

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 925 056**

51 Int. Cl.:

<b>C21D 8/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)
<b>C21D 8/04</b>	(2006.01)	<b>C23C 14/00</b>	(2006.01)
<b>C25D 7/06</b>	(2006.01)	<b>C23C 30/00</b>	(2006.01)
<b>C21D 6/00</b>	(2006.01)		
<b>C22C 30/00</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 38/02</b>	(2006.01)		
<b>C23C 4/06</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.05.2017 PCT/IB2017/000615**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **30.11.2017 WO17203345**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.05.2017 E 17728257 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.07.2022 EP 3464664**

54 Título: **Lámina de acero laminada en frío y recocida, procedimiento de producción de la misma y uso de dicho acero para producir piezas de vehículos**

30 Prioridad:  
**24.05.2016 WO PCT/IB2016/000696**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**13.10.2022**

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

72 Inventor/es:  
**ZUAZO RODRIGUEZ, IAN ALBERTO;  
DE DIEGO CALDERON, IRÈNE y  
GARAT, XAVIER**

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

ES 2 925 056 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

Lámina de acero laminada en frío y recocida, procedimiento de producción de la misma y uso de dicho acero para producir piezas de vehículos

5

**[0001]** La presente invención trata de una lámina de acero de baja densidad que presenta una microestructura que comprende principalmente austenita. La lámina de acero según la invención es particularmente adecuada para la fabricación de piezas de seguridad o estructurales para vehículos tales como vehículos terrestres de motor.

10 **[0002]** Las restricciones medioambientales están obligando a los fabricantes de automóviles a reducir continuamente las emisiones de CO<sub>2</sub> de sus vehículos. Para ello, los fabricantes de automóviles tienen varias opciones, conforme las cuales las principales opciones son reducir el peso de los vehículos o mejorar la eficiencia de sus sistemas de motor. Con frecuencia, los avances se logran mediante una combinación de las dos estrategias. Esta invención se refiere a la primera opción, a saber, la reducción del peso de los vehículos de motor. En este campo muy

15 específico, hay una alternativa de dos vías:

La primera vía consiste en reducir los espesores de los aceros a la vez que se incrementan sus niveles de resistencia mecánica. Desafortunadamente, esta solución tiene sus límites debido a una disminución prohibitiva de la rigidez de determinadas piezas del automóvil y la aparición de problemas acústicos que crean condiciones incómodas para el pasajero, sin mencionar la inevitable pérdida de ductilidad asociada con el aumento de la resistencia mecánica.

20

**[0003]** La segunda vía consiste en reducir la densidad de los aceros aleándolos con otros metales más ligeros. Entre estas aleaciones, las de baja densidad tienen atractivas propiedades mecánicas y físicas, al tiempo que permiten reducir significativamente el peso.

25 **[0004]** En particular, el documento US 2003/0145911 describe un acero ligero de Fe-Al-Mn-Si que tiene buena conformabilidad y alta resistencia. Sin embargo, la resistencia última a la tracción de tales aceros no va más allá de 800 MPa, lo que no permite aprovechar al máximo su baja densidad para piezas de todo tipo de geometría.

30 **[0005]** El documento <WO 2015/099221 describe una lámina de acero que tiene alta resistencia y baja densidad caracterizada porque un compuesto intermetálico a base de Fe-Al que tiene un diámetro de partícula promedio de 20 μm o menos se dispersa homogéneamente en una matriz de austenita, la fracción de volumen del compuesto intermetálico a base de Fe-Al es del 1 al 50 % y la fracción de volumen de carburo de κ ((Fe,Mn)<sub>3</sub>AlC) que es un carburo de perovskita y tiene una estructura L12 es del 15 % o menos.

35 **[0006]** El artículo "New Methods in Steel Design" ("Nuevos procedimientos en el diseño de acero"). W. Bleck, IEHK Steel Institute, RWTH Aachen University, describe una aleación de Fe-30Mn-8Al-1.2C que puede incluir carburos kappa formados durante el envejecimiento a 600 °C con una duración de al menos 15 minutos.

