

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 803 220**

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: **20.12.2016** **PCT/EP2016/082037**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.06.2017** **WO17108866**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2016** **E 16822986 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2020** **EP 3394300**

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/IB2015/059839

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

25.01.2021

73 Titular/es:

**ARCELORMITTAL (100.0%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:

**GOSPODINOVA, MAYA;
HEBERT, VÉRONIQUE y
VENKATASURYA, PAVAN**

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 803 220 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, se sabe 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 A_{c3} , a una temperatura de mantenimiento por encima del punto de transformación M_s , y manteniendo la lámina a la temperatura durante un tiempo determinado.

20

[0004] Por ejemplo, el documento JP 2012041573 describe un procedimiento para fabricar una lámina de acero TRIP, que comprende del 10 al 93 % de la suma de ferrita y bainita, del 5 al 30 % de austenita retenida, del 5 al 20 % de martensita y hasta el 5 % de perlita. Este procedimiento comprende las etapas de recocido de una lámina de acero laminada en frío o en caliente, enfriamiento de la lámina de acero a una temperatura de parada de enfriamiento y retención de la lámina a esta temperatura durante 1 s a 1000 s. Durante la retención a la temperatura de parada de enfriamiento, la austenita primero se transforma parcialmente en bainita. Luego, las particiones de carbono de la bainita a la austenita. Sin embargo, según los ejemplos del documento JP 2012041573, no se forma martensita después del enfriamiento a la temperatura de parada de enfriamiento y antes de la retención a esta temperatura. Como resultado, la martensita presente en la estructura, resultante del enfriamiento final, no se divide y conserva un contenido de C relativamente alto, lo que conduce a un alto límite elástico y una formabilidad insatisfactoria.

30

[0005] 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.

35

[0006] A este respecto, es deseable tener láminas revestidas y no revestidas que tengan una resistencia a la tracción RT de al menos 980 MPa, un alargamiento total AT de al menos el 16 %, preferentemente de al menos el 17 %, sin embargo, preferentemente de al menos el 18 %, y una relación de expansión de agujero HER de al menos el 20 %. 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 medición, en particular debido a las diferencias en las geometrías de la muestra utilizada, los valores del alargamiento total según la norma ISO son muy diferentes, y en particular, son más bajos, que los valores del alargamiento total medidos según la norma 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).

40

45

[0007] También es deseable tener láminas de acero recubiertas y no recubiertas que tengan las propiedades mecánicas o características que se han mencionado anteriormente, en un intervalo de espesor de 0,7 a 3 mm, y más preferentemente en el intervalo de 0,8 a 2 mm.

50

[0008] Por lo tanto, la presente invención tiene como objetivo proporcionar una lámina con las características mecánicas y propiedades mecánicas mencionadas anteriormente y un procedimiento para producirla.

55

[0009] El documento JP 2012041573A describe una placa de acero de alta resistencia que contiene (en % de masa) 0,05-0,35 % C, 0,05-2,0 % Si, 0,8-3,0 % Mn, 0,0010-0,1 % P, 0,0005-0,05 % S, 0,0010-0,010 % N, 0,01-2,0 % Al y hierro restante e impurezas inevitables. La placa de acero tiene microestructura que contiene una fase de ferrita y una fase de bainita en la proporción de superficie del 10 al 93 %, fase de austenita retenida en una proporción de superficie del 5 al 30 % y una fase martensítica en la proporción de superficie del 5 al 20 %.

60

[0010] La invención se refiere a un procedimiento para producir una lámina de acero según la reivindicación 1.

[0011] Preferiblemente, el procedimiento comprende una o más de las características de las reivindicaciones 2 a 16.

65

[0012] La invención también se refiere a un proceso para producir una soldadura por puntos de resistencia de al menos dos láminas de acero según la reivindicación 17.

5 **[0013]** La invención se refiere también a una lámina de acero según la reivindicación 18.

[0014] Preferentemente, la lámina de acero comprende una o más de las características de las reivindicaciones 19 a 29.

10 **[0015]** Aún preferentemente, el límite elástico está comprendido entre 550 y 860 MPa. Especialmente, un límite elástico inferior a 860 MPa permite garantizar una excelente formabilidad.

[0016] La invención también se refiere a un procedimiento según la reivindicación 30.

[0017] La invención también se refiere a una lámina de acero según la reivindicación 31.

15 **[0018]** La invención se refiere además al uso de una soldadura por puntos de resistencia o de una estructura soldada según la reivindicación 32.

[0019] La invención se describirá ahora en detalle con referencia a la Figura adjunta, pero sin introducir limitaciones.

[0020] La composición del acero según la invención comprende, en un porcentaje del peso:

25 - 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 0,17 %, 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 980 MPa.

30 - Del 1,4 % al 2,6 % de manganeso. El mínimo se define como tener una templabilidad suficiente para obtener una microestructura que contenga al menos el 11% de martensita templada, y una resistencia a la tracción de más de 980 MPa. El máximo se define para evitar tener problemas de segregación que son perjudiciales para la ductilidad. Preferentemente, el contenido de manganeso es superior o igual al 1,9%, y/o inferior o igual al 2,5%.

- Del 0,6 % al 1,5 % de silicio y del 0,02 % al 1,0 % de aluminio, estando la suma del contenido de silicio y aluminio comprendida entre el 1,0 % y el 2,0 %.

