007	18,2	22,4	nd
38	3	800	85	225	400	62	494	989	17,2	21	nd
39	3	800	136	225	400	100	520	987	18,2	21,7	nd
40	3	820	85	225	400	62	578	1035	16,4	20,8	nd
41	4	820	136	150	400	100	606	1019	17,5	22,3	nd

(continuación)

Ejemplo	Composición n.º	TA (°C)	tA (S)	QT (°C)	PT (°C)	Pt (s)	YS (MPa)	TS (MPa)	UE (%)	TE (%)	HER (%)
42	4	900	136	325	400	100	1091	1200	6,4	9,9	nd

[0065] Las muestras 35-41 se produjeron mediante un procedimiento según la invención, y tienen un límite elástico comprendido entre 440 y 750 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 980 MPa y un alargamiento total de al menos el 20 %.

5

[0066] La muestra 42 se templó a una temperatura superior a Ms (Ms = 180 °C), de modo que se pudo estabilizar una fracción insuficiente de austenita durante el reparto. Como consecuencia, la muestra 42 tiene un alargamiento total muy por debajo del 20 %.

10 **[0067]** Otras muestras de la lámina que tienen la composición n.º 4 se trataron térmicamente mediante recocido a una temperatura T_A durante un tiempo t_A, para obtener una estructura que comprende del 50 % al 80 % de austenita y del 20 % al 50 % de ferrita, templando a una temperatura QT a una velocidad de enfriamiento de 50 °C/s, se recalentó a una temperatura de partición PT, se mantuvo a la PT de partición durante un tiempo de partición Pt, se galvanizó recoció a diversas temperaturas de galvanizado recocido GAT, a continuación se enfrió a temperatura ambiente.

15

[0068] Las condiciones de tratamiento térmico y las propiedades obtenidas se informan en la tabla VII.

Tabla VII

Ejemplo	Composición n.º	TA (°C)	tA (S)	QT (°C)	PT (°C)	Pt (s)	GAT (°C)	YS (MPa)	TS (MPa)	UE (%)	TE (%)	HER (%)
43	4	800	136	160	400	100	500	539	1051	15,4	20,5	21
44	4	820						621	1049	15,7	21,4	23
45	4	820						609	1057	12,8	18,9	nd

[0069] Estos ejemplos muestran que cuando la temperatura de galvanizado recocido GAT está comprendida entre 480 °C y 515 °C, se obtienen las propiedades mecánicas específicas. Cuando la temperatura de galvanizado recocido GAT es de 520 °C, el alargamiento total cae por debajo del 20 %.

5 **[0070]** Se realizaron pruebas adicionales para estudiar la influencia de la velocidad de la línea en las propiedades mecánicas de una lámina que tiene la composición n. ° 3 durante la fabricación, es decir, la estabilidad de estas propiedades mecánicas con variaciones de la velocidad de la línea.

10 **[0071]** Estas pruebas se realizaron en una línea de recocido continuo que tiene una velocidad de línea mínima de 50 m/min y una

velocidad de línea máxima de 120 m/min, con secciones de remojo y partición configuradas para que el tiempo máximo de remojo y el tiempo de partición, alcanzados con la velocidad de línea mínima, sean respectivamente de 188 s y 433 s. El tiempo mínimo de remojo y el tiempo de partición, alcanzados con la velocidad máxima de la línea, son respectivamente 79 s y 188 s.

[0072] Las pruebas se realizaron utilizando las velocidades de línea mínima y máxima. Las láminas no estaban recubiertas.

20 **[0073]** Las condiciones de tratamiento térmico y las propiedades obtenidas se informan en la tabla VIII.

Tabla VIII

Ejemplo	Composición n.º	TA (°C)	tA (S)	QT (°C)	PT (°C)	Pt (s)	YS (MPa)	TS (MPa)	UE (%)	TE (%)	HER (%)
46	3	800	79	200	400	181	683	990	16,5	20,2	nd
47	3		188			433	707	955	19,2	23,9	nd

25 **[0074]** Estas pruebas muestran nuevamente que la velocidad de la línea tiene poca influencia en la calidad de las propiedades mecánicas obtenidas, por lo que las propiedades específicas se pueden obtener en todo el intervalo de velocidades de la línea. Estas pruebas también muestran que el procedimiento de fabricación es muy robusto con respecto a las variaciones de la velocidad de la línea.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de producción de una lámina de acero que tiene una microestructura que consiste, en fracción de área, en del 20 % al 50 % de ferrita intercrítica, del 10 % al 20 % de austenita retenida, del 25 % al 45 % de martensita revenida, del 10 % al 20 % de martensita fresca y bainita, estando comprendida la suma de martensita revenida y bainita entre el 30 % y el 60 %, en el que el procedimiento comprende las siguientes etapas sucesivas:
- proporcionar una lámina de acero laminada en frío, conteniendo la composición química del acero en % en peso:
- 10 0,19 % \leq C \leq 0,22 %,
 0,9 % \leq Si \leq 1,7 %
 0,02 % \leq Al \leq 1,0 %,
 con 1,0 % \leq Si+Al \leq 2,35 %,