40 **[0007]** El objeto de la invención por lo tanto es proporcionar una lámina de acero que presente una densidad por debajo de 7,2, una resistencia última a la tracción de al menos 1300 MPa, un límite elástico de al menos 1200 MPa y un alargamiento por tracción de al menos un 5 %. En una realización preferida de la invención, la lámina de acero según la invención presenta una densidad igual o inferior a 7,1 o incluso igual o inferior a 7,0, una resistencia última a la tracción de al menos 1400 MPa, un límite elástico de al menos 1300 MPa y un alargamiento por tracción de al menos el 6 %.

45

**[0008]** Este objeto se logra proporcionando una lámina de acero según la reivindicación 1. La lámina de acero también puede comprender las características de las reivindicaciones 2 a 5. Otro objeto se logra proporcionando el procedimiento según las reivindicaciones 6 a 9. Otro aspecto se logra proporcionando piezas o vehículos según la reivindicación 10.

50

**[0009]** Otras características y ventajas de la invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de la invención.

55 **[0010]** Sin querer limitarse a ninguna teoría, parece que la lámina de acero de baja densidad según la invención permite una mejora de las propiedades mecánicas gracias a esta microestructura específica.

60 **[0011]** En cuanto a la composición química del acero, el carbono juega un papel importante en la formación de la microestructura y el logro de las propiedades mecánicas deseadas. Su función principal es estabilizar la austenita, que es la fase principal de la microestructura del acero, así como proporcionar fortalecimiento. El contenido de carbono inferior al 0,6 % disminuirá la proporción de austenita, lo que conduce a la disminución tanto de la ductilidad como de la resistencia de la aleación.

65 **[0012]** Como un elemento constituyente principal del carburo kappa intragranular (Fe,Mn)<sub>3</sub>AlC<sub>x</sub>, el carbono promueve la precipitación de tales carburos. Sin embargo, un contenido de carbono superior al 1,3 % puede promover la precipitación de tales carburos de manera gruesa en los límites de grano, lo que resulta en la disminución de la ductilidad de la aleación.

**[0013]** Preferentemente, el contenido de carbono está entre el 0,80 y el 1,3 %, más preferentemente entre el 0,8 y el 1,0 % en peso para obtener una resistencia suficiente.

5 **[0014]** El manganeso es un elemento de aleación importante en este sistema, principalmente debido al hecho de que la aleación con cantidades muy altas de manganeso y carbono estabiliza la austenita hasta la temperatura ambiente, que a continuación puede tolerar altas cantidades de aluminio sin desestabilizarse y transformarse en ferrita o martensita. Su cantidad está entre el 18 y el 30 % e incluso entre el 18 y el 25 %.

10 **[0015]** La adición de aluminio a los aceros austeníticos con alto contenido de manganeso disminuye eficazmente la densidad de la aleación. Además, aumenta considerablemente la energía de falla de apilamiento (SFE) de la austenita, lo que conduce a su vez a un cambio en el comportamiento de endurecimiento por deformación de la aleación. El aluminio es también uno de los elementos primarios del kappacarburo de tamaño nanométrico  $(\text{Fe,Mn})_3\text{AlC}_x$  y, por lo tanto, su adición mejora significativamente la formación de tales carburos. La concentración de aluminio de las aleaciones actuales debería ajustarse, por un lado, para garantizar la estabilidad de la austenita y la precipitación de carburos kappa, y por otro para controlar la formación de ferrita. Por lo tanto, el contenido de aluminio debería controlarse para que esté entre el 7 y el 12 % y preferentemente entre el 8 y el 10 %.

