

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 005 182**

51 Int. Cl.:

C21D 1/76	(2006.01)
C21D 1/26	(2006.01)
C21D 9/56	(2006.01)
C25D 5/50	(2006.01)
C25D 7/06	(2006.01)
C23C 2/40	(2006.01)
C23C 2/06	(2006.01)
C23C 2/02	(2006.01)
C23C 28/02	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.11.2018 PCT/IB2018/058991**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **23.05.2019 WO19097440**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.11.2018 E 18808512 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2024 EP 3710612**

54 Título: **Procedimiento para la fabricación de una lámina de acero recubierta de zinc resistente a la fragilización por un metal líquido**

30 Prioridad:
17.11.2017 WO PCT/IB2017/057196

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.03.2025

73 Titular/es:
**ARCELORMITTAL (100.00%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:
**CHAKRABORTY, ANIRBAN;
GHASSEMI-ARMAKI, HASSAN;
BERTHO, PASCAL y
ALLELY, CHRISTIAN**

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

ES 3 005 182 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 la fabricación de una lámina de acero recubierta de zinc resistente a la fragilización por un metal líquido

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de una lámina de acero recubierta a base de zinc. La invención resulta especialmente adecuada para la fabricación de vehículos automotores.

10 Los recubrimientos a base de zinc se utilizan generalmente porque permiten la protección contra la corrosión, gracias tanto a la protección de barrera como a la protección catódica. El efecto de barrera se obtiene mediante la aplicación del recubrimiento metálico sobre la superficie del acero. De este modo, el recubrimiento metálico evita el contacto entre el acero y la atmósfera corrosiva. El efecto de barrera es independiente de la naturaleza del recubrimiento y del sustrato. Por el contrario, la protección catódica sacrificial se basa en el hecho de que el zinc es un metal menos noble que el acero. De este modo, si se produce corrosión, el zinc se consume preferiblemente en comparación con el acero.

15 La protección catódica es esencial en áreas donde el acero está expuesto directamente a la atmósfera corrosiva, como los bordes cortados donde el zinc circundante se consumirá antes que el acero.

20 Sin embargo, cuando se realizan etapas de calentamiento en dichas láminas de acero recubiertas de zinc, por ejemplo, endurecimiento por prensado en caliente, soldadura, se observan grietas en el acero que se propagan desde la interfaz acero/recubrimiento. De hecho, ocasionalmente, hay una reducción de las propiedades mecánicas del metal, tales como la ductilidad, debido a la presencia de grietas en la lámina de acero recubierta después de la operación anterior. Estas grietas aparecen debido a las siguientes condiciones: alta temperatura; contacto con un metal líquido que tiene un punto de fusión bajo (tal como el zinc), además de la presencia de tensión de tracción; difusión heterogénea del metal fundido en el grano del sustrato y en los límites de grano. La denominación para dicho fenómeno se conoce

25 como fragilización por un metal líquido (LME, por sus siglas en inglés), también denominada agrietamiento asistido por metal líquido (LMAC, por sus siglas en inglés)).

30 La solicitud de patente JPS589965 describe una lámina de acero tratada en la superficie obtenida sometiendo ambas superficies de una lámina de acero a electrodeposición con cualquiera de las siguientes aleaciones: Ni, Cr, Zn, Zn-Ni o Sn-Ni, y calentándola en una atmósfera no oxidante para formar una capa de difusión del metal de recubrimiento en el sustrato de acero, y sometiendo una superficie de la lámina de acero recubierta resultante a un proceso de galvanización por inmersión en caliente para formar una capa galvanizada. Se cita que el peso de recubrimiento de la capa galvanizada se puede reducir, lo que es extremadamente ventajoso desde el punto de vista de la soldabilidad y la eficiencia económica.

35 De hecho, la solicitud de patente anterior muestra que la lámina de acero tratada en la superficie tiene una soldabilidad mejorada únicamente debido a la disminución del peso del recubrimiento de zinc. Además, no se menciona ninguna mejora de la resistencia de LME, especialmente para aceros de alta resistencia que tienen elementos de aleación que incluyen Mn, Al y Si.