35 **[0021]** 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".

40 **[0022]** 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.

[0023] 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.

45 **[0024]** 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 1,0 % en peso (pero menos del 2,0%). 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 1,5% para evitar la formación de óxidos de silicio en la superficie de la lámina, lo que sería perjudicial para la capacidad de recubrimiento.

55 **[0025]** 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 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

60 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.

[0026] 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 $6(C+Mn/10) - 2,5\%$.

[0027] 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 de al menos el 0,020 %. Según esta primera realización, el contenido de Si está entre el 1,0 % y el 1,5 %. En esta realización, C +Si/10 puede ser, por ejemplo, superior al 0,30 %.

[0028] Según una segunda realización, particularmente cuando debe considerarse el problema de LME, en particular cuando la lámina está recubierta con Zn o aleaciones de Zn, C +Si/10 tiene que ser inferior o igual a 0,30 %. Esto significa que Si debe permanecer por debajo del 1,0 % al menos cuando C es superior al 0,2 %. Por lo tanto, se añade Al en cantidades más importantes para reemplazar al menos parcialmente Si para estabilizar la austenita y reducir la sensibilidad a LME cuando los contenidos de C y/o Mn son demasiado altos. En esta segunda realización, el contenido de Al es tal que $Al \geq 6(C + Mn/10) - 2,5 \%$ y $Si + Al \geq 1,0 \%$; por lo tanto, Al está comprendido preferentemente entre el 0,5 % y el 1,0 % y Si está comprendido entre el 0,6 % y el 1,3 %, preferentemente el 0,7 % y el 1 %. 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.

- 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 durante el tratamiento térmico final. Un contenido de Nb del 0,010 % al 0,035 % permite obtener un límite elástico satisfactorio y niveles de alargamiento, en particular un límite elástico de al menos 550 MPa, e incluso siempre de al menos 600 MPa cuando las láminas no están recubiertas por inmersión en caliente.

- Del 0 % al 0,3 % de molibdeno y del 0 % al 0,3 % de cromo. Pueden añadirse Mo y Cr para aumentar la templabilidad y estabilizar la austenita retenida para reducir considerablemente la descomposición de la austenita durante la partición. Según una realización, el molibdeno y el cromo solo se pueden mantener a un nivel bajo, y sus contenidos pueden ser inferiores al 0,05 % de cada uno, correspondiendo un contenido de menos el 0,05 % a la presencia de Cr o Mo como elementos residuales. Cuando se añaden Mo y/o Cr voluntariamente, su contenido es de al menos el 0,1 %.

[0029] 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 17 % para el alargamiento total sea más difícil de alcanzar.

[0030] Cuando las láminas se recubren con Zn o aleaciones de Zn, la soldabilidad por puntos puede verse afectada por el fenómeno LME (fragilidad de metal líquido).

[0031] 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.

[0032] Esta prueba, que se denomina "prueba LME de Gleeble", se describe como se indica a continuación:

- 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 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.

- 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.

- 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,

-- 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.

[0033] 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.

[0034] 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.

[0035] Como ejemplos, se han realizado pruebas LME de Gleeble con aceros que tienen las siguientes composiciones:

S1: C = 0,226 %, Mn = 2,01 %, Si = 0,716. Al = 0,802 %, Cr = 0,097 %

S2: C = 0,204 %, Mn = 2,07 %, Si = 1,44 %, Al = 0,033 %, Cr = 0,341 %

Para S1, $C+Si/10 = 0,2976$ % y el desplazamiento crítico mínimo es de 2,25 mm.

Para S2, $C+Si/10 = 0,4412$ % y el desplazamiento crítico mínimo es de 0,9 mm.

[0036] 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.

[0037] 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,

- tiempo de soldadura: 3 pulsos de 180 ms separados por periodos de 40 ms (tiempos de enfriamiento),

- tiempo de mantenimiento: 400 ms.

[0038] 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.

[0039] Para los ejemplos S1 y S2, las proporciones del número de grietas para cada soldadura por puntos de resistencia son las siguientes:

- S1: prueba LME de Gleeble $\geq 1,5$ mm, el 80 % de las soldaduras por puntos de resistencia tienen menos de 10 grietas, y el 0 % tienen 20 o más grietas,

- S2: 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.

[0040] Si se considera el número medio de grietas en cada soldadura por puntos de resistencia, los resultados son los siguientes:

- S1: el número medio de grietas en cada soldadura por puntos de resistencia es 5,

- S2: el número medio de grietas en cada soldadura por puntos de resistencia es 10.

[0041] 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, y preferentemente superior a 850 °C, y el bobinado se realiza a una temperatura preferentemente comprendida entre 400 °C y 750 °C. Preferentemente, si $Si > 1,0\%$, la temperatura de bobinado es inferior a 550 °C.

[0042] Después del bobinado, la lámina tiene una estructura ferrito-perlítica o ferrito-perlito-bainítica.

[0043] Después del bobinado, opcionalmente 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.

[0044] 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 550 °C y 650 °C, durante un tiempo entre 2 y 6 días, preferentemente entre 3 y 5 días. Este tiempo incluye el calentamiento hasta la temperatura de recocido por lotes y el enfriamiento desde la temperatura de recocido por lotes hasta la temperatura ambiente.

