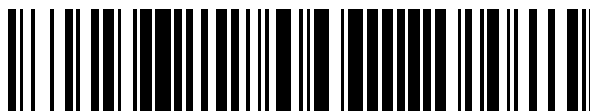


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 780 927**

51 Int. Cl.:

<b>C21D 6/00</b>	(2006.01)	<b>C23C 2/06</b>	(2006.01)
<b>C21D 9/46</b>	(2006.01)		
<b>C21D 8/02</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/06</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/12</b>	(2006.01)		
<b>C23C 2/28</b>	(2006.01)		
<b>C23C 2/40</b>	(2006.01)		
<b>C23C 2/02</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.12.2016 PCT/EP2016/082195**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **29.06.2017 WO17108959**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2016 E 16825741 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2020 EP 3394297**

54 Título: **Procedimiento para producir una lámina de acero recubierta de alta resistencia que tiene ductilidad y formabilidad mejoradas, y lámina de acero recubierta obtenida**

30 Prioridad:  
**21.12.2015 WO PCT/IB2015/059840**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**27.08.2020**

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

72 Inventor/es:  
**GOSPODINOVA, MAYA y  
HEBERT, VÉRONIQUE**

74 Agente/Representante:  
**SALVÀ FERRER, Joan**

ES 2 780 927 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 para producir una lámina de acero recubierta de alta resistencia que tiene ductilidad y formabilidad mejoradas, y lámina de acero recubierta obtenida

5

**[0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento para producir una lámina de acero recubierta de alta resistencia que tiene ductilidad y formabilidad mejoradas y a una lámina recubierta obtenida con este procedimiento.

10 **[0002]** Para fabricar diversos equipos, tales como piezas de elementos estructurales de la carrocería y paneles de la carrocería para vehículos automóviles, es habitual usar láminas hechas de aceros DP (fase dual) o aceros TRIP (plasticidad inducida por transformación). El documento EP2436794 divulga una lámina de acero de alta resistencia que se puede usar como lámina de acero para automóviles y aviones de transporte, y más específicamente una lámina de acero que tiene una resistencia a la tracción de 1180 MPa o más, y un procedimiento para producir dicha lámina  
15 de acero de alta resistencia.

**[0003]** También se conoce el uso de aceros que tienen una estructura bainítica, libre de precipitados de carburos, con austenita retenida, que contiene 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  $Ac_3$ , a una temperatura de mantenimiento por encima del punto de transformación Ms, y manteniendo la lámina a la temperatura durante un tiempo determinado. Algunas de estas láminas están recubiertas con un recubrimiento metálico tal como la galvanización o la galvanización y recocido.

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 una resistencia a la tracción mejorados. Pero dichas láminas también deben tener una buena ductilidad y una buena formabilidad y, más específicamente, una buena expandibilidad.

30

**[0005]** A este respecto, es deseable tener láminas de acero recubiertas que tengan una resistencia a la tracción RT de al menos 1100 MPa, un alargamiento total AT de al menos el 12 %, preferiblemente de al menos el 13 %, de tal forma que el producto de la resistencia a la tracción y el alargamiento total sea superior o igual al 14200 % en MPa, y una relación de expansión de agujero HER de al menos el 25 % y preferiblemente de al menos el 30 %. La resistencia a la tracción RT y el alargamiento total AT 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 medida, en particular debido a las diferencias en las geometrías de la muestra utilizada, los valores del alargamiento total AT según el estándar ISO son muy diferentes, en particular e inferiores a los valores del alargamiento total según el estándar JIS Z 2201-05. La relación de expansión de agujero HER se mide según la norma ISO 16630: 2009. Debido a las diferencias en los procedimientos de medición, los valores de la relación de expansión de agujero HER según la norma ISO 16630: 2009 son muy diferentes y no son comparables con los valores de la relación de expansión de agujero  $\lambda$  según la norma JFS T 1001 (Norma de la Federación de hierro y acero de Japón).

35

**[0006]** También es deseable tener láminas de acero que tengan las propiedades mecánicas que se han mencionado anteriormente, en un intervalo de grosor de 0,7 a 3 mm, y más preferiblemente en el intervalo de 1 a 2 mm.

45

**[0007]** Por lo tanto, la presente invención tiene como objetivo proporcionar una lámina de acero recubierta con las propiedades mecánicas mencionadas anteriormente y un procedimiento para producirla.

50

**[0008]** Para este fin, la invención se refiere a un procedimiento para producir una lámina de acero recubierta que tiene una resistencia a la tracción RT de al menos 1100 MPa, un alargamiento total AT según la norma ISO 6892-1 de al menos el 12%, siendo el producto  $RT \times AT$  de la resistencia a la tracción por el alargamiento total al menos el 14200 % en MPa, y una relación de expansión de agujero HER según la norma ISO 16630:2009 de al menos el 25 %, en el que el procedimiento comprende las siguientes etapas sucesivas:

55

- proporcionar una lámina de acero laminada en frío, conteniendo la composición química del acero en % en peso:

60

$$0,15 \% \leq C \leq 0,23 \%,$$

$$2,0 \% \leq Mn \leq 2,7 \%,$$

con

65

$$C + Mn/10 \geq 0,420 \%,$$

# ES 2 780 927 T3

$$0 \leq \text{Cr} \leq 0,40 \%,$$

con

5  $\text{Mn} + \text{Cr} \geq 2,25 \%,$

$$0,2\% \leq \text{Si} \leq 1,6\%$$

10  $0,02\% \leq \text{Al} \leq 1,2\%,$

con

$$1,0 \% \leq \text{Si} + \text{Al} \leq 2,2 \%,$$

15  $0 \leq \text{Nb} \leq 0,035 \%,$

$$0 \leq \text{Mo} \leq 0,1 \%,$$

siendo el resto Fe e impurezas inevitables,

- 20 - recocer la lámina de acero a una temperatura de recocido  $T_r$  para obtener una estructura que comprenda al menos el 65 % de austenita y como máximo el 35 % de ferrita intercrítica,  
- templar la lámina de una temperatura de al menos 600 °C a una velocidad de enfriamiento comprendida entre 20 °C/s y 50 °C/s hasta una temperatura de temple TT entre 200 °C y 270 °C,  
- calentar la lámina hasta una temperatura de partición TP comprendida entre 400 °C y 480 °C, y mantener la lámina
- 25 a esta temperatura de partición TP durante un tiempo de partición  $T_p$  comprendido entre 50 s y 250 s,  
- recubrir por inmersión en caliente la lámina a una temperatura inferior a 515 °C,  
- enfriar la lámina recubierta a temperatura ambiente,

teniendo la lámina de acero una microestructura que consiste en, en fracción superficial:

- 30 - entre el 3 % y el 15 % de austenita retenida,  
- al menos el 30 % de martensita templada,  
- como máximo el 5 % de martensita fresca,  
- como máximo el 35 % de bainita,
- 35 estando la suma de las fracciones superficiales de martensita templada, martensita fresca y bainita comprendida entre el 55 % y el 92 %,  
- entre el 5 % y el 35 % de ferrita.

- [0009]** Según una realización particular, el procedimiento comprende, entre la etapa de recocido y la etapa de temple, una etapa de enfriamiento lento de la lámina a una velocidad de enfriamiento inferior a 10 °C/s durante un tiempo de al menos 10 s a una temperatura superior o igual a 600 °C.

- [0010]** Según esta realización, la ferrita comprende preferiblemente, en fracción de área con respecto a toda la estructura, entre el 0 % y el 5 % de ferrita intercrítica, y entre el 0 % y el 35 % de ferrita de transformación, estando
- 45 dicha ferrita de transformación formada durante la etapa de enfriamiento lento.

**[0011]** Según otra realización particular, la ferrita consiste en ferrita intercrítica.

- [0012]** Preferiblemente, la lámina templada tiene, justo antes del calentamiento a la temperatura de partición TP, una estructura que consiste en entre el 5 % y el 35 % de ferrita, al menos el 3 % de austenita, al menos el 30 % de martensita, consistiendo el complemento en bainita inferior.

- [0013]** Según una realización particular, la etapa de proporcionar dicha lámina de acero laminada en frío comprende:

- 55 - laminar en caliente una lámina hecha de dicho acero para obtener una lámina de acero laminada en caliente,  
- enrollar dicha lámina de acero laminada en caliente a una temperatura  $T_c$  comprendida entre 400 °C y 650 °C,  
- realizar un tratamiento térmico a una temperatura THBA comprendida entre 400 °C y 700 °C, manteniéndose la lámina a dicha temperatura THBA durante un tiempo entre 120 s y 15 horas,
- 60 - laminar en frío de dicha lámina de acero laminada en caliente para obtener dicha lámina de acero laminada en frío.