**[0016]** El silicio es un elemento de aleación común para aceros con alto contenido de manganeso y aluminio. 20 Tiene un efecto muy fuerte en la formación de ferrita ordenada  $\text{DO}_3$ . Además, se ha demostrado que el silicio mejora la actividad del carbono en la austenita y aumenta la partición del carbono en los carburos kappa. Además, el silicio se ha descrito como un elemento de aleación eficaz que se puede usar para retrasar o prevenir la precipitación de la fase  $\beta\text{-Mn}$  quebradiza. Sin embargo, reduce el alargamiento y tiende a formar óxidos indeseables durante determinados procedimientos de ensamblaje y, por lo tanto, debe mantenerse por debajo del 2,0 % y, ventajosamente, 25 por debajo de 1,0

**[0017]** El azufre y el fósforo son impurezas que fragilizan los límites del grano. Sus respectivos contenidos no deben exceder el 0,03 y el 0,1 % para mantener suficiente ductilidad en caliente.

30 **[0018]** El contenido de nitrógeno debe ser del 0,1 % o menos para evitar la precipitación de  $\text{AlN}$  y la formación de defectos de volumen (sopladuras) durante la solidificación.

**[0019]** El níquel tiene un efecto positivo en la penetración del hidrógeno en el acero y, por lo tanto, se puede utilizar como una barrera de difusión al hidrógeno. El níquel también se puede utilizar como un elemento de aleación 35 eficaz porque promueve la formación de compuestos ordenados en ferrita, tales como el componente B2, lo que conduce a un fortalecimiento adicional. Sin embargo, es deseable, entre otras por razones de coste, limitar la adición de níquel a un contenido máximo del 4,0 % o menos y preferentemente entre el 0,1 y el 2,0 %. En otra realización, la cantidad de níquel es inferior al 0,1 %.

40 **[0020]** El cromo se puede usar como elemento opcional para aumentar la resistencia del acero mediante el endurecimiento de la solución. También mejora la resistencia a la corrosión a alta temperatura de los aceros según la invención. Sin embargo, dado que el cromo reduce la energía de falla de apilamiento, su contenido no debe exceder el 3,0 % y preferentemente entre el 0,1 % y el 2,0 %, o entre el 0,1 y el 1,0 %. En otra realización, la cantidad de cromo es inferior al 0,1 %.

45 **[0021]** Del mismo modo, opcionalmente, una adición de cobre con un contenido que no excede del 3,0 % es un medio para endurecer el acero por precipitación de precipitados ricos en cobre. Sin embargo, por encima de este contenido, el cobre es responsable de la aparición de defectos superficiales en láminas laminadas en caliente. Preferentemente, la cantidad de cobre está entre el 0,1 y el 2,0 %, o entre el 0,1 y el 1,0 %. En otra realización, la 50 cantidad de cromo es inferior al 0,1 %.

**[0022]** El boro tiene una solubilidad sólida muy baja y una fuerte tendencia a segregarse en los límites de grano, interactuando fuertemente con las imperfecciones de la red. Por lo tanto, el boro se puede usar para limitar la precipitación de carburos kappa intergranulares. Preferentemente, la cantidad de boro es inferior al 0,1 %.

55 **[0023]** El niobio puede aumentar simultáneamente la resistencia y la tenacidad en el acero, ya que es un refinador de grano eficaz. Además, el tantalio, el circonio, el niobio, el vanadio, el titanio, el molibdeno y el tungsteno también son elementos que pueden utilizarse opcionalmente para lograr el endurecimiento y el fortalecimiento mediante precipitación de nitruros, carbonitruros o carburos. Sin embargo, cuando su cantidad acumulada es superior 60 al 2,0 %, preferentemente superior al 1,0 %, existe el riesgo de que una precipitación excesiva pueda causar una reducción de la tenacidad, que debe evitarse.

**[0024]** La microestructura de la lámina de acero según la invención comprende al menos el 0,1 % de carburos kappa, opcionalmente hasta el 10 % de ferrita granular, siendo el resto de austenita.