[0045] Este recocido por lotes se realiza preferentemente en la primera realización de la composición de acero, en particular si el acero comprende más del 1,0 % de Si. En la segunda modalidad de la composición, se puede omitir la etapa de recocido por lotes.

[0046] 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.

[0047] A continuación, la lámina se trata térmicamente en una línea de recocido continuo o, si la lámina está recubierta por inmersión en caliente, preferentemente se trata en una línea combinada de recocido continuo y recubrimiento por inmersión en caliente.

[0048] El tratamiento térmico y el recubrimiento opcional comprenden las etapas de:

- recocer la lámina a una temperatura de recocido T_R comprendida entre Ac_1 y Ac_3 , y de manera que, al final de la etapa de recocido, el acero tenga una estructura que consiste en austenita y ferrita intercrítica, la fracción de austenita es de al menos un 40 % y la fracción de ferrita intercrítica es de al menos un 40 %. Ac_1 y Ac_3 designan respectivamente la temperatura del inicio y del final de la transformación en austenita durante la etapa de calentamiento. Un experto en la técnica sabe cómo determinar la temperatura de recocido T_R a partir de pruebas de dilatometría, o usando fórmulas semiempíricas.

[0049] La lámina se mantiene a la temperatura de recocido, es decir, se mantiene entre $T_R - 5^\circ C$ y $T_R + 5^\circ C$, durante un tiempo de recocido t_R preferentemente superior a 30 s, sin embargo, preferentemente más de 80 s pero que no necesita ser superior a 300.

- enfriar de forma opcional lentamente la lámina de la temperatura de recocido T_R a una temperatura de detención de enfriamiento, a una velocidad de enfriamiento inferior a 10 °C/s, preferentemente inferior a 5 °C/s, para formar ferrita de transformación sin formar perlita o bainita, para obtener una fracción de ferrita (ferrita intercrítica + ferrita de transformación) comprendida entre el 40 % y el 60 %. Esta etapa de enfriamiento lento tiene como objetivo formar ferrita, en particular si la fracción de ferrita intercrítica es inferior al 40%. En ese caso, la fracción de ferrita formada durante el enfriamiento lento es superior o igual al 40% de FI, siendo FI la fracción de ferrita intercrítica, e inferior o igual al 60% de FI. Si la fracción de ferrita intercrítica es de al menos el 40%, el enfriamiento lento es opcional. En cualquier caso, la fracción de ferrita formada durante el enfriamiento lento es inferior o igual al 60 % de FI, de manera que la fracción de ferrita total permanece como máximo al 60 %. Más generalmente, la fracción de ferrita formada durante el enfriamiento lento, si se realiza, comprende entre el 0 % y el 15 %, preferentemente al menos el 2 % y/o como máximo el 5 %. La temperatura de parada de enfriamiento es superior a la temperatura M_s de la austenita de la estructura y preferentemente comprende entre 750 °C y 600 °C. Un experto en la técnica sabe cómo determinar dicha temperatura. 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, denominada a continuación "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. En la micrografía, como se muestra en la figura, 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, FI designa la ferrita intercrítica, FT designa la ferrita de transformación, MF designa la martensita fresca, y AR 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.

- 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 ferrita y de bainita superior y granular. La velocidad de enfriamiento es preferentemente superior a 20 °C/s, sin embargo, preferentemente superior a 50 °C/s. Para cada

composición particular del acero y cada estructura, un experto en la técnica sabe cómo determinar el punto de transformación Ms 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 40 % y el 60 % de la suma de ferrita intercrítica y ferrita de transformación, al menos el 15 % de austenita, preferentemente entre el 15 % y el 35 %, al menos el 11 % de martensita, preferentemente entre el 11 % y el 40 % de martensita, y como máximo el 18 % de bainita inferior. Generalmente, la temperatura de temple TT se encuentra entre 180 °C y 260 °C. Si la temperatura de temple TT es inferior a 180 °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 10 %, de modo que el alargamiento total medido no alcanza el 16 %. Además, si la temperatura de temple TT es superior a 260 °C, la fracción de martensita templada es demasiado baja para obtener la resistencia a la tracción deseada. Preferiblemente, la temperatura de temple TT está comprendida entre 200 °C y 250 °C.

- 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.

- recalentar la lámina desde la temperatura de temple hasta una temperatura de partición TP entre 375 °C y 470 °C, y mantener la lámina a la temperatura de partición TP durante un tiempo de partición tP comprendido entre 25 s y 440 s. Durante esta etapa de partición, el carbono se reparte, es decir, se difunde desde la martensita hacia la austenita, que se enriquece así en carbono. El tiempo de partición tP depende de la temperatura de partición TP. Especialmente, el tiempo de partición tP está comprendido entre 100 s y 440 s si la temperatura de partición TP está comprendida entre 375 °C y 400 °C, comprendido entre 25 s y 440 s si la temperatura de partición TP está comprendida entre 400 °C y 450 °C, y comprendido entre 25 s y 150 s si la temperatura de partición TP está comprendida entre 450 °C y 470 °C. La tasa de recalentamiento puede ser alta cuando el recalentamiento se realiza mediante calentamiento por inducción, por ejemplo, entre 6 y 13 °C/s.