- [0014]** Por ejemplo, el tratamiento térmico es un recocido por lotes realizado en la lámina laminada en caliente y enrollada, a una temperatura THBA comprendida entre 550 °C y 700 °C, manteniéndose la lámina laminada en caliente y enrollada a dicha temperatura THBA durante un tiempo entre 5 y 15 horas.

65

## ES 2 780 927 T3

**[0015]** Según otro ejemplo, el tratamiento térmico es un recocido continuo, estando dicha temperatura THBA comprendida entre 600 °C y 700 °C, manteniéndose la lámina a dicha temperatura THBA durante un tiempo entre 120 s y 360 s.

5 **[0016]** Preferiblemente, después de que la lámina se temple a la temperatura de temple TT, y antes de que la lámina se caliente a la temperatura de partición TP, la lámina se mantiene a la temperatura de temple TT durante un tiempo de retención comprendido entre 2 s y 8 s, preferiblemente entre 3 s y 7 s.

**[0017]** Preferiblemente, la composición química del acero satisface al menos una de las siguientes condiciones:  
10  $C \geq 0,17 \%$ ,  $C \leq 0,21 \%$ ,  $Mn \leq 2,5 \%$ ,  $0,010 \% \leq Nb$ ,  $Cr \leq 0,05 \%$ , o  $Cr \geq 0,10 \%$ .

**[0018]** Según una realización particular, la composición química del acero es de tal forma que  $C + Si/10 \leq 0,30 \%$  y  $Al \geq 6(C+Mn/10) - 2,5 \%$ .

**[0019]** Según esta realización, la composición química del acero es preferiblemente de tal forma que  $0,2 \% \leq Si < 1,0 \%$  y  $0,4 \% \leq Al \leq 1,2 \%$ , aun preferiblemente, de tal forma que  $0,2 \% \leq Si \leq 0,8 \%$  y  $0,7 \% \leq Al \leq 1,2 \%$ .

**[0020]** Según una realización, la etapa de recubrimiento por inmersión en caliente es una etapa de galvanizado, o una etapa de galvanizado y recocido con una temperatura de aleación GAT comprendida entre 480 °C y 515 °C.

20 **[0021]** La lámina de acero está, por ejemplo, recubierta con Zn o una aleación de Zn.

**[0022]** La invención también se refiere a un proceso para producir una soldadura por puntos de resistencia de al menos dos láminas de acero, comprendiendo dicho proceso:

25 - producir una primera lámina de acero por un procedimiento según la invención, de tal forma que  $C + Si/10 \leq 0,30 \%$  y  $Al \geq 6(C+Mn/10) - 2,5 \%$ , estando la lámina de acero recubierta con Zn o una aleación de Zn,  
- proporcionar una segunda lámina de acero con una composición de tal forma que  $C + Si/10 \leq 0,30 \%$  y  $Al \geq 6(C+Mn/10) - 2,5 \%$ ,  
- soldar por puntos de resistencia dicha primera lámina de acero a dicha segunda lámina de acero.

30

**[0023]** La invención también se refiere a una lámina de acero recubierta, en la que la composición química del acero contiene en % en peso:

35  $0,15 \% \leq C \leq 0,23 \%$

$2,0 \% \leq Mn \leq 2,7 \%$ ,

con

40  $C + Mn/10 \geq 0,420 \%$ ,

$0 \leq Cr \leq 0,40 \%$ ,

con

45  $Mn + Cr \geq 2,25 \%$ ,

$0,2 \% \leq Si \leq 1,6 \%$

50  $0,02 \% \leq Al \leq 1,2 \%$ ,

con

55  $1,0 \% \leq Si + Al \leq 2,2 \%$ ,

$0 \leq Nb \leq 0,035 \%$ ,

$0 \leq Mo \leq 0,1 \%$ ,

60 siendo el resto Fe e impurezas inevitables,  
teniendo dicha lámina de acero una microestructura que consiste en, en porcentaje superficial:

- entre el 3 % y el 15 % de austenita retenida,  
- al menos el 30 % de martensita templada,

65 - como máximo el 5 % de martensita fresca,

## ES 2 780 927 T3

- como máximo el 35 % de bainita, estando la suma de las fracciones superficiales de martensita templada, martensita fresca y bainita comprendida entre el 55 % y el 92 %,
- entre el 5 % y el 35 % de ferrita.

5 **[0024]** Según una realización particular, la ferrita comprende, en fracción de área con respecto a la estructura completa, entre el 0 % y el 5 % de ferrita intercrítica, y entre el 0 % y el 35 % de ferrita de transformación.

**[0025]** Según otra realización particular, la ferrita consiste en ferrita intercrítica.

10 **[0026]** Preferentemente, el contenido de C en la austenita retenida está comprendido entre el 0,9 % y el 1,2 %.

**[0027]** Preferiblemente, la lámina de acero tiene un límite elástico de al menos 500 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 1100 MPa, un alargamiento total según la norma ISO 6892-1 de al menos el 12 %, siendo el producto RTxAT de la resistencia a la tracción por el alargamiento total de al menos el 14200 % en MPa, y una relación de expansión de agujero HER según la norma ISO 16630: 2009 de al menos el 25 %.

15 **[0028]** Preferiblemente, la composición química del acero satisface al menos una de las siguientes condiciones:

20  $C \geq 0,17 \%$ ,

$C \leq 0,21 \%$ ,

$Mn \leq 2,5 \%$ ,

25  $0,010 \% \leq Nb$ ,

$Cr \leq 0,05 \%$ ,

o  
30

$Cr \geq 0,10 \%$ .

**[0029]** Según una realización particular, la composición química del acero es de tal forma que  $C + Si/10 \leq 0,30 \%$  y  $Al \geq 6(C + Mn/10) - 2,5 \%$ .

35 **[0030]** En esta realización, la composición química del acero es preferiblemente de tal forma que  $0,2 \% \leq Si < 1,0 \%$  y  $0,4 \% \leq Al \leq 1,2 \%$ , aun preferiblemente, de tal forma que  $0,2 \% \leq Si \leq 0,8 \%$  y  $0,7 \% \leq Al \leq 1,2 \%$ .

40 **[0031]** La lámina de acero está, por ejemplo, recubierta con Zn o una aleación de Zn.

**[0032]** Por ejemplo, el grosor de dicha lámina de acero recubierta está comprendido entre 0,7 y 3 mm, preferiblemente entre 1 y 2 mm.

45 **[0033]** La invención también se refiere a una estructura soldada que comprende al menos diez soldaduras por puntos de resistencia de al menos dos láminas de acero, en la que una primera lámina de acero está, según la invención, recubierta con Zn o una aleación de Zn y de tal forma que  $C + Si/10 \leq 0,30 \%$  y  $Al \geq 6(C + Mn/10) - 2,5 \%$ , y una segunda lámina de acero tiene una composición de tal forma que  $C + Si/10 \leq 0,30 \%$  y  $Al \geq 6(C + Mn/10) - 2,5 \%$ , y el número medio de grietas por soldadura por puntos de resistencia es menor de 6.

50 **[0034]** Preferentemente, la segunda lámina de acero es según la invención.

**[0035]** La invención también se refiere al uso de una lámina de acero fabricada según la invención, o de una lámina de acero según la invención, para la fabricación de piezas estructurales en vehículos de motor.

55 **[0036]** La invención también se refiere al uso de una soldadura por puntos de resistencia producida por un procedimiento según la invención, o de una estructura soldada según la invención, para la fabricación de piezas estructurales en vehículos de motor.

60 **[0037]** La invención se describirá ahora en detalle, pero sin introducir limitaciones, con referencia a la figura adjunta.

**[0038]** La composición del acero según la invención comprende, en un porcentaje del peso:

- del 0,15 % al 0,23 % de carbono para garantizar una resistencia satisfactoria y mejorar la estabilidad de la austenita retenida que es necesaria para obtener un alargamiento suficiente. Preferiblemente, el contenido de carbono es

superior o igual al 0,16 %, aun preferiblemente superior o igual al 0,17 %, y/o inferior o igual al 0,21 %. Si el contenido de carbono es demasiado alto, la lámina laminada en caliente es demasiado difícil de laminar en frío y la soldabilidad es insuficiente. Si el contenido de carbono es inferior al 0,15 %, la resistencia a la tracción no alcanzará los 1100 MPa.

5 - 2,0% al 2,7% de manganeso. Si el contenido de manganeso es inferior al 2,0 %, el acero no tiene una templabilidad suficiente, de manera que no se obtienen una microestructura que contenga al menos el 55 % de la suma de martensita y bainita, ni una resistencia a la tracción de más de 1100 MPa. El contenido máximo de manganeso se define para evitar problemas de segregación que sean perjudiciales para la ductilidad. Preferiblemente, el contenido de manganeso es inferior o igual al 2,5 %.