40 El documento JP 2008/144264 divulga un procedimiento para fabricar una lámina de acero galvanizado por inmersión en caliente de aleación de alta resistencia que comprende las etapas: prerecubrimiento de una lámina de acero que tiene una composición de acero que contiene, en porcentaje en masa, de 0,10 a 3,0 % de Si, con un metal y/o una aleación que contiene uno o más elementos seleccionados de [Z]: Fe, Ni, Co, Cu y Sn para satisfacer la expresión [Z]

45 $\geq 0,2 \times [\text{Si}]$, donde [Z] representa la masa de recubrimiento total del elemento de Z, y [Si] representa la cantidad de Si en el acero, antes de galvanizar por inmersión en caliente la lámina de acero; recocer la lámina de acero prerecubierta; y galvanizar por inmersión en caliente de la lámina de acero recocida.

50 El documento US 2014/349133 divulga un procedimiento de fabricación de una lámina de acero galvanizada por inmersión en caliente que incluye una lámina de acero base, una capa compuesta formada sobre la lámina de acero base y que incluye un metal de transición, una capa de inhibición formada sobre la capa compuesta y que incluye un compuesto intermetálico a base de hierro y aluminio (Fe-Al), y una capa recubierta de zinc (Zn) formada sobre la capa de inhibición, en el que un diámetro promedio de lentejuelas en la capa recubierta de zinc es de 150 μm o menos.

55 El documento JP2561331 B2 describe un procedimiento en el que la superficie de una lámina de acero que contiene al menos un 5 % de Cr se recubre con Ni de 0,01 a 3 μm de grosor. A continuación, la lámina de acero se somete a un tratamiento térmico a una temperatura prescrita en una atmósfera de un gas N₂ o H₂ o un gas mixto de N₂-H₂ que tiene un punto de rocío de 20 °C o menos y, a continuación, se somete a galvanización por inmersión en caliente.

60 Por tanto, el objetivo de la presente invención es proporcionar una lámina de acero recubierta que presente un comportamiento de alta resistencia a la LME. Se pretende, en particular, proporcionar un procedimiento fácil de implementar industrialmente para obtener un conjunto que sea susceptible a la resistencia a la LME, especialmente después del conformado por prensado en caliente y/o la soldadura.

65 El primer objetivo se logra proporcionando un procedimiento según la reivindicación 1. El procedimiento también puede comprender cualquiera de las características de las reivindicaciones 2 a 7.

Otras características y ventajas de la invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de la invención.

5 La denominación "acero" o "lámina de acero" significa una lámina de acero, una bobina, una placa que tiene una composición que permite que la pieza alcance una resistencia a la tracción de hasta 2500 MPa y más preferiblemente de hasta 2000 MPa. Por ejemplo, la resistencia a la tracción es superior o igual a 500 MPa, preferiblemente superior o igual a 980 MPa, ventajosamente superior o igual a 1180 MPa e incluso superior o igual a 1470 MPa.

10 La invención se refiere a un procedimiento para la fabricación de una lámina de acero recubierta que comprende las siguientes etapas sucesivas:

A. el recubrimiento de la lámina de acero con un primer recubrimiento que consiste en níquel y que tiene un grosor entre 750 nm y 950 nm, teniendo la lámina de acero la siguiente composición en porcentaje en peso

15 $0,10 < C < 0,40\%$
 $1,5 < Mn < 3,0\%$
 $0,7 < Si < 3,0\%$
 $0,05 < Al < 1,0\%$
 $0,75 < (Si + Al) < 3,0\%$

20 y de forma puramente opcional, uno o más elementos tales como

25 $Nb \leq 0,5\%$
 $B \leq 0,010\%$
 $Cr \leq 1,0\%$
 $Mo \leq 0,50\%$
 $Ni \leq 1,0\%$
 $Ti \leq 0,5\%$

30 el resto de la composición formada por hierro e impurezas inevitables resultantes de la elaboración,
 B. el recocido de recristalización de dicha lámina de acero recubierta a una temperatura comprendida entre 820 y 1200°C, realizado en una atmósfera que comprende de 1 a 10% de H₂ en un punto de rocío comprendido entre -30 y +30°C,

35 C. el recubrimiento de la lámina de acero obtenida en la etapa B) con un segundo recubrimiento a base de zinc que no comprende níquel.