[0050] En una primera realización, la lámina se enfría inmediatamente a temperatura ambiente después de la etapa de partición, sin recubrirse con inmersión en caliente. En esta primera realización, la temperatura de partición TP está comprendida entre 375 °C y 450 °C, y preferentemente entre 400 °C y 450 °C, y el tiempo de partición tP está comprendido entre 100 s y 440 s, preferentemente entre 170 s y 430 s. Una temperatura de partición TP comprendida entre 375 °C y 450 °C y un tiempo de partición tP comprendido entre 100 s y 440 s permiten obtener un alargamiento total según ISO 6892-1 de al menos un 17 % cuando la lámina no está recubierta por inmersión en caliente.

[0051] En una segunda realización, la lámina se recubre por inmersión en caliente justo después de la etapa de mantenimiento de la lámina a la temperatura de partición TP, y a continuación se enfría a la temperatura ambiente. La etapa de recubrimiento por inmersión en caliente se tiene en cuenta al seleccionar la temperatura de partición TP y el tiempo de partición tP. En esta segunda modalidad, la temperatura de partición TP está comprendida entre 400 °C y 470 °C, y preferentemente entre 410 °C y 465 °C, y el tiempo de partición tP está comprendido entre 25 s y 150 s, preferentemente entre 40 s y 90 s. Cuando la lámina está recubierta por inmersión en caliente, si la temperatura de partición TP es superior a 470 °C o inferior a 400 °C, el alargamiento del producto final no es satisfactorio.

[0052] El recubrimiento por inmersión en caliente puede ser, por ejemplo, galvanizante, pero todo el recubrimiento por inmersión en caliente metálico es posible siempre que las temperaturas a las que se lleva la lámina durante el recubrimiento permanezcan por debajo de 480 °C. Cuando la lámina se galvaniza, se realiza con las condiciones habituales, por ejemplo, a través de un baño de Zn con una temperatura que oscila entre 430 y 480 °C. El acero según la invención se puede galvanizar con Zn o con una aleación de Zn, como por ejemplo, zinc-magnesio o zinc-magnesio-aluminio.

- inmediatamente después de la etapa de mantenimiento, o después de la etapa de recubrimiento por inmersión en caliente, 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, y si la lámina no está recubierta por inmersión en caliente, la lámina puede recubrirse mediante procedimientos electroquímicos, por ejemplo, electrogalvanizado, 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.

[0053] Este tratamiento térmico permite obtener una estructura final (es decir, después de la partición, recubrimiento opcional por inmersión en caliente y enfriamiento a temperatura ambiente) que consiste en, en fracción de área:

- austenita retenida, con una fracción superficial comprendida entre el 10 % y el 20 %,
- martensita templada, con una fracción superficial de al menos el 11 %, por ejemplo, comprendida entre el 11 % y 40 %,
- entre el 40 % y el 60 % de ferrita, incluido preferentemente, con respecto a toda la estructura, entre el 40 % y el 60 % de ferrita intercrítica y entre el 0 % y el 15 % de ferrita de transformación, preferentemente entre el 0 % y el 5 %,

- como máximo el 6 % de la martensita fresca, por ejemplo entre el 2 % y el 5 %,
- como máximo el 18 % de bainita, incluida bainita inferior.

[0054] Una fracción de austenita retenida de al menos el 10 %, junto con una fracción de ferrita de al menos el 40 %, permite obtener un alargamiento total de al menos un 16 %, y siempre de al menos un 17 % cuando la lámina no está recubierta por inmersión en caliente, el alargamiento se mide según la norma ISO 6892-1.

[0055] 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 %.

[0056] La martensita comprende martensita fresca y martensita templada.

[0057] La martensita templada, que es martensita dividida, tiene un contenido de C de como máximo el 0,45 %, 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.

[0058] Es necesario un contenido de C en la martensita templada (o dividida) de como máximo el 0,45 % para garantizar una estabilización suficiente de la austenita y, por lo tanto, un alargamiento total de al menos el 16 %. Además, un contenido de C en la martensita templada superior 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 de como máximo el 0,45 % permite lograr un límite elástico de como máximo 860 MPa y, por lo tanto, una alta conformabilidad de la lámina de acero.

[0059] El contenido de C en la martensita templada es generalmente como máximo del 0,03 %. Un contenido de C en la martensita templada de al menos el 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 20 %.

[0060] 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 inferior al 1,2 %. La fracción de martensita fresca en la estructura es inferior o igual al 6%. De hecho, una fracción de martensita fresca superior al 6 % daría lugar a una relación de expansión de agujero inferior al 20 % según la norma ISO 16630:2009.

[0061] Con este tratamiento térmico, pueden obtenerse láminas de acero que tienen un límite elástico LE de al menos 550 MPa, una resistencia a la tracción RT de al menos 980 MPa, un alargamiento total AT según la norma ISO 6892-1 de al menos el 16 %, e incluso superior al 17 %, y una relación de expansión de agujero HER según la norma ISO 16630: 2009 de al menos el 20 %, e incluso al menos el 30 %.

[0062] En particular, cuando las láminas no están recubiertas por inmersión en caliente, tienen un límite elástico LE de al menos 600 MPa, una resistencia a la tracción RT de al menos 980 MPa, un alargamiento total AT según la norma ISO 6892-1 de al menos el 17 %, e incluso superior al 18 %, y una relación de expansión de agujero HER según la norma ISO 16630: 2009 de al menos el 20 %, e incluso al menos el 30 %.