65 **[0025]** La matriz austenítica presenta un tamaño de grano promedio inferior a 6  $\mu\text{m}$  y preferentemente inferior

a 4  $\mu\text{m}$ , más preferentemente inferior a 3  $\mu\text{m}$  y tiene una relación de aspecto promedio entre 2 y 10, preferentemente entre 2,0 y 6,0, o incluso entre 2,0 y 4,0.

5 **[0026]** Los carburos kappa  $(\text{Fe,Mn})_3\text{AlC}_x$  están presentes en la microestructura de la lámina de acero según la invención, con una cantidad mínima del 0,1 % en fracción de área, preferentemente del 0,5 %, más preferentemente del 1,0 % y ventajosamente de más del 3 %. Al menos el 80 % de tales carburos kappa tienen un tamaño promedio inferior a 30 nm, preferentemente inferior a 20 nm, más preferentemente inferior a 15 nm, ventajosamente inferior a 10 nm o incluso inferior a 5 nm. Precipitan dentro de los granos austeníticos (los llamados carburos kappa intragranulares). La precipitación homogénea y coherente del carburo kappa de tamaño nanométrico aumenta la  
10 resistencia de la aleación. La presencia de carburos kappa intergranulares no se admite, ya que tales carburos kappa gruesos intergranulares pueden causar una disminución en la ductilidad del acero.

**[0027]** La ferrita también puede estar presente en la microestructura de la lámina según la invención hasta una cantidad del 10,0 % en fracción de área, preferentemente hasta el 5,0 % o más, preferentemente hasta el 3,0 %. Sin  
15 embargo, la morfología de la ferrita se limita a una geometría granular, excluyendo la ferrita en forma de bandas, ya que degradan drásticamente la ductilidad y la conformabilidad del acero. Cuando están presentes, los granos ferríticos tienen un tamaño de grano promedio inferior a 5  $\mu\text{m}$  y preferentemente inferior a 1  $\mu\text{m}$ . La relación de aspecto promedio de la ferrita, cuando está presente, es inferior a 3,0 y preferentemente inferior a 2,5. Tal ferrita puede estar bajo la forma de ferrita desordenada regular  $\alpha$  u ordenada como una estructura B2 con una composición de  $(\text{Fe,Mn})\text{Al}$  o  
20 también es posible como una estructura  $\text{D0}_3$  con una composición de  $(\text{Fe,Mn})_3\text{Al}$ , de modo que se puedan observar estructuras  $\alpha$ , B2 y  $\text{D0}_3$ , en general, en el acero según la invención.

**[0028]** Para proteger la lámina de acero según la invención de la corrosión, en una realización preferida de la invención, la lámina de acero está cubierta por un recubrimiento metálico. El recubrimiento metálico puede ser un  
25 recubrimiento a base de aluminio o un recubrimiento a base de zinc.

**[0029]** Preferentemente, el recubrimiento a base de aluminio comprende menos del 15 % de Si, menos del 5,0 % de Fe, opcionalmente del 0,1 al 8,0 % de Mg y opcionalmente del 0,1 al 30,0 % de Zn, siendo el resto Al.

30 **[0030]** Ventajosamente, el recubrimiento a base de zinc comprende 0,01-8,0 % de Al, opcionalmente 0,2-8,0 % de Mg, siendo el resto Zn.

**[0031]** La lámina de acero según la reivindicación 1 se puede producir con el procedimiento de la invención como se define en la reivindicación 6.  
35

**[0032]** Las láminas de acero según la presente invención se producen preferentemente a través de un procedimiento en el que se funde un semiproducto, tal como desbastes planos, desbastes planos delgados o tira hecha de un acero según la presente invención que tiene la composición descrita anteriormente, el material de entrada fundido se calienta a una temperatura superior a 1000 °C, preferentemente superior a 1050 °C y más preferentemente  
40 superior a 1100 °C o 1150 °C o se utiliza directamente a tal temperatura después de la fundición, sin enfriamiento intermedio.

