

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 783 875**

51 Int. Cl.:

C21D 9/46 (2006.01)

C22C 38/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.12.2016 PCT/EP2016/082088**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.06.2017 WO17108897**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2016 E 16819080 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2020 EP 3394298**

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

30 Prioridad:
21.12.2015 WO PCT/IB2015/059841

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.09.2020

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

72 Inventor/es:
**GOSPODINOVA, MAYA y
VENKATASURYA, PAVAN**

74 Agente/Representante:
SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 783 875 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 de alta resistencia que tiene ductilidad y conformabilidad mejoradas, y lámina de acero obtenida

5

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

[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).

[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 AC₃, a una temperatura de mantenimiento por encima del punto de transformación Ms, y manteniendo la lámina a la temperatura durante un tiempo determinado.

20

[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 conformabilidad y, más específicamente, una buena expandibilidad.

25

[0005] A este respecto, es deseable tener láminas que tengan una resistencia a la tracción RT de al menos 1180 MPa, un alargamiento total TE de al menos el 12 %, preferentemente de al menos el 13 %, y una relación de expansión de agujero HER de al menos el 25 %, preferentemente 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 λ 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 preferentemente en el intervalo de 0,8 a 2 mm.

40

[0007] Por lo tanto, la presente invención tiene como objetivo proporcionar una lámina que tenga las propiedades o características mecánicas deseadas mencionadas anteriormente, y un procedimiento para producirla. El documento EP1865085 A1 describió una lámina de acero laminada en frío de alta resistencia que contiene elementos específicos y tiene una estructura metálica que tiene una cantidad total de bainita ferrita y ferrita poligonal del 75 % o más, bainita ferrita del 45 % o más, ferrita poligonal del 1-50 %, y austenita retenida del 3 % o más.

45

[0008] Esta invención se refiere a un procedimiento para producir una lámina de acero que tiene una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa y un alargamiento total de al menos el 12 % medido según el estándar ISO 6892-1 y una relación de expansión de agujero HER de al menos el 25 % medida según el estándar ISO 16630:2009, en el que el procedimiento comprende las siguientes etapas sucesivas:

50

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

55

0,15 % \leq C \leq 0,23 %
 2,0 % \leq Mn \leq 2,8 %,
 1,0 % \leq Si \leq 2,1 %
 0,02 % \leq Al \leq 1,0 %, con 1,7 % \leq Si+Al \leq 2,1 %, 0 \leq Nb \leq 0,035 %,
 0 \leq Mo \leq 0,3 %, 0 \leq Cr \leq 0,4 %,

60

- siendo el resto Fe e impurezas inevitables,

- 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 hasta el 35 % de ferrita intercrítica,

- templar la lámina a una velocidad de enfriamiento de al menos 20 °C/s desde una temperatura de al menos 600 °C

65

hasta una temperatura de temple TT comprendida entre Ms-170 °C y Ms-80 °C,

calentar la lámina hasta una temperatura de partición TP entre 350 °C y 450 °C y mantener la lámina a esta temperatura durante un tiempo de partición Tp comprendido entre 80 s y 440 s, enfriando inmediatamente la lámina a la temperatura ambiente,

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

- entre el 40 % y el 70 % de martensita templada, teniendo la martensita templada un contenido de C inferior al 0,03 %, entre el 7 % y el 15 % de austenita retenida, entre el 15 % y el 35 % de ferrita, como máximo el 5 % de martensita fresca, como máximo el 15 % de bainita.

10

[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 5 °C/s durante al menos 70 s hasta una temperatura superior o igual a 600 °C.

15 **[0010]** En esta realización, la ferrita comprende, en fracción de área con respecto a toda la estructura, entre el 0 % y el 15 % de ferrita intercristalina, y entre el 0 % y el 35 % de ferrita de transformación, estando dicha ferrita de transformación formada durante la etapa de enfriamiento lento.

[0011] Preferentemente, la lámina templada tiene, antes del calentamiento a la temperatura de partición TP, una estructura que consiste en, en fracción superficial:

entre el 15 % y el 35 % de ferrita, entre el 10 % y el 30 % de austenita, entre el 40 % y el 70 % de martensita, como máximo el 15 % de bainita inferior.

25 **[0012]** Según una realización particular, la etapa de proporcionar dicha lámina de acero laminada en frío comprende:

- 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 750 °C,

30 - realizar un recocido por lotes a una temperatura THBA comprendida entre 500 °C y 700 °C durante un tiempo entre 2 y 6 días,

- laminar en frío de dicha lámina de acero laminada en caliente para obtener dicha lámina de acero laminada en frío.

[0013] Preferentemente, 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, preferentemente entre 3 s y 7 s.

[0014] La composición química del acero satisface preferentemente al menos una de las siguientes condiciones:

40

$C \geq 0,16 \%$,

$C \leq 0,21 \%$,

$Mn \geq 2,2 \%$,

$Mn < 2,7 \%$,

45 $0,010 \% \leq Nb$,

$Mo \leq 0,05 \%$, o $Mo \geq 0,1 \%$,

$Cr \leq 0,05 \%$, o $Cr \geq 0,1 \%$.