[0063] Con este tratamiento térmico, pueden obtenerse láminas de acero que tienen un límite elástico LE de al menos 550 MPa, una resistencia a la tracción RT de al menos 980 MPa, un alargamiento total AT según la norma ISO 6892-1 de al menos el 16 %, e incluso superior al 18 %, y una relación de expansión de agujero HER según la norma ISO 16630: 2009 de al menos el 20 %, e incluso al menos el 30 %.

Ejemplos:

[0064] 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.

Tabla I

Acero	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Al (%)	Nb (%)	Cr (%)	Mo (%)	(C+Si/10) (%)	Ac1 (°C)	Ac3 (°C)
I	0,18	2,5	1,2	0,6	res.	res.	res.	0,3	730	922
II	0,18	2,5	1,2	0,6	0,02	res.	res.	0,3	731	923
III	0,21	2,1	0,7	0,7	0,02	0,1	res.	0,28	723	1064

ES 2 803 220 T3

(continuación)

Acero	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Al (%)	Nb (%)	Cr (%)	Mo (%)	(C+Si/10) (%)	Ac1 (°C)	Ac3 (°C)
IV	0,19	2	1,5	0,04	res.	res.	0,15	0,34	nd	nd
V	0,21	1,87	1,46	0,04	0,015	0,2	res.	0,356	nd	nd

[0065] 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.

- 5 **[0066]** Las láminas se laminaron en caliente, a continuación, se enrollaron a 450 °C (aceros I-III y V) o 730 °C (acero IV). Las láminas se recocieron por lotes durante 4 días a 550 °C o 650 °C. Las láminas, después del bobinado o recocido por lotes, se encurtieron y se laminaron en frío para obtener láminas con un espesor de 1 mm, 1,2 mm o 1,6 mm, se recocieron, se templaron, se dividieron y se enfriaron a temperatura ambiente. Algunas de las láminas se recubrieron por inmersión en caliente mediante galvanización a 460 °C entre la partición y el enfriamiento a temperatura ambiente

[0067] Las condiciones de tratamiento se presentan en la Tabla II para las láminas no recubiertas y en la Tabla III para las láminas recubiertas.

15

Tabla II

Ejemplo	Acero	Tbobinado (°C)	el (mm)	THRL (°C)	TR (°C)	tR (s)	TT (°C)	TP (°C)	tP (s)
1	I	450	1,2	550	850	100	230	400	200
2	I	450	1,2	550	850	100	250	400	200
3	I	450	1,2	550	850	100	230	440	200
4	I	450	1,2	550	850	100	250	440	200
5	II	450	1,2	550	830	100	200	400	200
6	II	450	1,2	550	850	100	230	400	200
7	II	450	1,2	550	850	100	230	400	400
8	II	450	1,2	550	850	100	250	400	200
9	III	450	1,6	-	820	100	220	400	100
10	III	450	1	-	820	100	220	430	200
11	III	450	1	-	820	100	220	450	200
12	III	450	1	-	810	100	220	440	200
12*	III	450	1	-	810	100	220	440	200
13	III	450	1	-	820	100	230	420	200
14	III	450	1	-	830	100	230	420	200
15	III	450	1	-	840	100	250	400	200
16	III	450	1	-	820	100	250	440	200
17	III	450	1	-	820	100	250	440	300
18	III	450	1	-	820	100	250	440	200
19	III	450	1,6	-	820	100	250	440	200
20	IV	730	1,6	650	800	120	200	400	270
21	IV	730	1,6	650	800	120	220	430	200
22	IV	730	1,6	650	800	120	230	430	200
23	IV	730	1,6	650	820	80	220	430	180
24	V	450	1,6	650	820	188	225	400	433

(continuación)

Ejemplo	Acero	Tbobinado (°C)	el (mm)	THRL (°C)	TR (°C)	tR (s)	TT (°C)	TP (°C)	tP (s)
25	V	450	1,6	650	820	79	225	400	181

- [0068]** En esta tabla, Tbobinado es la temperatura de bobinado, el es el espesor de la lámina después del laminado en frío, THRL es la temperatura de recocido por lotes, TR es la temperatura de recocido, tR es el tiempo de recocido, TT la temperatura de temple, TP la temperatura de partición, tP el tiempo de partición. En la Tabla III, Ms designa la temperatura de inicio de martensita de la austenita resultante del recocido.

Tabla III

Ejemplo	Acero	Ms (°C)	Tbobinado (°C)	el (mm)	THRL (°C)	TR (°C)	tR (s)	TT (°C)	TP (°C)	tP (s)
26	II	317	450	1,2	550	850	100	230	460	60
27	III	280	450	1,6	-	820	100	220	460	30
28	III	280	450	1,6	-	820	100	220	460	60
29	III	280	450	1,6	-	820	100	220	460	80
30	III	280	450	1,6	-	820	100	250	460	60
31	III	280	450	1	-	820	100	250	460	60

- 10 **[0069]** 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, la tensión de tracción RT, el AU de alargamiento uniforme y el AT de alargamiento total se midieron según la norma ISO 6892-1, publicada en octubre de 2009, excepto el ejemplo 12*, que es idéntico al ejemplo 12, y los ejemplos 21, 22, 24 y 25, para los cuales estas propiedades se midieron según la norma JIS Z 2201-05.