 15 1,5 % \leq Mn \leq 2,5 %,

 0,010 % \leq Nb \leq 0,035 %,

 0,10 % \leq Cr \leq 0,40 %,

 siendo el resto Fe e impurezas inevitables, que incluyen menos del 0,05 % de Ni, menos del 0,02 % de Mo, menos del 0,03 % de Cu, menos del 0,007 % de V, menos del 0,0010 % de B, menos del 0,005 % de S, menos del 0,02 % de P y menos del 0,010 % de N,
- 20 - recocer la lámina de acero a una temperatura de recocido T_A comprendida entre 780 °C y 840 °C y durante un tiempo de recocido t_A para obtener una estructura que comprende del 50 % al 80 % de austenita y del 20 % al 50 % de ferrita, calentándose la lámina a la temperatura de recocido T_A a una velocidad de calentamiento de al menos 3 °C/s,
- 25 - templar la lámina a una velocidad de enfriamiento comprendida entre 20 °C/s y 50 °C/s hasta una temperatura de temple QT comprendida entre $M_s - 50$ °C y $M_s - 5$ °C,
 - calentar la lámina hasta una temperatura de partición PT comprendida entre 375 °C y 450 °C y mantener la lámina a la temperatura de partición PT durante un tiempo de partición P_t de al menos 50 s,
 - enfriar la lámina hasta la temperatura ambiente.
- 30 2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la lámina de acero tiene, justo después del temple, una estructura que consiste, en fracción de área, en al menos el 20 % de austenita, entre el 30 % y el 60 % de martensita y del 20 % y el 50 % de ferrita.
- 35 3. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la composición del acero es tal que 1,25 % \leq Si + Al \leq 2,35 %.
- 40 4. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además, entre la etapa de mantener la lámina a la temperatura de partición PT y la etapa de enfriar la lámina a la temperatura ambiente, una etapa de recubrimiento por inmersión en caliente de la lámina.
- 50 5. El procedimiento según la reivindicación 4, en el que la temperatura de partición PT está comprendida entre 400 °C y 430 °C.
- 45 6. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 4 o 5, en el que el tiempo de partición P_t está comprendido entre 50 s y 150 s.
- 50 7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en el que la etapa de recubrimiento por inmersión en caliente es una etapa de galvanizado.
- 50 8. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en el que la etapa de recubrimiento por inmersión en caliente es una etapa de galvanizado recocido, con una temperatura de aleación GAT comprendida entre 480 °C y 515 °C.
- 55 9. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que el tiempo de partición P_t está comprendido entre 50 s y 140 s.
- 60 10. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la etapa de enfriar la lámina hasta la temperatura ambiente se realiza inmediatamente después de la etapa de mantener la lámina a la temperatura de partición PT durante el tiempo de partición P_t , y en el que el tiempo de partición P_t es de al menos 100 s.
11. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que la lámina se enfría hasta la temperatura ambiente a una velocidad de enfriamiento de al menos 10 °C/s.
- 65 12. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que, después de que la lámina

se temple a la temperatura de templado

QT, y antes de que la lámina se caliente a la temperatura de partición PT, la lámina se mantiene a la temperatura de temple QT durante un tiempo de mantenimiento comprendido entre 2 s y 8 s, preferentemente entre 3 s y 7 s.

- 5 13. Una lámina de acero, que tiene una composición química que comprende, en % en peso:
- 10 0,19 % \leq C \leq 0,22 %,
 0,9 % \leq Si \leq 1,7 %
 0,02 % \leq Al \leq 1,0 %,
 con 1,0 % \leq Si+Al \leq 2,35 %,
 1,5 % \leq Mn \leq 2,5 %,
 0,010 % \leq Nb \leq 0,035 %,
 0,10 % \leq Cr \leq 0,40 %,
- 15 siendo el resto Fe e impurezas inevitables, que incluye menos del 0,05 % de Ni, menos del 0,02 % de Mo, menos del 0,03 % de Cu, menos del 0,007 % de V, menos del 0,0010 % de B, menos del 0,005 % de S, menos del 0,02 % de P y menos del 0,010 % de N, en el que la microestructura del acero consiste, en fracción de área, en:
- 20 - del 20 % al 50 % de ferrita intercrítica,
 - del 10 % al 20 % de austenita retenida,
 - del 25 % al 45 % de martensita revenida,
 - bainita, estando comprendida la suma de martensita revenida y bainita entre el 30 % y el 60 %,
 - del 10 % al 20 % de martensita fresca.
- 25 14. La lámina de acero según la reivindicación 13, que tiene un límite elástico comprendido entre 440 y 750 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 980 MPa, un alargamiento uniforme de al menos el 20 % y una relación de expansión del orificio HER de al menos el 20 %.
15. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 13 o 14, en la que la composición del acero es tal que 1,25 % \leq Si + Al \leq 2,35 %.
- 30 16. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, en la que el contenido de C C_{RA} % en la austenita retenida, está comprendido entre el 0,9 % y el 1,3 %.
- 35 17. Lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 16, en la que la lámina de acero está recubierta.
18. Lámina de acero según la reivindicación 17, en la que la lámina de acero está recubierta con Zn o aleación de Zn.
- 40 19. Lámina de acero según la reivindicación 17, en la que el acero está recubierto con Al o una aleación de Al.
20. Lámina de acero según la reivindicación 18, en la que la lámina de acero está galvanizada.
- 45 21. Lámina de acero según la reivindicación 18, en la que la lámina de acero está galvanizada recocida.