40 Sin querer limitarnos a ninguna teoría, parece que para obtener una lámina de acero que tenga la composición específica anterior con alta resistencia a la LME, es una característica esencial depositar la primera capa de níquel sobre la lámina de acero antes del recocido de recristalización. Durante el recocido de recristalización, el Ni se difunde hacia el sustrato de lámina de acero permitiendo la formación de una capa de aleación Fe-Ni. De hecho, la capa rica en Ni se concentra en la región superficial y subsuperficial de la lámina de acero y, por lo tanto, impide la penetración de zinc líquido en el acero durante cualquier etapa de calentamiento, tal como la soldadura. Por lo tanto, al aplicar el procedimiento anterior según la presente invención, es posible obtener una capa de barrera o tampón que evita la LME.

45 Si el primer recubrimiento que consiste en níquel tiene un grosor inferior a 600 nm, existe la posibilidad de una disminución significativa del comportamiento de resistencia a LME de la lámina de acero recubierta específica anteriormente mencionada. De hecho, parece que no hay suficiente Ni presente en la región superficial y subsuperficial de la lámina de acero que proporcione una barrera suficiente contra LME.

50 Para la composición de acero anterior, si el primer recubrimiento consiste en níquel que tiene un grosor superior a 1400 nm, entonces después del recocido de recristalización la cantidad de hierro en la capa de aleación Fe-Ni que se forma en región superficial y subsuperficial es muy baja y es insuficiente para formar inhibición durante el proceso de galvanización por inmersión en caliente posterior. Debido a la presencia de una mayor cantidad de Ni, una cantidad considerable de Ni se difunde en el sustrato de acero durante el recocido de recristalización y, por otro lado, debido a la ausencia de una capa de inhibición, el Ni también se difunde en el recubrimiento galvanizado. Debido a la presencia de una mayor cantidad de Ni en el recubrimiento, el comportamiento de resistencia a LME se reduce. Además, la calidad del recubrimiento galvanizado es deficiente debido a la ausencia de una capa de inhibición junto con la presencia de una mayor cantidad de Ni en el recubrimiento.

60 El primer recubrimiento consiste en níquel, es decir, la cantidad de Ni es > 99 % en peso y < 1 % son impurezas inevitables.

65 El primer recubrimiento se puede depositar mediante cualquier procedimiento de deposición conocido por el experto en la materia. Se puede depositar mediante deposición al vacío o mediante un procedimiento de electrodeposición o

de recubrimiento por rodillos. Preferiblemente, se deposita mediante un procedimiento de electrodeposición.

Preferiblemente, en la etapa B), el recocido de recristalización es un recocido continuo que comprende etapas continuas de precalentamiento, calentamiento, remojo y enfriamiento.

El recocido de recristalización se lleva a cabo en una atmósfera que comprende de 1 a 10% de H₂ a un punto de rocío entre -30 y +30°C. De hecho, sin querer limitarnos a ninguna teoría, se cree que este punto de rocío mejora aún más la capacidad de recubrimiento de la lámina de acero según la presente invención sin una disminución considerable de ninguna propiedad mecánica.

Ventajosamente, en la etapa C), la segunda capa comprende más del 50%, más preferiblemente más del 75% de zinc y ventajosamente más del 90% de zinc. La segunda capa puede depositarse mediante cualquier procedimiento de deposición conocido por el experto en la materia. Puede ser mediante recubrimiento por inmersión en caliente, mediante deposición al vacío o mediante electrogalvanización.

Por ejemplo, el recubrimiento a base de zinc comprende de 0,01 a 8,0% de Al, opcionalmente de 0,2 a 8,0% de Mg, siendo el resto Zn.