- 15 **[0070]** Las propiedades mecánicas y las microestructuras obtenidas para las láminas que no se recubrieron por inmersión en caliente se informan en la Tabla IV. F es la fracción de área de ferrita, MT es la fracción de área de martensita templada, MF es la fracción de área de martensita fresca, ARes la fracción de área de austenita retenida y B es la fracción de área de bainita.

- 20 **[0071]** En todos estos ejemplos 1 a 25, el contenido de C de la martensita templada es como máximo del 0,45 %.

Tabla IV

Ejemplo	Acero	F (%)	MT (%)	MF (%)	AR (%)	B (%)	LE (MPa)	RT (MPa)	AU (%)	AT (%)	HER (%)
1	I	42	37	3	12	6	688	1051	14,1	18,4	49
2	I	42	32	2	10	14	666	1045	13,7	18,3	33
3	I	42	37	3	12	6	858	1094	13,9	18,7	33
4	I	42	32	2	12	12	639	1119	14,2	18,1	32
5	II	49	34	1	10	6	765	1156	14,7	18,5	27
6	II	42	37	5	12	4	698	1128	14,2	17,8	26
7	II	42	37	4	13	4	848	1134	13,6	17,2	29
8	II	42	32	3	10	13	776	1146	13,7	17,2	26
9	III	52	20	5	16	7	698	1028	10,8	17,1	40
10	III	52	20	3	12	13	732	1015	14,3	18,0	31
11	III	52	20	2	13	13	701	1032	13,9	18,2	36
12	III	53	21	2	14	10	633	995	15,1	18,5	28

(continuación)

Ejemplo	Acero	F (%)	MT (%)	MF (%)	AR (%)	B (%)	LE (MPa)	RT (MPa)	AU (%)	AT (%)	HER (%)
12*	III	53	21	3	14	9	642	994	15,7	21,1	28
13	III	52	20	5	14	9	720	990	14,6	18,4	35
14	III	48	27	5	13	7	725	987	14,7	18,4	31
15	III	46	24	5	15	10	811	1041	12,0	17,4	42
16	III	51	20	5	16	8	619	1014	16,0	19,6	28
17	III	51	20	4	18	7	664	1017	16,2	20,2	22
18	III	51	20	6	16	7	630	987	16,1	19,7	32
19	III	51	20	6	13	10	610	988	15,6	20,5	21
20	IV	46	39	3	11	1	664	994	12	17	28
21	IV	46	35	3	13	3	645	983	13,5	20,3	26
22	IV	46	34	3	13	4	617	980	14,5	21,4	29
23	IV	44	38	3	13	2	721	1010	12	17	31
24	V	57	11	2	12	18	665	994	15,2	21,8	28
25	V	57	11	2	12	18	604	985	16,2	24,6	23

[0072] Estos ejemplos muestran que, con un procedimiento según la invención, cuando no se realiza un recubrimiento por inmersión en caliente, pueden obtenerse láminas de acero que tienen una resistencia a la tracción de al menos 980 MPa y un alargamiento total según ISO 6892-1 de al menos el 17 %, e incluso de al menos el 18 %.

- 5 Estas láminas de acero también tienen un límite elástico de al menos 600 MPa, e inferior a 860 MPa, un alargamiento uniforme de al menos el 10 %, y generalmente de más del 13 %, y una relación de expansión de agujero HER según la norma ISO 16630: 2009 de al menos el 20 %, e incluso a menudo más del 30 %.

- 10 **[0073]** La comparación de los ejemplos 1-4 muestra que el procedimiento es muy sólido con variaciones de la temperatura de temple TT y la temperatura de partición TP. En particular, el ejemplo 10 muestra que cuando la lámina no está recubierta por inmersión en caliente, elegir una temperatura de partición TP comprendida entre 375 °C y 450 °C y un tiempo de partición tP comprendido entre 100 s y 440 s, en particular superior a 100 s permite lograr un alargamiento total de al menos el 17 %.

- 15 **[0074]** Además, la comparación de las elongaciones totales medidas para los ejemplos 12 y 12* demuestran que los valores del alargamiento total AT según la norma ISO son inferiores, en este caso aproximadamente un 3 % inferiores, a los valores de la elongación total según la norma JIS Z 2201-05.

- 20 **[0075]** Las propiedades mecánicas y la microestructura obtenidas para las láminas recubiertas por inmersión en caliente se informan en la Tabla V. Como anteriormente, AT se mide según ISO 6892-1 y HER según ISO 16630:2009. Además, F es la fracción de área de ferrita, MT es la fracción de área de martensita templada, MF es la fracción de área de martensita fresca, AR es la fracción de área de austenita retenida y B es la fracción de área de bainita.

25 Tabla V

Ejemplo	Acero	F (%)	MT (%)	MF (%)	AR (%)	B (%)	LE (MPa)	RT (MPa)	AU (%)	AT (%)	HER (%)
26	II	43	37	3	15	2	588	1217	12,9	16,4	21
27	III	52	20	5	10	13	722	1027	12,0	16,8	30
28	III	52	20	4	11	13	732	1022	12,8	17,9	40
29	III	52	20	3	11	14	707	1020	13,8	18,7	37
30	III	52	14	2	17	15	550	1003	15,1	19,8	29
31	III	52	14	2	19	13	605	1026	14,2	17,9	21

[0076] En los ejemplos 26-31, el contenido de C de la martensita templada es como máximo del 0,45 %.