**[0033]** La etapa de laminación en caliente se realiza a una temperatura superior a 800 °C. Para evitar cualquier problema de agrietamiento por falta de ductilidad por la formación de ferrita en bandas, la temperatura final de  
45 laminación es preferentemente superior o igual a 850 °C.

**[0034]** Tras la laminación en caliente, la tira debe ser bobinada a una temperatura inferior a 600 °C y preferentemente superior a 350 °C. En una realización preferida de la invención, el bobinado se realiza entre 350 y  
50 450 °C para evitar una excesiva precipitación de carburos kappa.

**[0035]** Un producto laminado en caliente obtenido por el procedimiento descrito anteriormente se lamina en frío después de que se haya realizado una posible operación previa de decapado de la manera habitual.

**[0036]** La primera etapa de laminación en frío se realiza con una tasa de reducción entre el 30 y el 80 %, preferentemente entre el 50 y el 70 %.  
55

**[0037]** Después de esta etapa de laminación, se realiza un primer recocido calentando la lámina hasta una temperatura de recocido comprendida entre 700 y 1000 °C, manteniéndola a tal temperatura durante menos de 5 minutos y enfriándola a una velocidad de al menos 30 °C/s, más preferentemente de al menos 50 °C/s y aún más preferentemente de al menos 70 °C/s. Preferentemente, este recocido se lleva a cabo de forma continua.  
60

**[0038]** Controlando la temperatura y el tiempo de recocido, se puede obtener una estructura totalmente austenítica o una estructura bifásica con las características anteriores.

65 **[0039]** Después de esta primera etapa de recocido, se realizó el pretensado de los materiales por medio de una segunda etapa de laminación en frío con una tasa de reducción entre el 10 y el 50 %, preferentemente entre el 15

% y el 40 %. La lámina de acero puede tener una mayor resistencia a través del endurecimiento por deformación al someterse a esta segunda etapa de laminación en frío.

5 **[0040]** Después de esta segunda etapa de laminación, se realiza un segundo recocido calentando la lámina hasta una temperatura de recocido comprendida entre 400 y 700 °C, manteniéndola a tal temperatura entre 2 y 10 horas y enfriándola a una velocidad de al menos 30 °C/s, más preferentemente de al menos 50 °C/s y aún más preferentemente de al menos 70 °C/s. Preferentemente, este recocido se lleva a cabo de forma continua. Durante este segundo recocido se obtiene un compromiso entre la resistencia ultra alta y la conformabilidad a través de la precipitación de carburo kappa intragranular y la recuperación parcial del material.

10 **[0041]** Después de esas dos etapas de recocido, la lámina de acero puede ser sometida opcionalmente a una operación de recubrimiento metálico para mejorar su protección contra la corrosión. El procedimiento de recubrimiento utilizado puede ser cualquier procedimiento adaptado al acero de la invención. Se puede citar la deposición electrolítica o física en fase vapor, con un énfasis particular en la deposición de chorro en fase vapor. El recubrimiento metálico  
15 puede estar basado en zinc o en aluminio, por ejemplo.

Ejemplos

20 **[0042]** Cinco calidades, cuyas composiciones se recogen en la tabla 1, se fundieron en desbastes planos y se procesaron siguiendo los parámetros del procedimiento recogidos en la tabla 2. Los valores o resultados subrayados representan valores fuera del alcance de las reivindicaciones 1 y 6.