Preferiblemente, el recubrimiento a base de zinc se deposita mediante el procedimiento de galvanización por inmersión en caliente. En esta realización, el baño fundido puede comprender también impurezas inevitables y elementos residuales procedentes de lingotes de alimentación o del paso de la lámina de acero en el baño fundido. Por ejemplo, las impurezas opcionales se eligen entre Sr, Sb, Pb, Ti, Ca, Mn, Sn, La, Ce, Cr, Zr o Bi, siendo el contenido en peso de cada elemento adicional inferior al 0,3% en peso. Los elementos residuales procedentes de los lingotes de alimentación o del paso de la lámina de acero en el baño fundido pueden ser hierro con un contenido de hasta el 5,0%, preferiblemente el 3,0% en peso.

En una realización preferida, la segunda capa consiste en zinc. Cuando el recubrimiento se deposita mediante un proceso de galvanización por inmersión en caliente, el porcentaje de Al está comprendido entre 0,15 y 0,40 % en peso en el baño. Además, el hierro presente en el primer recubrimiento después del recocido de recristalización reacciona con el aluminio y forma la capa de inhibición. De este modo, proporciona un comportamiento de humectación reactiva durante la galvanización por inmersión en caliente.

Con el procedimiento de acuerdo con la presente invención, se obtiene una lámina de acero recubierta con una capa de aleación difundida que comprende hierro y níquel formada a través de la difusión de níquel en el acero, capa que está directamente cubierta por una capa a base de zinc. Se cree que la capa de aleación difundida actúa como una capa de barrera contra LME.

Preferiblemente, la lámina de acero presenta una microestructura que comprende de 1 a 50% de austenita residual, de 1 a 60% de martensita y opcionalmente al menos un elemento seleccionado entre: bainita, ferrita, cementita y perlita. En este caso, la martensita puede ser templada o no templada.

En una realización preferida, la lámina de acero tiene una microestructura que comprende de 5 a 45 % de austenita residual.

Preferiblemente, la lámina de acero tiene una microestructura que comprende de 1 a 60% y más preferiblemente entre 10 a 60% de martensita templada.

Ventajosamente, la lámina de acero tiene una microestructura que comprende de 10 a 40% de bainita, comprendiendo dicha bainita de 10 a 20% de bainita inferior, de 0 a 15% de bainita superior y de 0 a 5% de bainita libre de carburo.

Preferiblemente, la lámina de acero tiene una microestructura que comprende de 1 a 25% de ferrita.

Preferiblemente, la lámina de acero tiene una microestructura que comprende de 1 a 15% de martensita sin revenir.

Ventajosamente, la lámina de acero tiene una capa descarbonada que tiene una profundidad máxima de 40 µm, preferiblemente máxima de 30 µm y más preferiblemente máxima de 20 µm en cada lado del área subsuperficial. La descarbonación se define en la norma ISO 3887:2017. De hecho, sin querer limitarnos a ninguna teoría, se cree que la capa descarbonada mejora aún más la resistencia a la LME sin disminuir considerablemente las propiedades mecánicas de la lámina de acero.

Preferiblemente, en la lámina de acero está presente una capa de óxidos interna con un grosor inferior o igual a 5 µm. Sin querer limitarnos a ninguna teoría, se cree que esta capa conduce a una buena capacidad de recubrimiento de zinc, ya que se forma la capa de inhibición continua de Fe₂Al₅ que representa una buena humectación reactiva.

Después de la fabricación de una lámina de acero, para producir algunas piezas de un vehículo, se conoce el

ensamblaje por soldadura de dos o más láminas metálicas. De este modo, durante la soldadura de al menos dos láminas metálicas se forma una junta soldada por puntos, siendo dicho punto la unión entre dichas al menos dos láminas metálicas.

5 Para producir una junta soldada por puntos, la soldadura se realiza con una corriente de soldadura efectiva entre 3 kA y 15 kA y la fuerza aplicada sobre los electrodos está entre 150 y 850 daN, siendo dicho diámetro de cara activa del electrodo entre 4 y 10 mm.