10 - Del 0 % al 0,40 % de cromo. Puede añadirse Cr para aumentar la templabilidad y estabilizar la austenita retenida para reducir considerablemente la descomposición de la austenita durante la partición. Pero más del 0,40 % de cromo es perjudicial para la expandibilidad y si el contenido de Cr es superior al 0,40 %, no es posible obtener una relación HER de más del 25 %. Según una realización, el cromo no puede usarse y su contenido puede permanecer inferior al 0,05 %, correspondiendo un contenido inferior al 0,05 % a la presencia de Cr como impureza. Cuando se añade Cr voluntariamente, su contenido es de al menos el 0,10 %.

15 **[0039]** Además, el contenido de carbono y manganeso es de tal manera que  $(C + Mn/10) \geq 0,420$  % y el contenido de manganeso y cromo es de tal forma que  $(Mn + Cr) \geq 2,25$  % para obtener una resistencia a la tracción de más de 1100 MPa y/o un alargamiento total según la norma ISO 6892-1 de al menos el 12 %. Si  $(C + Mn/10) < 0,420$  y/o  $(Mn + Cr) < 2,25$  %, no se logra una resistencia a la tracción de más de 1100 MPa y/o un alargamiento total  
20 de al menos el 12 %.

- Del 0,2 % al 1,6 % de silicio y del 0,02 % al 1,2 % de aluminio, estando la suma del contenido de silicio y aluminio comprendida entre el 1,0 % y el 2,2 %.

25 **[0040]** Una cierta cantidad de aluminio se combina con oxígeno como  $Al_2O_3$  y con nitrógeno como AlN; esta cantidad depende del contenido de O y N y permanece por debajo del 0,025 %. El resto, si existe, no se combina y consiste en "aluminio libre".

30 **[0041]** El aluminio que se combina con el oxígeno es resultado de la desoxidación en la fase líquida. Es perjudicial para las propiedades de ductilidad y, por lo tanto, su contenido debe ser lo más limitado posible.

**[0042]** El aluminio que se combina con nitrógeno ralentiza el crecimiento de granos austeníticos durante el recocido. El nitrógeno es un elemento residual resultante de la fundición y es inferior al 0,010 % en la lámina de acero.

35 **[0043]** Los inventores han encontrado que el Si y el Al libre estabilizan la austenita al retrasar la formación de carburos. Esto ocurre, en particular, si la lámina de acero se enfría a una temperatura para obtener una transformación martensítica parcial, y se recalienta inmediatamente y se mantiene a una temperatura TP durante la cual el carbono se redistribuye de martensita a austenita. Si las adiciones de contenido de Si y Al libre están en cantidad suficiente, la redistribución de carbono se produce sin una precipitación significativa de carburos. Para este fin, Si + Al ha de ser de  
40 más del 1,0 % en peso (pero menos del 2,2 %). Además, el Si proporciona una solución sólida que fortalece y mejora la relación de expansión de agujero. Pero el contenido de Si debe limitarse al 1,6 % para evitar la formación de óxidos de silicio en la superficie de la lámina, lo que sería perjudicial para la capacidad de recubrimiento.

45 **[0044]** Además, los inventores han encontrado que, cuando  $Si/10 > 0,30$  % - C (expresándose Si y C en porcentaje en peso), debido a la LME (fenómeno de fragilidad del metal líquido), el silicio es perjudicial para la soldadura por puntos de resistencia de láminas recubiertas y particularmente para láminas galvanizadas, o galvanizadas y recocidas, o electrogalvanizadas. La aparición de LME causa grietas en los límites de grano en las zonas afectadas por el calor y en el metal de soldadura de las juntas soldadas. Por lo tanto,  $(C + Si/10)$  debe mantenerse por debajo o igual al 0,30 %, especialmente si la lámina se va a recubrir.

50 **[0045]** También han encontrado que, para reducir la aparición de LME, para el dominio de las composiciones que se considera, el contenido de Al debe ser superior o igual a  $6(C+Mn/10) - 2,5$  %.

55 **[0046]** Por lo tanto, según una primera realización, particularmente cuando no es probable que aparezca LME, se añade Al solo para desoxidar u opcionalmente para controlar el crecimiento de granos austeníticos durante el recocido, y su contenido permanece inferior al 0,5 %, por ejemplo, inferior al 0,1 %, pero es preferiblemente de al menos el 0,020 %. Según esta primera realización, el contenido de Si está entre el 1,2 % y el 1,6 %. En esta realización,  $(C + Si/10)$  puede ser superior al 0,30 %, o inferior o igual al 0,30 %, dependiendo del contenido de C. Según una segunda realización, particularmente cuando el problema de la LME tiene que considerarse, el contenido  
60 de C y Si debe ser de tal forma que  $(C + Si/10) \leq 0,30$  %. Por lo tanto, se añade Al en cantidades más importantes, para reemplazar, al menos parcialmente, Si para estabilizar la austenita. En esta segunda realización, el contenido de Al está comprendido entre el 0,4 % y el 1,2 %, preferiblemente entre el 0,7 % y el 1,2 %, estando  $Al \geq 6(C+Mn/10) - 2,5$  %, y Si comprendidos entre el 0,2 % y el 1,2 %, preferiblemente entre el 0,2 % y el 1,0 %, aun preferiblemente entre el 0,2 % y el 0,8 %. El contenido de Al se limita al 1,2 % para evitar el aumento de la temperatura de  
65 transformación Ac3, lo que implicaría un mayor coste cuando se calienta a alta temperatura para obtener la

austenización de la lámina de acero en la etapa de recocido.

- opcionalmente del 0,010 % al 0,035 % de niobio, con el fin de refinar los granos de austenita durante el laminado en caliente, 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 500 MPa.
- Opcionalmente hasta el 0,1 % de molibdeno.

**[0047]** El resto es hierro y elementos residuales resultantes de la fabricación del acero. A este respecto, al menos Ni, Cu, Ti, V, B, S, P y N se consideran elementos residuales que son impurezas inevitables. Por lo tanto, su contenido es inferior al 0,05 % para Ni, 0,03 % para Cu, 0,007 % para V, 0,0010 % para B, 0,003 % para S, 0,02 % para P y 0,007 % para N. El contenido de Ti está limitado al 0,05 % porque por encima de dichos valores, los carbonitruros de gran tamaño precipitarán principalmente en la fase líquida y la formabilidad de la lámina de acero disminuirá, haciendo que el objetivo del 12 % para el alargamiento total sea más difícil de alcanzar, y el objetivo del 25 % para la relación de expansión de agujero HER sea difícil de alcanzar.

**[0048]** Cuando las láminas se recubren con Zn o una aleación de Zn, la soldabilidad por punto caliente puede verse afectada por el fenómeno LME (fragilidad de metal líquido).

**[0049]** La sensibilidad de un acero particular a este fenómeno puede evaluarse mediante un ensayo de tracción realizado a alta temperatura. En particular, esta prueba de tracción en caliente se puede realizar utilizando un simulador térmico Gleeble RPI, siendo dicho dispositivo *per se* en la técnica.

**[0050]** Esta prueba, que se denomina "prueba LME de Gleeble", se describe como se indica a continuación:

25 - Las muestras de una lámina recubierta con un espesor de 0,7 mm a 3 mm se someten a pruebas de tracción a alta temperatura para determinar cuál es el desplazamiento crítico mínimo para el cual se producen grietas alrededor de la zona soldada. Las muestras que se cortan en la lámina a analizar tienen una zona calibrada de 10 mm de largo y 10 mm de ancho, y cabezales de 40 mm de largo y 30 mm de ancho, siendo el radio de curvatura entre los cabezales y la parte calibrada 5 mm.

30 - Las pruebas de tracción a alta temperatura se realizan calentando rápidamente (1000 °C/s) cada muestra, manteniendo la muestra a una temperatura predeterminada, y sometiendo la muestra calentada a un alargamiento o desplazamiento predeterminado, enfriando después la muestra en aire, manteniéndose el alargamiento o el desplazamiento, siendo estos desplazamientos los desplazamientos de las rejillas del simulador térmico Gleeble RPI. Después del enfriamiento, se observan las muestras para determinar si hay grietas LME o no. Se determina que la muestra tiene una grieta si se forma al menos una grieta de al menos 2 mm en la muestra.