Tabla 1 - Composiciones

Calidad	C	Mn	Al	Si	S	P	N
A	0,887	24,90	8,70	0,217	0,004	0,025	0,0017
B	0,920	28,88	9,37	0,035	0,007	0,011	0,0009
C	0,955	19,90	5,72	0,050	0,005	0,007	0,0068
D	0,900	19,65	8,32	0,045	0,010	0,010	0,005
E	0,750	29,89	9,48	0,035	0,008	0,011	0,003

ES 2 925 056 T3

Tabla 2 - Parámetros del procedimiento

Ensayo	Calidad	T de recalentamiento (°C)	T de acabado de laminación en caliente (°C)	Velocidad de enfriamiento (°C/s)	T de bobinado (°C)	1ª reducción de laminación en frío (%)	
1	A	1170	890	75	400	58	
2	A	1170	890	75	400	58	
3	B	1170	985	75	400	64	
4	B	1170	985	75	400	64	
5	C	1170	1000	75	400	58	
6	C	1170	1000	75	400	58	
7	A	1170	890	75	400	58	
8	D	1170	990	70	400	63	
9	D	1170	990	70	400	63	
10	E	1170	980	80	400	60	
11	E	1170	980	80	400	60	
Ensayo	Primer recocido			2a reducción de laminación en frío (%)	Segundo recocido		
	T (°C)	Tiempo de retención (min)	Velocidad de enfriamiento (°C/s)		T (°C)	Tiempo de retención (h)	Velocidad de enfriamiento (°C/s)
1	850	3	80	30	550	3	80
2	850	3	80	30	550	6	80
3	875	3	80	20	550	3	80
4	875	3	80	20	550	6	80
5	830	3	80	20	500	3	80
6	830	3	80	20	500	6	80
7	850	3	80	30	-	-	-
8	850	10	355	20	450	10	0,3
9	850	3	355	10	450	3	355
10	975	3	55	20	450	3	355
11	850	3	355	20	400	170	355

**[0043]** A continuación, las muestras resultantes se analizaron y los elementos de microestructura y propiedades mecánicas correspondientes se recogieron respectivamente en las tablas 3 y 4.

Tabla 3 - Microestructura

Ensayo	Austenita (%)	Ferrita (%)	Forma de ferrita	Carburos kappa	Tamaño de grano de la austenita (µm)	Relación de aspecto de austenita	Tamaño de grano de la ferrita (µm)	Aspecto de la ferrita relación
1	95	5	granular	Sí	1,6	3,3	0,47	1,95
2	95	5	granular	Sí	1,6	3,3	0,47	1,95
3	100	0	-	Sí	<6	<6	-	-
4	100	0	-	Sí	<6	<6	-	-
5	100	0	-	No	<6	<6	-	-
6	100	0	-	No	<6	<6	-	-
7	95	5	granular	No	1,6	3,3	0,47	1,95
8	88	12	granular	Sí	1,15	2,7	0,35	1,83
9	93	7	granular	Sí	1,70	2,2	0,45	1,95
10	97,4	2,6	granular	Sí	2,05	2,25	0,65	2,40
11	97,4	2,6	granular	Sí	2,00	2,3	0,65	2,25

5 **[0044]** Ninguna muestra mostró presencia de carburos Kappa intergranulares ni de fase  $\beta$ -Mn, excepto las muestras 8 y 11. Las cantidades de carburos kappa de los ensayos 1 a 4 fueron superiores al 0,1 %, mientras que fueron inferiores al 0,1 % para los ensayos 5, 6 y 7. Más del 80 % de los carburos kappa de los ensayos 1 a 4 y 9 y 10 tenían un tamaño de grano promedio inferior a 20 nm.

Tabla 4 - Propiedades

Ensayo	Densidad	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite elástico (MPa)	Alargamiento por tracción (MPa)
1	6,81	1598	1489	6,1
2	6,81	1609	1522	9,2
3	6,75	1442	1354	14,1
4	6,75	1485	1377	10,8
5 —	7,31	1239	1099	20,4
6 —	7,31	1248	1108	20,9
7	6,81	1508	1392	1,9
8	6,86	1695	1660	1,4
9	6,86	1349	1278	17,8
10	6,72	1329	1262	15,9
11	6,72	1300	1195	15,8

10

**[0045]** Los ejemplos muestran que las láminas de acero según la invención, son las únicas que muestran todas las propiedades deseadas gracias a su composición y microestructuras específicas.