[0015] Según una realización particular, la composición química del acero es de tal forma que $C + Si/10 \leq 0,30 \%$ y $Al \geq 6(C + Mn/10) - 2,5 \%$.

[0016] En esta realización, la composición química del acero es preferentemente de tal forma que el $1,0 \% \leq Si < 1,3 \%$ y el $0,5 \% < Al < 1,0 \%$, aun preferentemente de tal forma que el $1,0 \% < Si < 1,2 \%$ y el $0,6 \% < Al < 1,0 \%$.

55 **[0017]** Por ejemplo, después de la etapa de enfriamiento de la lámina de acero a temperatura ambiente, la lámina de acero se recubre mediante un procedimiento electroquímico o mediante un procedimiento de revestimiento al vacío.

[0018] Por ejemplo, la lámina de acero está recubierta con Zn o una aleación de Zn.

60

[0019] Según otra realización particular, la composición química del acero es de tal forma que el $1,3 \% \leq Si \leq 2,1 \%$ y el $0,02 \% \leq Al \leq 0,5 \%$.

[0020] La invención también se refiere a un procedimiento para producir una parte hecha de al menos dos piezas hechas de láminas de acero ensambladas por soldadura por puntos de resistencia, comprendiendo dicho

procedimiento:

- proporcionar una primera pieza hecha de una primera lámina de acero producida por un procedimiento según la invención, de tal forma que $C + Si/10 < 0,30 \%$ y $Al \geq 6(C + Mn/10) - 2,5 \%$, estando la primera lámina de acero recubierta con Zn o una aleación de Zn,
- proporcionar una segunda pieza hecha de una lámina de acero que tiene 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 pieza hecha de dicha primera lámina de acero a dicha segunda pieza hecha de una lámina de acero.

10

[0021] La invención también se refiere a una lámina de acero, en la que la composición química del acero contiene en % en peso:

- 0,15 % $\leq C \leq$ 0,23 %
- 2,0 % $< Mn <$ 2,8 %,
- 1,0 % $\leq Si \leq$ 2,1 %
- 0,02 % $\leq Al \leq$ 1,0 %, con 1,7 % $\leq Si+Al \leq$ 2,1 %,
- 0 $\leq Nb \leq$ 0,035 %,
- 0 $\leq Mo \leq$ 0,3 %,
- 0 $\leq Cr \leq$ 0,4 %,

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

- entre el 40 % y el 70 % de martensita templada, teniendo la martensita templada un contenido de C inferior al 0,03 %,
- entre el 7 % y el 15 % de austenita retenida,
- entre el 15 % y el 35 % de ferrita,
- como máximo el 5 % de martensita fresca,
- como máximo el 15 % de bainita.

30

[0022] Según una realización particular, la ferrita comprende, con respecto a la estructura completa, entre el 0 % y el 15 % de ferrita intercrítica, y entre el 0 % y el 35 % de ferrita de transformación.

[0023] Preferentemente, el contenido de C en la austenita retenida está comprendido entre el 0,9 % y el 1,2 %.

35

[0024] Preferentemente, la lámina de acero tiene un límite elástico de al menos 900 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa y un alargamiento total de al menos el 12 % medido según la norma ISO 6892-1, y una relación de expansión de agujero HER de al menos el 25 % medida según la norma ISO 16630:2009.

[0025] Aun preferentemente, el límite elástico es de como máximo 1090 MPa. De hecho, un límite elástico de como máximo 1090 MPa garantiza una alta conformabilidad.

[0026] Preferentemente, la composición química del acero satisface al menos una de las siguientes condiciones:

45

- $C \geq 0,16 \%$,
- $C \leq 0,21 \%$,
- $Mn \geq 2,2 \%$,
- $Mn < 2,7 \%$,
- 0,010 % $\leq Nb$,
- $Mo \leq 0,05 \%$, o $Mo \geq 0,1 \%$,
- $Cr \leq 0,05 \%$, o $Cr \geq 0,1 \%$.

50

[0027] Según una realización particular, la composición química del acero es de tal forma que $C + Si/10 \leq 0,30 \%$ y $Al \geq 6(C + Mn/10) - 2,5 \%$.

55

[0028] En esta realización, la composición química del acero es preferentemente de tal forma que el 1,0 % $\leq Si <$ 1,3 % y el 0,5 % $< Al <$ 1,0 %, aun preferentemente de tal forma que el 1,0 % $< Si <$ 1,2 % y el 0,6 % $< Al <$ 1,0 %.

[0029] Según otra realización particular, la composición química del acero es de tal forma que el 1,3 % $\leq Si \leq$ 2,1 % y el 0,02 % $\leq Al \leq$ 0,5 %.

60

[0030] Según una realización, la lámina de acero está recubierta con Zn o una aleación de Zn, siendo el recubrimiento resultado del uso de un procedimiento electroquímico o un procedimiento de recubrimiento al vacío.