35 - Las pruebas se realizan a una pluralidad de temperaturas predeterminadas, tales como 700 °C, 750 °C, 800 °C, 850 °C, 900 °C y 950 °C, y con alargamientos o desplazamientos de 0,5 mm, 0,75 mm, 1 mm, 1,25 mm, 1,5 mm, 1,75 mm, 2 mm, etc.; los alargamientos o desplazamientos son los alargamientos o desplazamientos de las mordazas que mantienen las muestras en el simulador Gleeble.

40 - Se informa el desplazamiento crítico para el inicio del agrietamiento, y el desplazamiento crítico mínimo, es decir, el desplazamiento mínimo para el cual se produce el agrietamiento, se determina para el intervalo de temperatura considerado.

45 **[0051]** Usualmente, se considera que, cuando el desplazamiento crítico mínimo es inferior a 1,5 mm a una temperatura entre 700 °C y 800 °C, la probabilidad de aparición de LME en la soldadura por puntos de resistencia es alta, y cuando el desplazamiento crítico mínimo es de al menos 1,5 mm, la probabilidad de observar muchas grietas LME en la soldadura por puntos de resistencia es baja.

50 **[0052]** A este respecto, los inventores han descubierto que, para los aceros correspondientes a la presente invención, o similares a estos aceros, si la composición es de tal forma que  $(C+Si/10)$  es inferior o igual a 0,30 %, y Al es superior o igual a  $6(C+Mn/10)-2,5$  %, el desplazamiento crítico mínimo es de al menos 1,5 mm. Cuando  $(C+Si/10)$  es superior al 0,30 % y/o Al es inferior a  $6(C+Mn/10)-2,5$  %, el desplazamiento crítico mínimo es inferior a 1,5 mm e incluso inferior a 1 mm.

55 **[0053]** Otro procedimiento para evaluar la soldabilidad por puntos de las láminas recubiertas es una "prueba de soldadura por puntos LME" que permite determinar la probabilidad de tener soldaduras agrietadas en un número importante de soldaduras por puntos de resistencia, por ejemplo, en una producción industrial de productos que comprenden piezas que se ensamblan mediante soldadura por puntos de resistencia tales como, por ejemplo, carrocerías de automóviles.

60 **[0054]** Esta "prueba de soldadura por puntos LME" se deriva de la prueba de vida de electrodos para soldadura por puntos de resistencia en la que se realizan una pluralidad de soldaduras por puntos de resistencia, por ejemplo 30, en tres láminas superpuestas juntas: la lámina a probar y dos soportes láminas hechas de láminas galvanizadas bajas en carbono, por ejemplo, DX54D+Z según la norma EN 10346. Los espesores de las láminas son de 1,6 mm y las soldaduras por puntos de resistencia se realizan según la norma ISO 18278-2 para conjuntos heterogéneos. Los

parámetros son:

- diámetro de la punta del electrodo: 8 mm,
- fuerza de soldadura: 4,5 kN,
- 5 - tiempo de soldadura: 3 pulsos de 180 ms separados por periodos de 40 ms (tiempos de enfriamiento),
- tiempo de mantenimiento: 400 ms.

**[0055]** Para esta prueba, la eventual aparición de grietas en las soldaduras por puntos de resistencia, las muestras se cortan y se pulen. A continuación, las soldaduras por puntos de resistencia se graban con ácido pícrico y se observan con un microscopio, por ejemplo, con un aumento de 200x, para determinar el número de grietas en cada soldadura por puntos de resistencia observada y la suma de la longitud de las grietas de cada soldadura por puntos de resistencia.

**[0056]** Para ejemplos que tienen una composición de tal forma que  $(C+Si/10) \leq 0,30\%$  y  $(C+Si/10) > 0,30\%$ , respectivamente, las proporciones de los números de grietas para cada soldadura por puntos de resistencia son las siguientes:

- $(C+Si/10) \leq 0,30\%$ : prueba LME de Gleeble  $> 1,5$  mm, al menos el 80 % de las soldaduras por puntos de resistencia tienen menos de 10 grietas, y el 0 % tiene 20 o más grietas,
- 20 -  $(C+Si/10) > 0,30\%$ : prueba LME de Gleeble  $< 1,5$  mm, solo el 40 % de las soldaduras por puntos de resistencia tienen menos de 10 grietas, y el 30 % tiene 20 o más grietas.

**[0057]** Si se considera el número medio de grietas en cada soldadura por puntos de resistencia, los resultados son los siguientes:

- 25 - para composiciones de tal forma que  $C+Si/10 \leq 0,30\%$ , el número medio de grietas en cada soldadura por puntos de resistencia es menor de 6,
- para composiciones de tal forma que  $C+Si/10 > 0,30\%$ , el número medio de grietas en cada soldadura por puntos de resistencia es mayor de 6.

**[0058]** La lámina laminada en caliente que tiene un espesor entre 2 y 5 mm se puede producir de una manera conocida a partir de la composición de acero de la invención mencionada anteriormente. Como ejemplo, la temperatura de recalentamiento antes del laminado puede estar comprendida entre 1200 °C y 1280 °C, preferiblemente aproximadamente 1250 °C, la temperatura de laminado final está comprendida preferiblemente entre Ar3 y 950 °C, y el bobinado se realiza a una temperatura preferiblemente comprendida entre 400 °C y 650 °C. Preferiblemente, si  $(C+Si/10) \leq 0,30\%$ , la temperatura de bobinado está comprendida entre 450 °C y 550 °C.

**[0059]** Después del bobinado, la lámina tiene una estructura ferrito-perlítica o ferrito-perlito-bainítica.

**[0060]** Después del bobinado, opcionalmente la lámina se trata térmicamente, por ejemplo, se recuece por lotes o se recuece continuamente para reducir la dureza de la lámina de acero y, por lo tanto, mejorar la capacidad de laminación en frío de la lámina de acero laminada en caliente y enrollada.

**[0061]** Por ejemplo, la lámina de acero laminada en caliente y enrollada se trata con calor a una temperatura entre 400 °C y 700 °C, y se mantiene a la temperatura de recocido por lotes THBA durante un tiempo entre 120 s y 15 h.

**[0062]** Según una realización, el tratamiento térmico es un recocido discontinuo realizado en la lámina laminada en caliente y enrollada, a una temperatura de recocido discontinuo THBA comprendida entre 550 °C y 700 °C, manteniéndose la lámina laminada en caliente y enrollada a la temperatura THBA durante un tiempo entre 5 y 15 horas.

**[0063]** Según otra realización, la lámina se recuece continuamente, estando la temperatura de recocido THBA comprendida entre 600 °C y 700 °C, y manteniéndose la lámina a dicha temperatura THBA durante un tiempo entre 120 s y 360 s.

**[0064]** La lámina se puede decapar y laminar en frío para obtener una lámina laminada en frío que tenga un espesor entre 0,7 mm y 3 mm, por ejemplo, en el intervalo de 1 mm a 2 mm.

**[0065]** A continuación, la lámina se trata térmicamente en una línea continua de recocido y recubrimiento.

**[0066]** El tratamiento térmico comprende las etapas de:

- recocer la lámina a una temperatura de recocido  $T_r$  de tal forma que, al final de la etapa de recocido, el acero tiene una estructura que comprende al menos el 65 % de austenita, y hasta el 100 %, y del 0 % al 35 % de ferrita intercrítica.



Un experto en la técnica sabe cómo determinar la temperatura de recocido  $T_r$  a partir de pruebas de dilatometría, o de fórmulas semiempíricas. Preferiblemente, la temperatura de recocido  $T_r$  es como máximo  $Ac_3 + 20\text{ °C}$ , para limitar el engrosamiento de los granos austeníticos, designando  $Ac_3$  la temperatura del final de la transformación en austenita durante la etapa de calentamiento. Aun preferiblemente, la temperatura de recocido  $T_r$  es como máximo  $Ac_3$ . La lámina se mantiene a la temperatura de recocido, es decir, se mantiene entre  $T_r - 5\text{ °C}$  y  $T_r + 10\text{ °C}$ , durante un tiempo de recocido  $t_r$  preferiblemente superior a 30 s, pero que no necesita ser superior a 300 s.