[0077] Estos ejemplos muestran que, con un procedimiento según la invención, pueden obtenerse láminas de acero recubiertas por inmersión en caliente que tienen una resistencia a la tracción de al menos 980 MPa y un alargamiento total según ISO 6892-1 de al menos el 16 %, e incluso de al menos el 18 %. Estas láminas de acero también tienen un límite elástico de al menos 550 MPa, e inferior a 860 MPa, un alargamiento uniforme de al menos el 12 %, y una relación de expansión de agujero HER según la norma ISO 16630: 2009 de al menos el 20%, e incluso más del 30 %.

[0078] 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 $C+Si/10 \leq 0,30 \%$. 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 %.

[0079] 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 $+Si/10 \leq 0,30 \%$ 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 recubierta con Zn o una aleación de Zn, y soldando por puntos de resistencia la primera lámina de acero a la segunda lámina de acero.

[0080] 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.

[0081] 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. 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 980 MPa, un alargamiento total según la norma ISO 6892-1 de al menos el 16 %, y una relación de expansión de agujero HER según la norma ISO 16630:2009 de al menos el 20 %, 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 $0,15 \% \leq C \leq 0,23\%$
 $1,4 \% \leq Mn \leq 2,6 \%$
 $0,6\% \leq Si \leq 1,5\%$
 $0,02 \% \leq Al \leq 1,0 \%$;
con el $1,0 \% \leq Si+Al \leq 2,0 \%$,

15 $0 \leq Nb \leq 0,035 \%$,
 $0 \leq Mo \leq 0,3 \%$,
 $0 \leq Cr \leq 0,3 \%$;
 $Ni < 0,05 \%$;
 $Cu < 0,03 \%$;
20 $V < 0,007 \%$,
 $B < 0,0010 \%$;
 $S < 0,005 \%$;
 $P < 0,02 \%$;
 $N < 0,010 \%$,

25
 - siendo el resto Fe e impurezas inevitables,
 - recocer la lámina de acero a una temperatura de recocido TR comprendida entre Ac1 y Ac3 para obtener una estructura que comprenda al menos el 40 % de austenita y como máximo el 40 % de ferrita intercrítica,
 - templar la lámina desde una temperatura de al menos 600 °C a una velocidad de enfriamiento de al menos 20 °C/s hasta una temperatura de temple TT comprendida entre 180 °C y 260 °C,
 - calentar la lámina hasta una temperatura de partición TP entre 375 °C y 470 °C y mantener la lámina a esta temperatura de partición TP durante un tiempo de partición tP comprendido entre 25 s y 440 s, estando el tiempo de partición tP comprendido entre 100 s y 440 s si la temperatura de partición TP está comprendida entre 375 °C y 400 °C, y comprendido entre 25 s y 150 s si la temperatura de partición TP está comprendida entre 450 °C y 470 °C,
 - enfriar la lámina a temperatura ambiente,
- teniendo la lámina de acero una microestructura final que consiste, en fracción de área, en:

40 - al menos el 11 % de martensita templada, teniendo la martensita templada un contenido de C de como máximo el 0,45 %,
- entre el 10% y el 20% de austenita retenida,
- entre el 40% y el 60% de ferrita,
- como máximo el 6% de martensita fresca,

45 - como máximo el 18% de bainita.
2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que la martensita templada tiene un contenido de C de como máximo el 0,03 %.
3. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la lámina templada tiene, justo antes del calentamiento a la temperatura de partición TP, una estructura que consiste en:
 - entre el 40% y el 60% de ferrita,
 - al menos el 15 % de austenita retenida,
 - al menos el 11 % de martensita, y
 - como máximo el 18% de bainita inferior.
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el procedimiento comprende, entre la etapa de recocido y la etapa de templado, una etapa de enfriamiento lento de la lámina a una temperatura superior o igual a 600 °C a una velocidad de enfriamiento inferior a 10 °C/s.
5. El procedimiento según la reivindicación 4, en el que la ferrita comprende, en fracción de área con respecto a toda la estructura, entre el 40 % y el 60 % de ferrita intercrítica, y entre el 0 % y el 15 % de ferrita de transformación, estando dicha ferrita de transformación formada durante la etapa de enfriamiento lento.

6. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que 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 T_c comprendida entre 400 °C y 750°C,
- realizar un recocido por lotes a una temperatura $THRL$ comprendida entre 500 °C y 700 °C durante un tiempo comprendido 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.

7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, 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.

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

- $C \geq 0,17 \%$,
- $C \leq 0,21 \%$,
- $Mn \geq 1,9 \%$,
- $Mn \leq 2,5 \%$,
- $0,010 \% \leq Nb$,
- $Mo \leq 0,05 \%$, o
- $Mo \geq 0,1 \%$,
- $Cr \leq 0,05 \%$, o
- $Cr \geq 0,1 \%$.

9. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que, entre el mantenimiento de la lámina a la temperatura de partición TP y el enfriamiento de la lámina a la temperatura ambiente, la lámina de acero se recubre por inmersión en caliente a una temperatura no superior a 480 °C, y en el que la temperatura de partición TP está comprendida entre 400 °C y 470 °C y el tiempo de partición tP está comprendido entre 25 s y 150 s.

10. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que, después de mantener la lámina a la temperatura de partición TP , la lámina se enfría inmediatamente a la temperatura ambiente, y en el que la temperatura de partición TP está comprendida entre 375 °C y 450 °C y el tiempo de partición tP está comprendido entre 100 s y 440 s.