65

[0031] El espesor de dicha lámina de acero está comprendido, por ejemplo, entre 0,7 y 3 mm, preferentemente entre 0,8 y 2 mm.

[0032] La invención también se refiere a una estructura soldada que comprende al menos diez soldaduras por puntos de resistencia de al menos dos partes hechas de láminas de acero, en la que una primera lámina de acero es según la invención, tiene una composición química del acero de tal forma que $C+Si/10 \leq 0,30\%$ y $Al \geq 6(C+Mn/10) - 2,5\%$, y está recubierta con Zn o una aleación de Zn, y una segunda lámina de acero tiene una composición de tal forma que $C+Si/10 < 0,30\%$ 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.

[0033] Preferentemente, la segunda lámina de acero es según la invención y está recubierta con Zn o una aleación de Zn.

[0034] 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.

[0035] La invención también se refiere al uso de una soldadura por puntos de resistencia producida según la invención, o de una estructura soldada según la invención, para la fabricación de piezas estructurales en vehículos de motor.

[0036] La invención se describirá ahora en detalle pero sin introducir limitaciones, con referencia a la figura adjunta.

[0037] 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. Preferentemente, el contenido de carbono es superior o igual al 0,16 %, y/o preferentemente 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 1180 MPa.

- Del 2,0 % al 2,8 % de manganeso. El mínimo se define como tener una templabilidad suficiente para obtener una microestructura que contenga al menos el 40 % de martensita templada, y una resistencia a la tracción de más de 1180 MPa. El máximo se define para evitar tener problemas de segregación que son perjudiciales para la ductilidad. Preferentemente, el contenido de manganeso es superior o igual al 2,2 %, y/o inferior o igual al 2,7 %.

- Del 1,0 % al 2,1 % de silicio y del 0,02 % al 1,0 % de aluminio, estando la suma del contenido de silicio y aluminio comprendida entre el 1,7 % y el 2,1 %.

[0038] 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".

[0039] 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.

[0040] 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.

[0041] Después del calentamiento en el intervalo austenítico, 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 más del 1,7 % en peso (pero menos del 2,1 %). Además, el Si proporciona una solución sólida que fortalece y mejora la relación de expansión de agujero. Además, la suma del contenido de Si y Al debe ser de al menos el 1,7 % para obtener una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa, en combinación con un alargamiento total de al menos el 12 % y una relación de expansión de agujero de al menos el 25 %. Pero el contenido de Si debe limitarse al 2,1 % para evitar la formación de óxidos de silicio en la superficie de la lámina, lo que sería perjudicial para la capacidad de recubrimiento.

[0042] Además, los inventores han encontrado que, cuando $Si/10 \geq 0,30\%$ - 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 láminas recubiertas y particularmente para láminas galvanizadas, o galvanizadas y recocidas, o electrolgalvanizadas. 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. Los inventores también han descubierto que, para reducir la

sensibilidad a LME del acero, para el dominio de la composición que se considera, el contenido de Al, C y Mn debe ser de tal forma que $Al \geq 6(C+Mn/10) - 2,5 \%$.

- 5 **[0043]** 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 preferentemente de al menos el 0,020 %. Según esta primera realización, el contenido de Si está entre el 1,3 y el 2,1 %. En esta realización, $C + Si/10$ puede ser superior al 0,30 %.
- 10 **[0044]** Según una segunda realización, particularmente cuando el problema de la LME tiene que considerarse, $C + Si/10 \leq 0,30 \%$. Esta condición puede limitar demasiado el contenido de Si teniendo en cuenta su efecto sobre la formación de carburos. Además, la composición debe satisfacer la condición definida por la fórmula $Al \geq 6(C+Mn/10) - 2,5 \%$. 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 0,5 % y el 1,0 %, preferentemente entre el 0,6 % y el 1,0 %, y Si está comprendido entre el 1,0 % y el 1,3 % preferentemente el 1,0 % y el 1,2 %. Preferentemente, el contenido de Al es superior o igual al 0,7 %. Sin embargo, el contenido de Al se limita al 1,0 % para evitar el aumento de la temperatura de 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. En esta segunda realización, $C + Si/10 \leq 0,30 \%$ implica que $C \leq 0,20 \%$.
- 15 - 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 900 MPa.
- 20 - Del 0 % al 0,3 % de molibdeno y del 0 % al 0,4 % de cromo. Pueden añadirse Mo y Cr para aumentar la templeabilidad y estabilizar la austenita retenida para reducir considerablemente la descomposición de la austenita durante la partición. Según una realización, el molibdeno y el cromo pueden eliminarse y su contenido puede permanecer inferior al 0,05 % de cada uno, correspondiendo un contenido de menos el 0,05 % a la presencia de Cr o Mo como impurezas. Cuando se añaden Mo y/o Cr voluntariamente, su contenido es de al menos el 0,1 %.
- 25 **[0045]** 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, el 0,03 % para Cu, el 0,007 % para V, el 0,0010 % para B, el 0,005 % para S, el 0,02 % para P y el 0,010 % para 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 12 % para el alargamiento total según la norma ISO 6892-1 sea más difícil de alcanzar.
- 30 **[0046]** Cuando las láminas se recubren con Zn o aleaciones de Zn, la soldabilidad por punto caliente puede verse afectada por el fenómeno de LME (fragilidad de metal líquido).
- 35 **[0047]** La sensibilidad de una lámina de 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.
- 40 **[0048]** Esta prueba, que se denomina "prueba LME de Gleeble", se describe como se indica a continuación:
- 45 - Las muestras de una lámina recubierta a analizar 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 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.
- 50 - 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. 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.
- 55 - 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,
- 60 - 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.
- 65 **[0049]** 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 observar muchas grietas LME en las soldaduras 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 las soldaduras por puntos de resistencia es baja.