10 De esta manera, se obtiene una junta soldada por puntos de al menos dos láminas metálicas que comprenden al menos una lámina de acero, que comprende la lámina de acero recubierta producida de acuerdo con la presente invención. Dicha junta anterior contiene menos de 2 grietas que tienen un tamaño superior a 100 µm y en donde la grieta más larga tiene una longitud inferior a 450 µm.

15 Preferiblemente, la segunda lámina metálica es una lámina de acero o una lámina de aluminio. Más preferiblemente, la segunda lámina metálica es una lámina de acero según la presente invención.

En otra realización, la junta soldada por puntos comprende una tercera lámina metálica que es una lámina de acero o una lámina de aluminio. Por ejemplo, la tercera lámina metálica es una lámina de acero según la presente invención.

20 La lámina de acero o la junta soldada por puntos se pueden utilizar para la fabricación de piezas para vehículos automotores.

A continuación se explicará la invención mediante ensayos realizados a título informativo, sin que tengan carácter limitativo.

25 Ejemplos

Ejemplo 1: Optimización del grosor del recubrimiento de Ni con respecto al comportamiento de resistencia a LME

30 Para todas las muestras, las láminas de acero utilizadas tienen la siguiente composición en porcentaje en peso: C=0,37%, Mn=1,9%, Si=1,9%, Cr=0,35%, Al=0,05% y Mo=0,1%.

35 En el ensayo 1, el acero se recoció en una atmósfera que comprendía un 5 % de H₂ y un 95 % de N₂ a un punto de rocío de -45 °C. El recocido se llevó a cabo a 900 °C durante 132 segundos. Después de que el acero se templó a 210 °C, seguido de la partición a 410 °C durante 88 segundos. Finalmente, la lámina de acero se enfrió hasta temperatura ambiente. Sobre la lámina de acero recocida se aplicó un recubrimiento de zinc mediante el procedimiento de electrogalvanización.

40 En los ensayos 2 a 6, primero se depositó Ni mediante un procedimiento de electrodeposición con un grosor de 150, 400, 650, 900 nm y 1600 nm respectivamente sobre láminas de acero completamente endurecidas antes del recocido. Después de eso, las láminas de acero pre-recubiertas se recoció en una atmósfera que comprendía 5% de H₂ y 95% de N₂ a un punto de rocío de -45°C. El recocido se llevó a cabo a 900°C durante 132 segundos. Al final del recocido, las láminas de acero se enfriaron hasta una temperatura de temple de 210°C y se calentaron nuevamente a una temperatura de partición de 410°C. La partición se llevó a cabo durante 88 segundos y a continuación se calentó nuevamente hasta una temperatura de galvanización de 460°C y se aplicó un recubrimiento de zinc mediante un procedimiento de recubrimiento por inmersión en caliente utilizando un baño de zinc líquido que contenía 0,20% en peso de Al mantenido a 460°C. El objetivo de los ensayos anteriores es determinar el grosor óptimo del recubrimiento de Ni que proporcione un excelente comportamiento de resistencia a LME. La susceptibilidad de LME del acero recubierto anteriormente mencionado se evaluó mediante el procedimiento de soldadura por resistencia por puntos. Con este fin, para cada ensayo, se soldaron entre sí tres láminas de acero recubiertas mediante soldadura por resistencia por puntos. El tipo de electrodo era ISO Tipo B con un diámetro de cara de 6 mm; la fuerza del electrodo era de 5 kN y el caudal de agua era de 1,5 g/min. El ciclo de soldadura se indicó en la Tabla 1:

Tabla 1: Programa de soldadura para determinar el grosor óptimo del recubrimiento de Ni

Tiempo de soldadura	Pulsos	Pulso (ciclo)	Tiempo de enfriamiento (ciclo)	Tiempo de mantenimiento (ciclo)
Ciclo	2	12	2	15

55 El comportamiento de resistencia a las grietas por LME se evaluó utilizando condiciones de apilamiento de 3 capas. A continuación, se evaluó el número de grietas que tenían una longitud de grieta de más de 100 µm utilizando un microscopio óptico tal como se indica en la Tabla 2.