## REIVINDICACIONES

1. Una lámina de acero laminada en frío y recocida que comprende, en peso:
- 5  $0,6 < C < 1,3 \%$ ,  
 $18 \leq Mn < 30 \%$ ,  
 $7 \leq Al < 12 \%$ ,  
 $Si \leq 2,0 \%$   
 $S \leq 0,015 \%$ ,
- 10  $P \leq 0,1 \%$ ,  
 $N \leq 0,1\%$ ,
- posiblemente uno o más elementos opcionales elegidos de entre Ni, Cr y Cu en una cantidad individual de hasta el 3 % y posiblemente uno o más elementos elegidos de entre B, Ta, Zr, Nb, V, Ti, Mo y W en una cantidad acumulada de hasta el 2,0 %, siendo el resto de la composición hierro e impurezas inevitables resultantes de la elaboración, comprendiendo la microestructura de dicha lámina al menos el 0,1 % de carburos kappa intragranulares, donde al menos el 80 % de dichos carburos kappa tienen un tamaño promedio inferior a 30 nm, opcionalmente hasta el 10 % de ferrita granular, siendo el resto de austenita, siendo el tamaño de grano promedio y la relación de aspecto promedio de la austenita, respectivamente, inferior a 6  $\mu\text{m}$  y comprendida entre 2 y 10 y siendo el tamaño de grano promedio y la relación de aspecto promedio de la ferrita, cuando está presente, respectivamente, inferior a 5  $\mu\text{m}$  e inferior a 3,0, siendo la densidad de dicha lámina de acero igual o inferior a 7,2 y siendo su alargamiento por tracción de al menos el 5,0 %, teniendo dicha lámina de acero una resistencia última a la tracción de al menos 1300 MPa y un límite elástico de al menos 1200 MPa, donde la microestructura y la resistencia se miden según la descripción.
- 15
- 20
- 25 2. Una lámina de acero según la reivindicación 1, donde el contenido de carbono está comprendido entre el 0,8 y el 1,0 %.
3. Una lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, donde el contenido de aluminio está comprendido entre el 8,5 y el 10 %.
- 30
4. Una lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, donde la lámina de acero está cubierta por un recubrimiento metálico.
5. Una lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde la lámina de acero está cubierta por un recubrimiento a base de aluminio o un recubrimiento a base de zinc.
- 35
6. Un procedimiento para producir una lámina de acero laminada en frío y recocida según la reivindicación 1, que comprende las siguientes etapas:
- 40 - la alimentación de un desbaste plano cuya composición es según las reivindicaciones 1 a 3  
- el recalentamiento de tal desbaste plano a una temperatura superior a 1000 °C y su laminación en caliente con una temperatura de laminación final de al menos 800 °C,  
- el bobinado de la lámina de acero laminada en caliente por debajo de 600 °C,  
- una primera laminación en frío de tal lámina de acero laminada en caliente a una reducción comprendida entre el 30 y el 80 %,
- 45 - un primer recocido de tal lámina laminada en frío calentándola hasta una temperatura de recocido comprendida entre 700 y 1000 °C, manteniéndola a tal temperatura durante menos de 5 minutos y enfriándola a una velocidad de al menos 30 °C/s,  
- una segunda laminación en frío de tal lámina de acero recocida a una reducción comprendida entre el 10 y el 50 %,
- 50 - un segundo recocido de tal lámina fría calentándola hasta una temperatura de recocido comprendida entre 400 y 700 °C, manteniéndola a tal temperatura entre 2 y 10 horas y enfriándola a una velocidad de al menos 30 °C/s.
7. Un procedimiento según la reivindicación 6, donde la temperatura del primer recocido está comprendida entre 800 y 950 °C.
- 55
8. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, donde la temperatura de bobinado está comprendida entre 350 y 500 °C.
9. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, que comprende además una etapa de recubrimiento final.
- 60
10. Uso de una lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 para la fabricación de una pieza estructural o de seguridad de un vehículo.
- 65