5 **[0050]** 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 al 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, y 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.

10

[0051] Otro procedimiento para evaluar la soldabilidad por puntos de las láminas recubiertas es una "prueba de soldadura por puntos de resistencia LME" que permite determinar la probabilidad de observar un elevado número de soldaduras agrietadas resultantes de LME 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.

15

[0052] Esta "prueba de soldadura por puntos de resistencia LME" se deriva de la prueba de vida de electrodos para soldadura por puntos de resistencia en la que se realiza 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:

20

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

25

[0053] Para esta prueba, con el fin de determinar 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 en cada soldadura por puntos de resistencia.

30

35 **[0054]** Para ejemplos que tienen una composición de tal forma que $C+Si/10 \leq 0,30$ % y $C+Si/10 > 0,30$ %, respectivamente, siendo Al más de $6(C+Mn/10)-2,5$ % en cualquier caso, las proporciones de los números de grietas para cada soldadura por puntos de resistencia son las siguientes:

40

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

45 **[0055]** Si se considera el número medio de grietas en cada soldadura por puntos de resistencia, los resultados son los siguientes:

- 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 punto de resistencia la soldadura es superior a 6.

50

[0056] 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, preferentemente aproximadamente 1250 °C, la temperatura de laminado final está comprendida preferentemente entre Ar3 y 950 °C, preferentemente más de 850 °C, y el bobinado se realiza a una temperatura comprendida preferentemente entre 400 °C y 750 °C.

55

[0057] Después del bobinado, la lámina tiene una estructura ferrito-perlítica o ferrito-perlito-bainítica.

60

[0058] Después del bobinado, la lámina se recuece por lotes 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.

[0059] Por ejemplo, la lámina de acero laminada en caliente y enrollada se recuece por lotes a una temperatura entre 500 °C y 700 °C, por ejemplo, entre 540 °C y 640 °C, durante un tiempo entre 2 y 6 días, preferentemente entre

65

3 y 5 días.

[0060] 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 0,8 mm a 2 mm.

5

[0061] Después, el acero se somete a un tratamiento con calor en una línea continua de recocido.

[0062] El tratamiento térmico comprende las etapas de:

10 - 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 usando fórmulas semiempíricas. Preferentemente, la temperatura de recocido T_r es de como máximo $Ac3 + 50$ °C, para limitar el engrosamiento de los granos austeníticos. $Ac3$ designa la temperatura del final de la transformación en austenita durante la etapa de calentamiento. Aun preferentemente, la temperatura de recocido T_r es como máximo $Ac3$. La lámina se mantiene a la temperatura de recocido, es decir, se mantiene entre $T_r - 5$ °C y $T_r + 5$ °C, durante un tiempo de recocido t_R preferentemente de más de 60 s, aún más preferentemente más de 80 s, pero que no necesita ser superior a 300 s.

15 - Opcionalmente, enfriar lentamente la lámina desde la temperatura de recocido T_r hasta una temperatura de parada de enfriamiento, a una velocidad de enfriamiento inferior a 10 °C/s, preferentemente inferior a 5 °C/s, para obtener una fracción de ferrita total comprendida entre el 15 % y el 35 %, sin formar perlita o bainita. El enfriamiento lento se realiza, por ejemplo, durante un tiempo comprendido entre 70 s y 150 s. Esta etapa de enfriamiento lento tiene como objetivo formar ferrita, en particular si la fracción de ferrita intercrítica es inferior al 15 %. En ese caso, la fracción de ferrita formada durante el enfriamiento lento es superior o igual al 15 % 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 15 %, 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 preferentemente entre 750 °C y 600 °C. De hecho, una temperatura de parada de enfriamiento superior a 750 °C no permite la formación de suficiente ferrita, mientras que una temperatura de parada de enfriamiento inferior a 600 °C puede conducir a la formación de bainita. 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 transformación de ferrita está enriquecida en carbono y manganeso, es decir, tiene un contenido de carbono y manganeso que es más alto que el contenido promedio de carbono y manganeso del acero, y 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. En la micrografía, 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. 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.