- opcionalmente enfriar lentamente la lámina desde la temperatura de recocido  $T_r$  a una temperatura de parada de enfriamiento, a una velocidad de enfriamiento inferior a  $10\text{ °C/s}$ , preferiblemente inferior a  $5\text{ °C/s}$ , para obtener una fracción de ferrita total (ferrita intercrítica + ferrita de transformación) comprendida entre el 5 % al 35 %, sin formación de perlita y bainita. Esta etapa de enfriamiento lento tiene como objetivo formar ferrita, en particular si la fracción de ferrita intercrítica después de la etapa de recocido es inferior al 5 %. En ese caso, la fracción de ferrita formada durante el enfriamiento lento es superior o igual al 5 % de IF, siendo IF la fracción de ferrita intercrítica, e inferior o igual al 35 % de IF. Si la fracción de ferrita intercrítica es de al menos el 5 %, el enfriamiento lento es opcional. En cualquier caso, la fracción de ferrita formada durante el enfriamiento lento es inferior o igual al 35 % de IF, de manera que la fracción de ferrita total permanece como máximo al 35 %. La temperatura de parada de enfriamiento está comprendida entre  $750\text{ °C}$  y  $600\text{ °C}$ . De hecho, una temperatura de parada de enfriamiento superior a  $750\text{ °C}$  no permite la formación de suficiente ferrita, mientras que una temperatura de parada de enfriamiento inferior a  $600\text{ °C}$  puede conducir a la formación de bainita. El enfriamiento lento se realiza preferiblemente durante un tiempo de enfriamiento comprendido entre 10 s y 40 s. La ferrita que se puede formar durante la etapa de enfriamiento lento, más denominada "ferrita de transformación", es diferente de la ferrita intercrítica que permanece en la estructura al final de la etapa de recocido. En particular, a diferencia de la ferrita de transformación, la ferrita intercrítica es poligonal. Además, la ferrita de transformación está enriquecida con carbono y manganeso, es decir, tiene contenido de carbono y manganeso que es más alto que el contenido de carbono y manganeso de la ferrita intercrítica. Por lo tanto, la ferrita intercrítica y la ferrita de transformación se pueden diferenciar observando una micrografía con un microscopio FEG-TEM usando electrones secundarios, después del grabado con metabisulfito de sodio. En la micrografía, como se muestra en la figura adjunta, la ferrita intercrítica aparece en gris medio, mientras que la ferrita de transformación aparece en gris oscuro, debido a su mayor contenido de carbono y manganeso. En la figura, IF designa la ferrita intercrítica, TF designa la ferrita de transformación, FM designa la martensita fresca, y RA designa la austenita retenida. Para cada composición particular del acero, un experto en la técnica sabe cómo determinar con precisión las condiciones de enfriamiento lento adecuadas para obtener la fracción de ferrita de transformación deseada. La formación de ferrita de transformación permite controlar con mayor precisión la fracción de área de ferrita en la estructura final y, por lo tanto, proporciona robustez al procedimiento.

- Justo después de la etapa de recocido o de enfriamiento lento, templar la lámina por enfriamiento desde una temperatura de al menos  $600\text{ °C}$  a una temperatura de temple TT inferior al punto de transformación  $M_s$  de la austenita que queda después del recocido y el enfriamiento lento, a una velocidad de enfriamiento lo suficientemente rápida como para formar esencialmente martensita y bainita inferior, evitando la formación de bainita superior y granular. La velocidad de enfriamiento está comprendida preferiblemente entre  $20\text{ °C/s}$  y  $100\text{ °C/s}$ . Para cada composición particular del acero y cada estructura, un experto en la técnica sabe cómo determinar el punto de transformación  $M_s$  de la austenita que queda después del recocido y el enfriamiento lento. También sabe cómo determinar la temperatura de temple adaptada para obtener una estructura deseada, justo después del temple, que consiste entre el 5 % y el 35 % de la suma de ferrita intercrítica y ferrita de transformación, al menos el 3 % de austenita y al menos el 30 % de martensita, consistiendo el complemento, si lo hubiera, en bainita inferior. Generalmente, la temperatura de temple TT se encuentra entre  $200\text{ °C}$  y  $270\text{ °C}$ . Si la temperatura de temple TT es inferior a  $200\text{ °C}$ , la fracción de martensita templada (o dividida) en la estructura final es demasiado alta para estabilizar una cantidad suficiente de austenita retenida por encima del 3 %, de modo que el alargamiento total medido según el estándar ISO ISO 6892-1 no alcanza el 12 %. Además, si la temperatura de temple TT es superior a  $270\text{ °C}$ , la fracción de martensita templada en la estructura final es demasiado baja para obtener la resistencia a la tracción deseada. Preferiblemente, la temperatura de temple TT está comprendida entre  $200\text{ °C}$  y  $250\text{ °C}$ .

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

- Recalentar la lámina desde la temperatura de temple hasta una temperatura de partición TP comprendida entre  $400\text{ °C}$  y  $480\text{ °C}$ , y preferiblemente comprendida entre  $440\text{ °C}$  y  $470\text{ °C}$ . La velocidad de recalentamiento puede ser alta cuando el recalentamiento se realiza mediante calentamiento por inducción, por ejemplo, entre  $6$  y  $13\text{ °C/s}$ . Si la temperatura de partición TP es superior a  $480\text{ °C}$  o inferior a  $400\text{ °C}$ , el alargamiento del producto final no es satisfactorio.

- Mantener la lámina a la temperatura de partición TP durante un tiempo de partición  $T_p$  comprendido entre 50 y 250 s, preferiblemente entre 50 y 200 s. Durante esta etapa de partición, el carbono se reparte, es decir, se difunde desde la martensita hacia la austenita, que se enriquece de este modo.

- Recubrir en caliente la lámina. El recubrimiento por inmersión en caliente puede ser, por ejemplo, galvanizado. Cuando la chapa se galvaniza, se hace con las condiciones habituales. La lámina de acero según la invención puede galvanizarse, a una temperatura de aleación GAT comprendida entre  $480\text{ °C}$  y  $515\text{ °C}$ , por ejemplo, comprendida entre  $480\text{ °C}$  y  $500\text{ °C}$ , para alear el recubrimiento de Zn por interdifusión con Fe que se realiza después de sumergir el acero en el baño de Zn. Si la temperatura de galvanizado y recocido es superior a  $515\text{ °C}$ , el alargamiento total según la norma ISO 6892-1 disminuye a menos del 12 %. El acero según la invención puede galvanizarse con Zn o con una aleación de Zn como cinc-magnesio o cinc-magnesio-aluminio. Pero, todo recubrimiento metálico por inmersión en

caliente es posible siempre que la temperatura a la que se lleva la lámina durante el recubrimiento permanezca por debajo de 501 °C.

- Enfriar la lámina a temperatura ambiente, a una velocidad de enfriamiento preferiblemente superior a 10 °C/s, por ejemplo, comprendida entre 10 °C/s y 20 °C/s.

5

**[0067]** Este tratamiento térmico permite obtener una estructura final, es decir, después de la partición y el enfriamiento a temperatura ambiente, que consiste en:

- austenita retenida, con una fracción superficial comprendida entre el 3 % y el 15 %,

10 - martensita templada, con una fracción superficial de al menos el 30 %,

- martensita fresca, con una fracción superficial de como máximo el 5 %,

- bainita, con una fracción superficial de como máximo el 35 %; la bainita incluye bainita inferior, por ejemplo, consiste en bainita inferior, estando la suma de las fracciones superficiales de martensita templada, martensita fresca y bainita comprendida entre el 55 % y el 92 %,

15 - entre el 5 % y el 35 % de ferrita. La ferrita incluye, con respecto a toda la estructura, entre el 0 % (incluido) y el 35 % de ferrita intercrítica y entre el 0 % (incluido) y el 35 % de ferrita de transformación, de modo que la fracción superficial de la suma de ferrita intercrítica y ferrita de transformación está comprendida entre el 5 % y el 35 %. Por ejemplo, la ferrita consiste en ferrita intercrítica. Según otro ejemplo, la ferrita comprende, con respecto a toda la estructura, del 0 % al 5 % de ferrita intercrítica y del 0 % (excluido) y el 35 % de ferrita de transformación.

20

**[0068]** Una fracción de austenita retenida de al menos el 3 %, junto con una fracción superficial de ferrita entre el 5 % y el 35 %, permite obtener un alargamiento total según la norma ISO 6892-1 de al menos el 12 %.

**[0069]** Además, este tratamiento permite obtener un mayor contenido de C en la austenita retenida, que es de al menos el 0,9 %, preferiblemente incluso de al menos el 1,0 %, y hasta el 1,2 %.

25

**[0070]** La martensita comprende martensita fresca y martensita templada.

**[0071]** La martensita templada, que es martensita dividida, tiene un contenido de C como máximo el 0,45 %, siendo este contenido resultado de la partición de carbono de austenita con respecto a martensita durante la etapa de partición. La martensita fresca, que es resultado de la transformación de austenita enriquecida en martensita después de la etapa de partición, tiene un contenido de C que es de al menos el 0,9 %, y generalmente como máximo el 1,2 %. La fracción de martensita fresca en la estructura es inferior o igual al 5 %. De hecho, una fracción de martensita fresca superior al 5 % conducirá a una tasa de expansión de agujero HER según la norma ISO 16630: 2009 inferior al 25 %.