60 **Tabla 2.** Detalles de las grietas por LME después de soldadura por puntos (condiciones de apilamiento de 3 capas) para los ensayos 1 a 6.

Ensayos	Punto de rocío (°C)	1er recubrimiento	2º recubrimiento	Número de grietas por soldadura por puntos (> 100 µm)	Longitud máxima de grieta (µm)
Ensayo 1	-45°C	-	Zn (EG)	7	850
Ensayo 2	-45°C	Ni (150 nm)	Zn (GI)	3	620
Ensayo 3	-45°C	Ni (400 nm)	Zn (GI)	2	500
Ensayo 4	-45°C	Ni (650 nm)	Zn (GI)	2	420
Ensayo 5	-45°C	Ni (900 nm)	Zn (GI)	1	420
Ensayo 6	-45°C	Ni (1600 nm)	Zn (GI)	1	680

5 Los ensayos 4 y 5 de acuerdo con la presente invención muestran una excelente resistencia a la LME en comparación con los ensayos 1, 2, 3 y 6. De hecho, el número de grietas por encima de 100 µm es inferior o igual a 2 y la grieta más larga tiene una longitud inferior a 450 µm. Esto da como resultado una reducción de la cantidad de entrada de calor durante la soldadura por puntos y, por lo tanto, provoca una reducción significativa del número de formación de grietas debido a la LME.

10 El comportamiento de resistencia a las grietas por LME también se evaluó utilizando condiciones de apilamiento de 2 capas para los ensayos 1, 4 y 5. En esta condición, se soldaron entre sí dos láminas de acero recubiertas mediante soldadura por resistencia por puntos. A continuación, se evaluó el número de grietas superiores a 100 µm utilizando un microscopio óptico, tal como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3. Detalles de grietas por LME después de soldadura por puntos (condiciones de apilamiento de 2 capas) para los ensayos 1, 4 y 5.

Ensayos	Número de grietas por soldadura por puntos (> 100 µm)	Longitud máxima de grieta (µm)
Ensayo 1	3	750
Ensayo 4*	1	170
Ensayo 5*	1	300

15 Los ensayos 4 y 5 muestran una excelente resistencia a la LME en comparación con el ensayo 1. De hecho, el número de grietas por encima de 100 µm es de 1 y la grieta más larga tiene una longitud de 300 µm. Esto da como resultado una reducción de la cantidad de entrada de calor durante la soldadura por puntos y, por lo tanto, provoca una reducción significativa del número de formación de grietas debido a la LME.

20 A partir del ensayo anterior, se observó un excelente comportamiento de resistencia a LME cuando el grosor del recubrimiento de Ni se mantuvo entre 600 y 1400 nm. Para mejorar aún más la resistencia a LME, se modificó el área subsuperficial de la lámina de acero mediante la formación de una capa descarburada. El ejemplo 2 representa el efecto combinado de la capa descarburada junto con el recubrimiento de Ni que tiene un grosor específico.

25 Ejemplo 2: Efecto de la descarburación de la subsuperficie de acero junto con el recubrimiento de Ni en el comportamiento de resistencia a LME

30 Para evitar cualquier descarburación, en el ensayo 7, el acero se recoció en una atmósfera que comprendía un 5% de H₂ y un 95% de N₂ a un punto de rocío de -80°C. El recocido se llevó a cabo a 900°C durante 132 segundos. Después de que el acero se templó a 210°C y a continuación se realizó la partición a 410°C durante 88 segundos. Finalmente, la lámina de acero se enfrió hasta temperatura ambiente. Sobre la lámina de acero recocida se aplicó un recubrimiento de zinc mediante el procedimiento de electrogalvanización.