20 - Justo después de la etapa de recocido o de enfriamiento lento, templar la lámina por enfriamiento desde una temperatura de al menos 600 °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 evitar la formación de bainita superior y granular. La temperatura de temple TT está comprendida entre $M_s - 80$ °C y $M_s - 170$ °C. La velocidad de enfriamiento es de al menos 20 °C/s, preferentemente de al menos 50 °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 15 % y el 35 % de la suma de ferrita intercrítica y ferrita de transformación, entre el 10 % y el 30 % de austenita, y entre el 40 % y el 70 % de martensita, siendo el resto, si lo hubiera, bainita inferior que, en cualquier caso, es inferior al 15 %. Generalmente, la temperatura de temple se encuentra entre 180 °C y 260 °C. Si la temperatura de temple TT es inferior a $M_s - 170$ °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 7 %, de modo que el alargamiento total según el estándar ISO 6892-1 no alcanza el 12 %. Además, si la temperatura de temple TT es superior a $M_s - 80$ °C, la fracción de martensita templada en la estructura final es demasiado baja para obtener la resistencia a la tracción deseada. Preferentemente, la temperatura de temple TT está comprendida entre 200 °C y 250 °C.

25 - Opcionalmente, mantener la lámina templada a la temperatura de temple TT durante un tiempo de mantenimiento comprendido entre 2 s y 8 s, preferentemente entre 3 s y 7 s, para evitar la formación de martensita autotemplada, recalentar la lámina desde la temperatura de temple hasta una temperatura de partición TP comprendida entre 350 °C y 450 °C, y preferentemente entre 375 °C y 450 °C, aun preferentemente entre 400 °C y 440 °C. La velocidad de recalentamiento puede ser alta cuando el recalentamiento se realiza mediante calentamiento por inducción, por

ejemplo, entre 6 y 13 °C/s. Si la temperatura de partición TP es superior a 450 °C o inferior a 350 °C, el alargamiento del producto final no es satisfactorio.

- Mantener la lámina a la temperatura de partición TP durante un tiempo de partición Tp comprendido entre 80 s y 440 s, preferentemente entre 170 s y 430 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. Inmediatamente después de esta etapa de mantenimiento, enfriar la lámina a temperatura ambiente, a una velocidad de enfriamiento preferentemente superior a 1 °C/s, por ejemplo, entre 2 °C/s y 20 °C/s.
- Opcionalmente, después del enfriamiento a temperatura ambiente, la lámina puede recubrirse mediante procedimientos electroquímicos, por ejemplo, electro-galvanizado, o a través de cualquier procedimiento de recubrimiento al vacío, como PVD o deposición por chorro de vapor. Se puede utilizar cualquier tipo de recubrimiento y, en particular, cinc o aleaciones de cinc, como aleaciones de cinc-níquel, cinc-magnesio o cinc-magnesio-aluminio.

[0063] 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 7 % y el 15 %,
- martensita templada, con una fracción superficial comprendida entre el 40 % y el 70 %,
- ferrita, con una fracción superficial comprendida entre el 15 % y el 35 %, incluyendo la ferrita, 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. Según una primera realización, la ferrita consiste en ferrita intercrítica. Según una segunda realización, la ferrita comprende ferrita intercrítica y ferrita de transformación, por ejemplo, entre el 0 % y el 15 % de ferrita intercrítica, y entre el 0 % (excluido) y el 35 % de ferrita de transformación,
- como máximo el 5 % de martensita fresca,
- como máximo el 15 % de bainita, incluyendo bainita inferior.

[0064] Una fracción de austenita retenida de al menos el 7 % y una fracción de ferrita comprendida entre el 15 % y el 35 % permiten obtener un alargamiento total de al menos el 12 % según la Norma ISO 6892-1.

[0065] Además, este tratamiento permite obtener un mayor contenido de C en la austenita retenida, que es de al menos el 0,9 %, preferentemente incluso de al menos el 1,0 %, y hasta el 1,2 %.

[0066] La martensita comprende martensita fresca y martensita templada.

[0067] La martensita templada, que es martensita dividida, tiene un contenido de C inferior al 0,03 %, siendo este contenido resultado de la partición de carbono de martensita hacia austenita durante la etapa de partición. Especialmente, este contenido es resultado de la partición del carbono, de la martensita formada durante el enfriamiento, hacia la austenita.

[0068] Es necesario un contenido de C en la martensita templada (o dividida) inferior al 0,45 % para garantizar una estabilización suficiente de la austenita y, por lo tanto, un alargamiento total de al menos el 12 %. Además, un contenido de C en la martensita templada superior o igual al 0,45 % conduciría a la precipitación de carburos dentro de la martensita, aumentando el límite elástico. Por lo tanto, un contenido de C en la martensita inferior al 0,45 % permite lograr un límite elástico de como máximo 1090 MPa y, por lo tanto, una alta conformabilidad de la lámina de acero.

[0069] Según la invención, el contenido de C en la martensita templada es inferior al 0,03 %. Un contenido de C en la martensita templada inferior al 0,03 % garantiza una estabilización óptima de la austenita, que no se transforma en martensita durante la prueba de la relación de expansión de agujero y, por lo tanto, garantiza una relación de expansión de agujero HER de al menos el 25 %.

[0070] 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 %, generalmente como máximo el 1,2 %.