35

**[0072]** Con este tratamiento térmico, pueden obtenerse láminas de acero que tienen un límite elástico LE de al menos 500 MPa, una resistencia a la tracción RT de al menos 1100 MPa, un alargamiento total AT según la norma ISO 6892-1 de al menos el 12 %, e incluso superior al 13 %, un producto RTxAT de al menos el 14200 % en MPa, e incluso superior al 16000 % en MPa, y una relación de expansión de agujero HER según la norma ISO 16630: 2009 de al menos el 25 %, e incluso al menos el 30 %.

40

### Ejemplos

**[0073]** Como ejemplos y comparación, se han fabricado láminas hechas de composiciones de acero según la tabla I, expresándose los elementos en peso.

45

**[0074]** En esta Tabla, "res." significa que el elemento solo está presente como un residuo, y que no se realizó ninguna adición voluntaria de este elemento.

50

Tabla I

Acero	% de C	% de Mn	C +Mn/10	% en Cr	Mn + Cr	% de Si	% de Al	% de Si+Al	% de Nb	% de S	C +Si/10
1	0,162	2,540	<u>0,416</u>	res.	2,540	0,965	0,995	2,0	res.	0,001	0,26
2	0,228	<u>1,820</u>	<u>0,410</u>	0,20	<u>2,020</u>	1,220	0,02	1,2	res.	0,001	0,35
3	0,221	2,050	0,426	res.	<u>2,050</u>	0,724	0,775	1,5	0,020	0,001	0,29
4	0,222	2,050	0,427	0,26	2,310	0,722	0,770	1,5	0,020	0,001	0,29
5	0,192	2,280	0,420	res.	2,280	1,460	0,02	1,5	0,019	0,001	0,34
6	0,218	2,040	0,422	0,27	2,310	0,723	0,764	1,5	res.	0,001	0,29
7	0,180	2,500	0,430	res.	2,500	1,200	0,600	1,8	res.	0,001	0,3

# ES 2 780 927 T3

continuación

8	0,180	2,500	0,430	res.	2,500	1,200	0,600	1,8	0,02	0,001	0,3
9	0,218	2,082	0,426	0,350	2,432	1,491	0,02	1,511	res.	0,001	0,37

**[0075]** Las láminas se laminaron en caliente, a continuación, se enrollaron a 540 °C o 450 °C. Las láminas se decaparon y se laminaron en frío para obtener láminas con un grosor de 1,2 mm, se recociéron, se templaron, se dividieron, se galvanizaron a 460 °C y se enfriaron a temperatura ambiente. No se realizó un enfriamiento lento. Antes del decapado y la laminación en frío, algunas láminas se recociéron por lotes.

**[0076]** Las condiciones de tratamiento se informan en la Tabla II.

10 **[0077]** En esta tabla, Tbobinado es la temperatura de bobinado, THBA es la temperatura de recocido por lotes, tHBA es el tiempo de recocido por lotes, T<sub>R</sub> es la temperatura de recocido, t<sub>R</sub> es el tiempo de recocido, TT la temperatura de temple, TP la temperatura de partición, T<sub>p</sub> el tiempo de partición. Las temperaturas de transformación, tales como Ac1 y Ac3, también se informan en la tabla II. Ac1 y Ac3 se calcularon utilizando Thermocalc®.

15 **[0078]** Las propiedades mecánicas se midieron en la dirección transversal con respecto a la dirección de laminado. Como es bien sabido en la técnica, el nivel de ductilidad es ligeramente mejor en la dirección de laminado que en la dirección transversal para dicho acero de alta resistencia.

20 **[0079]** Las propiedades medidas son la relación de expansión de agujero HER medida según la norma ISO 16630: 2009, el límite elástico LE, el esfuerzo de tracción ET, el alargamiento uniforme AU y el alargamiento total AT. El límite elástico LE, el esfuerzo de tracción ET, el alargamiento uniforme AU y el alargamiento total AT se midieron según el estándar ISO 6892-1, publicado en octubre de 2009. Las microestructuras se informan en la Tabla III y las propiedades mecánicas se informan en Tabla IV.

25

Tabla II

Ejemplo	Acero	Ac1 (°C)	Ac3 (°C)	Tbobinado (°C)	THBA (°C)	tHBA (h)	T <sub>R</sub> (°C)	t <sub>R</sub> (s)	TT (°C)	TP (°C)	T <sub>p</sub> (s)
A	1	720	995	540	-	-	850	114	250	460	100
B	2	727	820	540	550	10	850	100	250	460	60
C	3	721	905	540	-	-	850	60	250	460	100
D	4	725	900	540	-	-	850	60	250	460	100
E	5	722	830	540	550	10	850	60	250	460	100
F	6	725	900	540	-	-	880	120	270	460	60
G	7	720	895	450	550	10	850	100	250	460	60
H	7	720	895	450	550	10	850	100	230	460	60
I	8	720	895	450	550	10	850	100	230	460	60
J	8	720	895	450	550	10	870	100	230	460	60
K	8	720	598	450	550	10	850	100	230	460	200
l	9	728	825	540	550	15	820	100	250	460	60

30 **[0080]** En la Tabla III, TM es la fracción superficial de martensita templada, FM es la fracción superficial de martensita fresca, B es la fracción superficial de bainita, IF es la fracción superficial de ferrita intercrítica, F es la fracción superficial total de ferrita (ferrita intercrítica + ferrita de transformación)

Tabla III

Ejemplo	Acero	TM (%)	FM (%)	B (%)	TM+FM+B (%)	IF (%)	F (%)	RA (%)
<u>A</u>	<u>1</u>	<u>23</u>	<u>17</u>	<u>0</u>	<u>40</u>	<u>53</u>	<u>58</u>	<u>2</u>
<u>B</u>	<u>2</u>	<u>47</u>	<u>0</u>	<u>38</u>	<u>85</u>	<u>0</u>	<u>5</u>	<u>10</u>
<u>C</u>	<u>3</u>	<u>37</u>	<u>2</u>	<u>14</u>	<u>53</u>	<u>30</u>	<u>36</u>	<u>11</u>

# ES 2 780 927 T3

continuación

D	4	32	4	20	56	29	34	10
E	5	53	0	33	86	0	5	9
F	6	44	3	27	74	11	16	10
G	7	58	0	0	58	26	31	11
H	7	47	0	15	62	26	31	7
I	8	52	0	10	62	26	31	7
J	8	47	0	30	77	14	19	4
K	8	51	0	15	66	26	31	3
I	9	58	0	20	78	5	10	12

**[0081]** Estos ejemplos muestran que, con un procedimiento según la invención, pueden obtenerse láminas de acero que tienen una resistencia a la tracción RT de al menos 1100 MPa y un alargamiento total AT según la norma ISO 6892-1 de al menos el 12 %, e incluso de al menos el 13 %, siendo el producto RTxAT es superior al 14200% en 5 MPa. Estas láminas de acero también tienen un límite elástico de al menos 500 MPa, un alargamiento uniforme de al menos el 8 %, y generalmente de más del 9 %, y una relación de expansión de agujero HER según la norma ISO 16630: 2009 de al menos el 25 %, e incluso a menudo más del 30 %.

**[0082]** Los ejemplos A y B muestran que, cuando el contenido de C y Mn es de tal forma que  $C+Mn/10 < 0,420$  %, no se obtiene la estructura deseada, y la resistencia a la tracción y/o el alargamiento total obtenido no son satisfactorios. 10

**[0083]** El ejemplo C muestra que cuando  $Mn+Cr < 2,25$  %, la suma de las fracciones de martensita y bainita es demasiado baja, de modo que no se obtiene una resistencia a la tracción de al menos 1100 MPa.