11. El procedimiento según la reivindicación 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 por medio de un procedimiento de revestimiento al vacío.

12. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 9 u 11, en el que la lámina de acero está recubierta con Zn o una aleación de Zn.

13. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que la composición química del acero es de tal forma que $C + Si/10 \leq 0,30 \%$ y $Al \geq 6(C + Mn/10) - 2,5 \%$.

14. El procedimiento según la reivindicación 13, en el que la composición química del acero es de tal forma que $0,6 \% \leq Si \leq 1,3 \%$ y $0,5 \% < Al \leq 1,0 \%$.

15. El procedimiento según la reivindicación 14, en el que $0,7 \% \leq Si < 1,0 \%$ y $0,7 \% \leq Al \leq 1,0 \%$.

16. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que la composición química del acero es de tal forma que $1,0 \% \leq Si \leq 1,5 \%$ y $0,02 \% \leq Al \leq 0,5 \%$.

17. Un proceso para producir una soldadura por puntos de resistencia de al menos dos láminas de acero, comprendiendo dicho proceso:

- producir una primera lámina de acero mediante un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, recubierta con Zn o una aleación de Zn,
- proporcionar una segunda lámina de acero producida mediante un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, recubierta con Zn o una aleación de Zn,
- soldar por puntos de resistencia dicha primera lámina de acero a dicha segunda lámina de acero.

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

- 5 0,15 % ≤ C ≤ 0,23 %
 1,4 % ≤ Mn ≤ 2,6 %
 0,6 % ≤ Si ≤ 1,5 %
 0,02 % ≤ Al ≤ 1,0 %;
 con el 1,0 % ≤ Si+Al ≤ 2,0 %,
 0 ≤ Nb ≤ 0,035 %,
 0 ≤ Mo ≤ 0,3 %,
 10 0 ≤ Cr ≤ 0,3 %;
 Ni < 0,05 %;
 Cu < 0,03 %;
 V < 0,007 %;
 B < 0,0010 %;
 15 S < 0,005 %;
 P < 0,02 %;
 N < 0,010 %,

siendo el resto Fe e impurezas inevitables,

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

- 25 - al menos el 11 % de martensita templada, teniendo la martensita templada un contenido de C de como máximo el 0,45 %,
 - entre el 10% y el 20% de austenita retenida,
 - entre el 40% y el 60% de ferrita,
 - como máximo el 6% de martensita fresca,
 - como máximo el 18% de bainita.

19. La lámina de acero según la reivindicación 18, en la que la martensita templada tiene un contenido de C de, como máximo, el 0,03 %.

20. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 18 o 19, en la que la ferrita comprende, con respecto a toda la estructura, entre el 40 % y el 60 % de ferrita intercrítica, y entre el 0 % y el 15 % de ferrita de transformación.

21. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 20, en la que el contenido de C en la austenita retenida está comprendido entre el 0,9 % y el 1,2 %.

22. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 21, en la que la lámina de acero tiene un límite elástico de al menos 550 MPa, una resistencia a la tracción de al menos 980 MPa, un alargamiento total según ISO 6892-1 de al menos el 16 %, y una relación de expansión de agujero HER según ISO 16630: 2009 de al menos el 20 %.

23. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 22, en la que la composición química del acero cumple al menos una de las siguientes condiciones:

- 50 C ≥ 0,17 %,
 C ≤ 0,21 %,
 Mn ≥ 1,9 %,
 Mn ≤ 2,5 %,
 Mo ≤ 0,05 %, o
 Mo ≥ 0,1 %,
 0,010 % ≤ Nb,
 Cr ≤ 0,05 %, o
 55 Cr ≥ 0,1 %.

24. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 23, en la que la composición química del acero es de tal forma que C+Si/10 ≤ 0,30 % y Al ≥ 6 (C+Mn/10)-2,5 %.

25. La lámina de acero según la reivindicación 24, en la que la composición química del acero es de tal forma que 0,6 % ≤ Si ≤ 1,3 % y 0,5 % < Al ≤ 1,0 %.

26. La lámina de acero según la reivindicación 25, en la que 0,7 % ≤ Si < 1,0 % y 0,7 % ≤ Al ≤ 1,0 %.

27. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 23, en la que la composición química

del acero es de tal forma que $1,0 \% \leq \text{Si} \leq 1,5 \%$ y $0,02 \% \leq \text{Al} \leq 0,5 \%$.

28. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 24 a 26, en la que la lámina de acero está recubierta con Zn o una aleación de Zn, siendo el recubrimiento resultado de un recubrimiento a una temperatura inferior a 480 °C.
29. La lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 28, en la que el espesor de dicha lámina de acero está comprendido entre 0,7 y 3 mm, preferentemente entre 0,8 y 2 mm.
- 10 30. 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 28, y una segunda lámina de acero es según la reivindicación 28, y en la que el número medio de grietas por soldadura por puntos de resistencia es inferior a 6.
- 15 31. Uso de una lámina de acero producida según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, o de una lámina de acero según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 29, para la fabricación de piezas estructurales en vehículos de motor.
32. Uso de una soldadura por puntos de resistencia fabricada según la reivindicación 17, o de una estructura soldada según la reivindicación 30, para la fabricación de piezas estructurales en vehículos de motor.
- 20