[0071] Preferentemente, 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 %.

[0072] Con este tratamiento térmico, pueden obtenerse láminas de acero que tienen un límite elástico LE de al menos 900 MPa, una resistencia a la tracción RT de al menos 1180 MPa, un alargamiento total AT según la norma ISO 6892-1 de al menos el 12 %, e incluso superior al 13 %, 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 %.

Ejemplos:

65

[0073] Como ejemplos y comparación, se han fabricado láminas hechas de composiciones de acero según la tabla I, expresándose los elementos en peso. Las temperaturas de transformación tales como Ac1 y Ac3 se informan en la tabla I. Ac1 y Ac3 se midieron por dilatometría.

5

Tabla I

Acero	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Al (%)	Si+Al (%)	Nb (%)	Cr (%)	Mo (%)	(C+Si/10) (%)	Ac1 (°C)	Ac3 (°C)
a	0,18	2,5	1,2	0,6	1,8	0,02	res.	res.	0,3	731	923
b	0,18	2,5	1,7	0,03	1,7	res.	res.	res.	0,35	760	910
c	0,18	2,5	1,7	0,03	1,7	0,02	res.	res.	0,35	785	905
d	0,16	2,7	2,05	0,03	2,08	res.	res.	res.	0,365	nd	930
e	0,2	<u>1,5</u>	1	0,5	<u>1,5</u>	0,03	0,2	0,2	0,12	655	939
f	0,22	2,0	<u>0,8</u>	0,7	<u>1,5</u>	0,02	0,1	0,15	0,10	765	909

[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, y "nd" significa que el valor no fue determinado. Los valores subrayados no son según la invención.

[0075] Las láminas se laminaron en caliente, a continuación, se enrollaron a 450 °C (ejemplos 1-6 y 9-10) o 730 °C (ejemplos 7 y 8). Las láminas se recocieron por lotes durante 4 días a 550 °C o 650 °C. Las láminas, después del recocido por lotes, se encurtieron y se laminaron en frío para obtener láminas con un espesor de 1,2 mm (ejemplos 1-6 y 9-10) o 1,6 mm (ejemplos 7 y 8), se recocieron, se templaron, se dividieron y se enfriaron a temperatura ambiente.

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

[0077] En la tabla II, THBA es la temperatura de recocido por lotes, T_R es la temperatura de recocido, t_R es el tiempo de recocido, Ms es la temperatura Ms, TT es la temperatura de temple, TP es la temperatura de partición, Tp es el tiempo de partición.

[0078] Las microestructuras y las propiedades mecánicas se presentan en la Tabla III.

[0079] 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), y RA es la fracción superficial de austenita retenida.

[0080] 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.

[0081] Todos los ejemplos se refieren a láminas sin recubrimiento.

Tabla II

Ejemplo	Acero	THBA (°C)	T _R (°C)	t _R (°C)	Ms (°C)	TT (°C)	TP (°C)	Tp (s)
1	a	550	870	100	367	230	400	200
2	a	550	870	100	367	200	400	200
3	a	550	850	100	351	200	400	200
4	b	550	850	100	352	250	440	200
5	b	650	850	100	335	250	440	200
6	c	550	850	100	352	250	440	200
7	d	650	870	188	350	250	450	433
8	d	650	870	79	350	250	450	181

(continuación)

Ejemplo	Acero	THBA (°C)	T _R (°C)	t _R (°C)	Ms (°C)	TT (°C)	TP (°C)	Tp (s)
9	<u>e</u>	550	830	100	380	200	400	300
10	<u>f</u>	550	850	100	370	220	440	200

Tabla III

Ejemplo	Acero	TM (%)	FM (%)	IF (%)	F (%)	RA (%)	B (%)	LE (MPa)	RT (MPa)	UE (%)	TE (%)	HER (%)
1	a	65	3	16	19	11	2	1088	1215	9,0	13,5	25
2	a	70	2	16	19	8	1	1039	1201	9,8	14	31
3	a	59	3	26	27	10	1	943	1181	13,2	17,3	32
4	b	55	2	19	21	9	13	1090	1227	11,0	15,2	40
5	b	43	2	29	31	10	14	946	1180	11,0	14,9	33
6	c	55	2	19	21	9	13	1083	1228	11,4	15,4	32
7	d	54	2	20	23	12	9	903	1212	10,9	16,2	46
8	d	54	2	20	23	12	9	974	1205	10,2	14,9	50
9	e	<u>35</u>	1	<u>46</u>	<u>47</u>	14	3	933	<u>1142</u>	10,4	14,3	37
10	f	<u>41</u>	1	<u>38</u>	<u>40</u>	<u>16</u>	2	952	<u>1111</u>	12,7	16,9	nd

5

[0082] En esta tabla, "nd" significa que el valor no fue determinado. Los valores subrayados no son según la invención.

[0083] Todos los ejemplos 1-8 tienen un contenido de C en la martensita templada inferior al 0,45 %.