15

Tabla IV

Ejemplo	Acero	LE (MPa)	RT (MPa)	AU (%)	AT (%)	RTxAT (% en MPa)	HER (%)
<u>A</u>	<u>1</u>	467	<u>1065</u>	12	16,2	17253	31
<u>B</u>	<u>2</u>	1172	1276	6,1	<u>9,8</u>	<u>12505</u>	67
<u>C</u>	<u>3</u>	662	<u>998</u>	16,5	20,7	20659	33
D	4	612	1110	13,9	17,8	19758	26
E	5	1071	1204	8,4	12	14207	33
F	6	1016	1136	8,6	13,6	15450	nd
G	7	523	1186	12,4	15,9	18857	39
H	7	735	1150	13,2	17,3	19895	36
I	8	588	1217	12,9	16,4	19959	31
J	8	1040	1175	12,1	16,5	19388	37
K	8	683	1191	11,8	15,3	18222	30
I	9	744	1249	11,1	14,7	18360	25

**[0084]** Con respecto a la soldabilidad por puntos, las láminas según la invención tienen una baja sensibilidad a la LME cuando la composición es tal que  $C+Si/10 \leq 0,30$  % y  $Al \geq 6(C+Mn/10)-2,5$  %. Significa que con dichos aceros es posible producir estructuras que comprendan soldaduras por puntos de resistencia, tales como carrocerías para coches, para las cuales la probabilidad de la cantidad de grietas en las soldaduras por puntos de resistencia es de tal forma que el valor medio es menor de 6 grietas por punto de resistencia soldadura, y la probabilidad de tener menos de 10 grietas es del 98 %. 20

**[0085]** En particular, se puede producir una estructura soldada, incluyendo soldadura por puntos de resistencia, de al menos dos láminas de acero, produciendo una primera lámina de acero mediante un procedimiento según la invención, siendo la primera lámina de tal forma que  $C+Si/10 \leq 0,30$  % y  $Al \geq 6(C+Mn/10) - 2,5$  %, y esté recubierta con Zn o una aleación de Zn, proporcionando una segunda lámina de acero con una composición de tal forma que  $C+Si/10 \leq 0,30$  % y  $Al \geq 6(C+Mn/10) - 2,5$  %, y soldando por puntos de resistencia la primera lámina de acero a la 25  
30 segunda lámina de acero. La segunda lámina de acero puede producirse, por ejemplo, mediante un procedimiento

según la invención, y recubrirse con Zn o una aleación de Zn.

**[0086]** Por lo tanto, se obtiene una estructura soldada que tiene una baja sensibilidad a LME. Por ejemplo, para una estructura soldada de este tipo que comprende al menos diez soldaduras por puntos de resistencia, el número  
5 medio de grietas por soldadura por puntos de resistencia es inferior a 6.

**[0087]** Las láminas de acero opcionalmente soldadas por soldadura por puntos de resistencia según la invención se usan con fines de lucro para la fabricación de partes estructurales en vehículos de motor, ya que ofrecen una alta formabilidad durante el procedimiento de fabricación y una alta absorción de energía en caso de colisión. Las  
10 soldaduras por puntos de resistencia según la invención también se utilizan con fines de lucro para la fabricación de piezas estructurales en vehículos de motor, ya que el inicio y la propagación eventuales de grietas situadas en las zonas soldadas se reducen mucho.

## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para producir una lámina de acero recubierta que tiene una resistencia a la tracción RT de al menos 1100 MPa, un alargamiento total AT según la norma ISO 6892-1 de al menos el 12%, siendo el producto RTxAT de la resistencia a la tracción por el alargamiento total al menos el 14200 % en MPa, y una relación de expansión de agujero HER según la norma ISO 16630:2009 de al menos el 25 %, en el que el procedimiento comprende las siguientes etapas sucesivas:

10 - proporcionar una lámina de acero laminada en frío, conteniendo la composición química del acero en % en peso:

$$0,15 \% \leq C \leq 0,23 \%,$$

$$2,0 \% \leq Mn \leq 2,7 \%,$$

15 con

$$C+Mn/10 \geq 0,420 \%,$$

$$0 \leq Cr \leq 0,40 \%,$$

20

con

$$Mn + Cr \geq 2,25 \%,$$

25

$$0,2\% \leq Si \leq 1,6\%$$

$$0,02\% \leq Al \leq 1,2\%,$$

30 con

$$1,0 \% \leq Si+Al \leq 2,2 \%,$$

$$0 \leq Nb \leq 0,035 \%,$$

35

$$0 \leq Mo \leq 0,1 \%,$$

siendo el resto Fe e impurezas inevitables,

40 - recocer la lámina de acero a una temperatura de recocido  $T_r$  para obtener una estructura que comprenda al menos el 65 % de austenita y como máximo el 35 % de ferrita intercrítica,  
 - templar la lámina de una temperatura de al menos 600 °C a una velocidad de enfriamiento comprendida entre 20 °C/s y 50 °C/s hasta una temperatura de temple TT entre 200 °C y 270 °C,  
 - calentar la lámina hasta una temperatura de partición TP comprendida entre 400 °C y 480 °C, y mantener la lámina a esta temperatura de partición TP durante un tiempo de partición Tp comprendido entre 50 s y 250 s,  
 45 - recubrir por inmersión en caliente la lámina a una temperatura inferior a 515 °C,  
 - enfriar la lámina recubierta a temperatura ambiente,

teniendo la lámina de acero una microestructura que consiste en, en fracción superficial:

50 - entre el 3 % y el 15 % de austenita retenida,  
 - al menos el 30 % de martensita templada,  
 - como máximo el 5 % de martensita fresca,  
 - como máximo el 35 % de bainita,  
 estando la suma de las fracciones superficiales de martensita templada, martensita fresca y bainita comprendida entre el 55 % y el 92 %,
 55 - entre el 5 % y el 35 % de ferrita.

2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el procedimiento comprende, entre la etapa de recocido y la etapa de temple, una etapa de enfriamiento lento de la lámina a una velocidad de enfriamiento inferior a 10 °C/s durante un tiempo de al menos 10 s a una temperatura superior o igual a 600 °C.

60

3. El procedimiento según la reivindicación 2, en el que la ferrita comprende, en fracción de área con respecto a toda la estructura, entre el 0 % y el 5 % de ferrita intercrítica, y entre el 0 % y el 35 % de ferrita de transformación, estando dicha ferrita de transformación formada durante la etapa de enfriamiento lento.

65 4. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la ferrita consiste en ferrita intercrítica.

5. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la lámina templada tiene, justo antes del calentamiento a la temperatura de partición TP, una estructura que consiste en entre el 5 % y el 35 % de ferrita, al menos el 3 % de austenita, al menos el 30 % de martensita, consistiendo el complemento en bainita inferior.
- 5 6. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la etapa de proporcionar dicha lámina de acero laminado en frío comprende:
- 10 - laminar en caliente una lámina hecha de dicho acero para obtener una lámina de acero laminada en caliente,  
 - enrollar dicha lámina de acero laminada en caliente a una temperatura Tc comprendida entre 400 °C y 650 °C,  
 - realizar un tratamiento térmico a una temperatura THBA comprendida entre 400 °C y 700 °C, manteniéndose la lámina a dicha temperatura THBA durante un tiempo entre 120 s y 15 horas,  
 - laminar en frío de dicha lámina de acero laminada en caliente para obtener dicha lámina de acero laminada en frío.
- 15 7. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que el tratamiento térmico es un recocido por lotes realizado en la lámina laminada en caliente y enrollada, a una temperatura THBA comprendida entre 550 °C y 700 °C, manteniéndose la lámina laminada en caliente y enrollada a dicha temperatura THBA durante un tiempo entre 5 y 15 horas.
- 20 8. El procedimiento según la reivindicación 6, en el que el tratamiento térmico es un recocido continuo, estando dicha temperatura THBA comprendida entre 600 °C y 700 °C, manteniéndose la lámina a dicha temperatura THBA durante un tiempo entre 120 s y 360 s.
- 25 9. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que, después de que la lámina se temple a la temperatura de temple TT, y antes de que la lámina se caliente a la temperatura de partición TP, la lámina se mantiene a la temperatura de temple TT durante un tiempo de retención comprendido entre 2 s y 8 s, preferiblemente entre 3 s y 7 s.
- 30 10. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la composición química del acero satisface al menos una de las siguientes condiciones:
- $C \geq 0,17 \%$ ,
- 35  $C \leq 0,21 \%$ ,
- $Mn \leq 2,5 \%$ ,
- 40  $0,010 \% \leq Nb$ ,
- $Cr \leq 0,05 \%$ ,
- o
- 45  $Cr \geq 0,10 \%$
11. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que la composición química del acero es de tal forma que  $C + Si/10 \leq 0,30 \%$  y  $Al \geq 6(C+Mn/10) - 2,5 \%$ .
- 50 12. El procedimiento según la reivindicación 11, en el que la composición química del acero es de tal forma que  $0,2 \% \leq Si < 1,0 \%$  y  $0,4 \% \leq Al \leq 1,2 \%$ .
13. El procedimiento según la reivindicación 12, en el que  $0,2 \% \leq Si \leq 0,8 \%$  y  $0,7 \% \leq Al \leq 1,2 \%$ .
- 55 14. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que la etapa de recubrimiento por inmersión en caliente es una etapa de galvanizado, o una etapa de galvanizado y recocido con una temperatura de aleación GAT comprendida entre 480 °C y 515 °C.
15. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, en el que la lámina de acero está  
 60 recubierta con Zn o una aleación de Zn.
16. Un proceso para producir una soldadura por puntos de resistencia de al menos dos láminas de acero, comprendiendo dicho proceso:
- 65 - producir una primera lámina de acero por un procedimiento según las reivindicaciones 11 y 15,

## ES 2 780 927 T3

- proporcionar una segunda lámina de acero con una composición de tal forma que  $C+Si/10 \leq 0,30 \%$  y  $Al \geq 6(C+Mn/10) - 2,5 \%$ ,
- soldar por puntos de resistencia dicha primera lámina de acero a dicha segunda lámina de acero.

5 17. Una lámina de acero recubierta, en la que la composición química del acero contiene en % en peso:

$$0,15 \% \leq C \leq 0,23 \%$$

$$2,0 \% \leq Mn \leq 2,7 \%,$$

10  
con

$$C + Mn/10 \geq 0,420 \%,$$

15  
con

$$0 \leq Cr \leq 0,40 \%,$$

20

$$Mn + Cr \geq 2,25 \%,$$

$$0,2\% \leq Si \leq 1,6\%$$

$$0,02\% \leq Al \leq 1,2\%,$$

25 con

$$1,0\% \leq Si+Al \leq 2,2 \%,$$

30

$$0 \leq Nb \leq 0,035 \%,$$

$$0 \leq Mo \leq 0,1 \%,$$

siendo el resto Fe e impurezas inevitables,  
teniendo dicha lámina de acero una microestructura que consiste en, en porcentaje superficial:

35

- entre el 3 % y el 15 % de austenita retenida,
- al menos el 30 % de martensita templada,
- como máximo el 5 % de martensita fresca,
- como máximo el 35 % de bainita,

40 estando la suma de las fracciones superficiales de martensita templada, martensita fresca y bainita comprendida entre el 55 % y el 92 %, - entre el 5 % y el 35 % de ferrita.

18. La lámina de acero recubierta según la reivindicación 17, en la que la ferrita comprende, en fracción de  
45 área con respecto a la estructura completa, entre el 0 % y el 5 % de ferrita intercrítica, y entre el 0 % y el 35 % de ferrita de transformación.

19. La lámina de acero recubierta según la reivindicación 17, en la que la ferrita consiste en ferrita  
50 intercrítica.

20. La lámina de acero recubierta según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 19, en la que el contenido de C en la austenita retenida está comprendido entre el 0,9 % y el 1,2 %.

21. La lámina de acero recubierta según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 20, en la que la lámina de  
55 acero tiene un límite elástico de al menos 500 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 1100 MPa, un alargamiento total según la norma ISO 6892-1 de al menos el 12 %, siendo el producto RTxAT de la resistencia a la tracción por el alargamiento total de al menos el 14200 % en MPa, y una relación de expansión de agujero HER según la norma ISO 16630: 2009 de al menos el 25 %.

60 22. La lámina de acero recubierta según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 21, en la que la composición química del acero satisface al menos una de las siguientes condiciones:

$$C \geq 0,17 \%,$$

65

$$C \leq 0,21 \%,$$



## ES 2 780 927 T3

Mn  $\leq$  2,5 %,

0,010 %  $\leq$  Nb,

5 Cr  $\leq$  0,05 %,   
o

Cr  $\geq$  0,10 %

10

23. La lámina de acero recubierta según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 22, en la que la composición química de la lámina es de tal forma que  $C + Si/10 \leq 0,30$  % y  $Al \geq 6(C+Mn/10) - 2,5$  %.

15 24. La lámina de acero recubierta según la reivindicación 23, en la que la composición química de la lámina es de tal forma que  $0,2$  %  $\leq Si < 1,0$  % y  $0,4$  %  $\leq Al \leq 1,2$  %.

25. La lámina de acero recubierta según la reivindicación 24, en la que  $0,2$  %  $\leq Si \leq 0,8$  % y  $0,7$  %  $\leq Al \leq 1,2$  %.

20 26. La lámina de acero recubierta según cualquiera de la reivindicación 23 a 25, en la que la lámina de acero está recubierta con Zn o una aleación de Zn.

27. La lámina de acero recubierta según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 26, en la que el grosor de dicha lámina de acero recubierta está comprendido entre 0,7 y 3 mm, preferiblemente entre 1 y 2 mm.

25

28. Estructura soldada que comprende al menos diez soldaduras por puntos de resistencia de al menos dos láminas de acero, en la que una primera lámina de acero es según la reivindicación 26, y una segunda lámina de acero tiene una composición de tal forma que  $C+Si/10 \leq 0,30$  % y  $Al \geq 6(C+Mn/10) - 2,5$  %, y en la que el número medio de grietas por soldadura por puntos de resistencia es menor de 6.

30

29. Estructura soldada según la reivindicación 28, en la que la segunda lámina de acero es según la reivindicación 26.

35 30. Uso de una lámina de acero fabricada según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, o de una lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 27, para la fabricación de piezas estructurales en vehículos de motor.

40 31. Uso de una soldadura por puntos de resistencia producida por un procedimiento según la reivindicación 16, o de una estructura soldada según cualquiera de las reivindicaciones 28 y 29, para la fabricación de piezas estructurales en vehículos de motor.

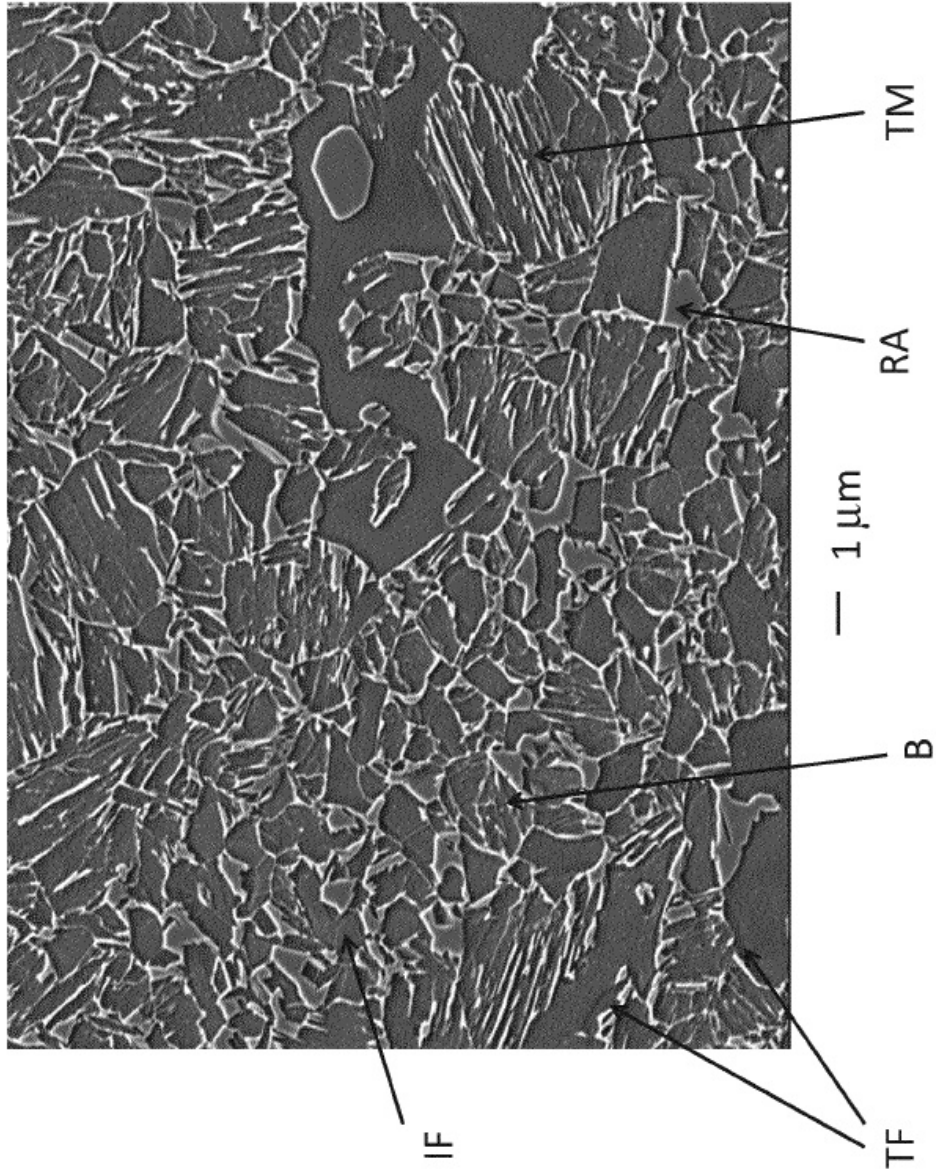


FIG. 1