10

[0084] Los ejemplos 1-8 muestran que, con un procedimiento según la invención, pueden obtenerse láminas de acero que tienen una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa y un alargamiento total de al menos el 12 %, e incluso de al menos el 13 %. Estas láminas de acero tienen un límite elástico de al menos 900 MPa, un alargamiento uniforme de al menos el 9,0 %, y generalmente de más del 11 %, y una relación de expansión de agujero HER de al menos el 25 %, e incluso de al menos el 30 %. El límite elástico y el alargamiento total se miden según el estándar ISO 6892-1. La relación de expansión HER se mide según la Norma ISO 16630: 2009.

15

[0085] Por el contrario, los ejemplos 9 y 10 muestran que si el contenido de Si + Al es inferior al 1,7 %, no se obtiene una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa.

20

[0086] Una micrografía de la microestructura del ejemplo 3 se muestra en la figura adjunta. En esta figura, RA designa la austenita retenida, TM designa la martensita templada e IF designa la ferrita intercrítica.

[0087] La lámina según la invención puede soldarse mediante soldadura por puntos de resistencia y puede usarse para la fabricación de diversas estructuras soldadas. Pero, cuando está recubierta con Zn o aleaciones de Zn, también puede soldarse si su composición cumple las condiciones $C+Si/10 \leq 0,30 \%$ y $Al \geq 6(C+Mn/10) - 2,5 \%$.

25

[0088] En particular, se puede producir una estructura soldada, incluyendo soldaduras 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 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.

30

35

[0089] 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 medio de grietas por soldadura por puntos de resistencia es inferior a 6.

[0090] 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 conformabilidad durante el procedimiento de fabricación y una alta absorción de energía en caso de colisión.

- 5 Las 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 que tiene una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa y un alargamiento total de al menos el 12 % medido según el estándar ISO 6892-1 y una relación de expansión de agujero HER de al menos el 25 % medida según el estándar ISO 16630:2009, 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 0,15 % ≤ C ≤ 0,23 %
 2,0 % ≤ Mn ≤ 2,8 %,
 1,0 % < Si < 2,1 %
 0,02 % ≤ Al ≤ 1,0 %, con 1,7 % ≤ Si+Al ≤ 2,1 %,
- 15 0 ≤ Nb ≤ 0,035 %,
- 0 ≤ Mo ≤ 0,3 %,
- 0 ≤ Cr ≤ 0,4 %,

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 hasta el 35 % de ferrita intercrítica,
 - templar la lámina a una velocidad de enfriamiento de al menos 20 °C/s desde una temperatura de al menos 600 °C hasta una temperatura de temple TT comprendida entre M_s-170 °C y M_s-80 °C,
 - calentar la lámina desde la temperatura de temple TT hasta una temperatura de partición TP entre 350 °C y 450 °C, y mantener la lámina a esta temperatura durante un tiempo de partición T_p comprendido entre 80 s y 440 s,
- 25 - enfriar inmediatamente la lámina hasta la temperatura ambiente,

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

- 30 - entre el 40 % y el 70 % de martensita templada, teniendo la martensita templada un contenido de C inferior al 0,03 %,
 - entre el 7 % y el 15 % de austenita retenida,
 - entre el 15 % y el 35 % de ferrita,
- 35 - como máximo el 5 % de martensita fresca,
 - como máximo el 15 % de bainita.

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 5 °C/s durante al menos 70 s hasta una temperatura superior o igual a 600 °C.

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 15 % 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.

4. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la lámina templada tiene, antes del calentamiento a la temperatura de partición TP, una estructura que consiste, en fracción superficial:

- 50 - entre el 15 % y el 35 % de ferrita,
 - entre el 10 % y el 30 % de austenita,
 - entre el 40 % y el 70 % de martensita,
 - como máximo el 15 % de bainita inferior.

5. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la etapa de proporcionar dicha lámina de acero laminada en frío comprende:

- 60 - 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 750 °C,
 - realizar un recocido por lotes a una temperatura THBA comprendida entre 500 °C y 700 °C durante un tiempo entre 2 y 6 días,
 - laminar en frío de dicha lámina de acero laminada en caliente para obtener dicha lámina de acero laminada en frío.

6. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, 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, preferentemente entre 3 s y 7 s.

7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la composición química del
5 acero satisface al menos una de las siguientes condiciones:

$C \geq 0,16 \%$,
 $C \leq 0,21 \%$,
 $Mn \geq 2,2 \%$,
10 $Mn \leq 2,7 \%$,
 $0,010 \% \leq Nb$,
 $Mo \leq 0,05 \%$, o $Mo \geq 0,1 \%$,
 $Cr \leq 0,05 \%$, o $Cr \geq 0,1 \%$.

15 8. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la composición química del acero es de tal forma que $C + Si/10 \leq 0,30 \%$ y $Al \geq 6(C+Mn/10) - 2,5 \%$.

9. El procedimiento según la reivindicación 8, en el que la composición química del acero es de tal forma que el $1,0 \% \leq Si < 1,3 \%$ y el $0,5 \% < Al < 1,0 \%$.

20

10. El procedimiento según la reivindicación 9, en el que el $1,0 \% \leq Si \leq 1,2 \%$ y el $0,6 \% \leq Al \leq 1,0 \%$.

11. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que, después de la etapa de enfriamiento de la lámina de acero a temperatura ambiente, la lámina de acero se recubre mediante un procedimiento electroquímico o mediante un procedimiento de revestimiento al vacío.

25

12. El procedimiento según la reivindicación 11, en el que la lámina de acero está recubierta con Zn o una aleación de Zn.

30 13. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la composición química del acero es de tal forma que el $1,3 \% \leq Si \leq 2,1 \%$ y el $0,02 \% \leq Al \leq 0,5 \%$.

14. Un procedimiento para producir una parte hecha de al menos dos piezas hechas de láminas de acero ensambladas por soldadura por puntos de resistencia, comprendiendo dicho procedimiento:

35

- proporcionar una primera pieza hecha de una primera lámina de acero producida por un procedimiento según la reivindicación 12,

- proporcionar una segunda pieza hecha de una lámina de acero producida por un procedimiento según la reivindicación 12,

40

- soldar por puntos de resistencia dicha primera pieza hecha de dicha primera lámina de acero a dicha segunda pieza hecha de una lámina de acero.

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

45 $0,15 \% \leq C \leq 0,23 \%$
 $2,0 \% \leq Mn \leq 2,8 \%$,
 $1,0 \% \leq Si \leq 2,1 \%$
 $0,02 \% \leq Al \leq 1,0 \%$, con $1,7 \% \leq Si+Al \leq 2,1 \%$, $0 < Nb < 0,035 \%$,
 $0 \leq Mo \leq 0,3 \%$,
50 $0 \leq Cr \leq 0,4 \%$,

siendo el resto Fe e impurezas inevitables,

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

55 - entre el 40 % y el 70 % de martensita templada, teniendo la martensita templada un contenido de C inferior al 0,03 %,

- entre el 7 % y el 15 % de austenita retenida,

- entre el 15 % y el 35 % de ferrita,

- como máximo el 5 % de martensita fresca,

60

- como máximo el 15 % de bainita.

16. La lámina de acero según la reivindicación 15, en la que la ferrita comprende, con respecto a la estructura completa, entre el 0 % y el 15 % de ferrita intercrítica, y entre el 0 % y el 35 % de ferrita de transformación.

65 17. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 16, en la que el contenido de C en la

austenita retenida está comprendido entre el 0,9 % y el 1,2 %.

18. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 17, en la que la lámina de acero tiene un límite elástico de al menos 900 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 1180 MPa y un alargamiento total de al menos el 12 % medido según la norma ISO 6892-1, y una relación de expansión de agujero HER de al menos el 25 % medida según la norma ISO 16630:2009.

19. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 18, en la que la composición química del acero satisface al menos una de las siguientes condiciones:

10

$C \geq 0,16 \%$,
 $C \leq 0,21 \%$,
 $Mn \geq 2,2 \%$,
 $Mn < 2,7 \%$,

15

$0,010 \% \leq Nb$,
 $Mo \leq 0,05 \%$, o $Mo \geq 0,1 \%$,
 $Cr \leq 0,05 \%$, o $Cr \geq 0,1 \%$.

20. La lámina de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 15 a 19, en la que la composición química del acero es de tal forma que $C + Si/10 \leq 0,30 \%$ y $Al \geq 6 (C+Mn/10)-2,5 \%$.

21. La lámina de acero según la reivindicación 20, en la que la composición química del acero es de tal forma que el $1,0 \% < Si < 1,3 \%$ y el $0,5 \% < Al \leq 1,0 \%$.

22. La lámina de acero de acuerdo con la reivindicación 21, en la que el $1,0 \% \leq Si < 1,2 \%$ y el $0,6 \% \leq Al \leq 1,0 \%$.

23. La lámina de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 15 a 20, en la que la composición química del acero es de tal forma que el $1,3 \% \leq Si \leq 2,1 \%$ y el $0,02 \% \leq Al \leq 0,5 \%$.

30

24. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 20 a 22, en la que la lámina de acero está recubierta con Zn o una aleación de Zn, siendo el recubrimiento resultado del uso de un procedimiento electroquímico o un procedimiento de recubrimiento al vacío.

25. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 24, en la que el grosor de dicha lámina de acero está comprendido entre 0,7 y 3 mm, preferentemente entre 0,8 y 2 mm.

26. Estructura soldada que comprende al menos diez soldaduras por puntos de resistencia de al menos dos partes hechas de láminas de acero, en la que una primera lámina de acero es según la reivindicación 24, y una segunda lámina de acero es según la reivindicación 24, y en la que el número medio de grietas por soldadura por puntos de resistencia es inferior a 6.

27. Uso de una lámina de acero fabricada según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, o de una lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 15 a 25, para la fabricación de piezas estructurales en vehículos de motor.

28. Uso de una soldadura por puntos de resistencia producida según la reivindicación 14, o de una estructura soldada según la reivindicación 26, para la fabricación de piezas estructurales en vehículos de motor.