35 En los ensayos 8 y 9, primero se depositó Ni mediante un procedimiento de electrodeposición con un grosor de 900 nm sobre láminas de acero completamente endurecidas antes del recocido. Después de eso, las láminas de acero prerrecubiertas se recoció en una atmósfera que comprendía 5% de H₂ y 95% de N₂ a un punto de rocío de -80°C, para el ensayo 8, sin ninguna capa descarburada en el área subsuperficial del acero. Para el ensayo 9, el punto de rocío del recocido se mantuvo a -10°C con 5% de H₂ y 95% de N₂. Para los ensayos 8 y 9, el recocido se llevó a cabo a 900°C durante 132 segundos. Al final del recocido, las láminas de acero se enfriaron hasta una temperatura de temple de 210°C y nuevamente se calentaron a una temperatura de partición de 410°C. La partición se llevó a cabo durante 88 segundos. Finalmente, la lámina de acero se enfrió hasta temperatura ambiente. Sobre la lámina de acero recocida se aplicó un recubrimiento de zinc mediante el procedimiento de electrogalvanización.

45 La Tabla 4 compara el grosor de la capa descarburada cuando el acero se recoció a diferentes puntos de rocío sin y con recubrimiento de Ni. Sin comprometer las propiedades mecánicas del acero, el grosor de la capa descarburada se limitó controlando el punto de rocío del recocido.

Tabla 4. Grosor de la capa descarburada de la región subsuperficial de la lámina de acero después del recocido a

diferentes puntos de rocío

Ensayos	Punto de rocío (°C)	1er recubrimiento	2º recubrimiento	Capa descarburada
Ensayo 7	-80	-	Zn (EG)	0
Ensayo 8*	-80	Ni (900 nm)	Zn (EG)	0
Ensayo 9*	-10	Ni (900 nm)	Zn (EG)	15

*: según la presente invención.

La susceptibilidad a LME de los aceros recubiertos anteriores (ensayos 7, 8 y 9) se evaluó mediante el procedimiento de soldadura por resistencia por puntos. Para este fin, para cada ensayo, se soldaron entre sí tres láminas de acero recubiertas mediante soldadura por resistencia por puntos. El tipo de electrodo era ISO Tipo B con un diámetro de cara de 6 mm; la fuerza del electrodo era de 5 kN y el caudal de agua era de 1,5 g/min. El ciclo de soldadura se informó en la Tabla 5:

Tabla 5: Programa de soldadura para determinar el efecto combinado del recubrimiento de Ni y la capa descarburada

Tiempo de soldadura	Pulsos	Pulso (ciclo)	Tiempo de enfriamiento (ciclo)	Tiempo de mantenimiento (ciclo)
Ciclo	1	23	NA	18

El comportamiento de resistencia a las grietas por LME se evaluó utilizando condiciones de apilamiento de 2 capas para los ensayos 7, 8 y 9. En esta condición, se soldaron entre sí dos láminas de acero recubiertas mediante soldadura por resistencia por puntos. A continuación, se evaluó el número de grietas superiores a 100 µm utilizando un microscopio óptico, como se indica en la Tabla 6.

Tabla 5. Detalles de grietas por LME después de soldadura por puntos (condiciones de apilamiento de 2 capas) para los ensayos 7, 8 y 9.

Ensayos	Número de grietas por soldadura por puntos (> 100 µm)	Promedio de la suma de las longitudes totales de los tamaños de grieta por encima de 100 µm por punto de soldadura (µm)
Ensayo 7	3	573
Ensayo 8*	1	122
Ensayo 9*	1	0

Los ensayos 8 y 9 muestran una alta resistencia a LME en comparación con el ensayo 7. Además, para el ensayo 9, se observó un excelente comportamiento de resistencia a LME en la lámina de acero debido al efecto combinado de la capa descarburada con la capa de Ni que tiene un grosor específico.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la fabricación de una lámina de acero recubierta que comprende las siguientes etapas sucesivas:

5 A. el recubrimiento de la lámina de acero con un primer recubrimiento que consiste en níquel y que tiene un grosor entre 750 nm y 950 nm, teniendo la lámina de acero la siguiente composición en peso

10 $0,10 < C < 0,40\%$
 $1,5 < Mn < 3,0\%$
 $0,7 < Si < 3,0\%$
 $0,05 < Al < 1,0\%$
 $0,75 < (Si + Al) < 3,0\%$

15 y de forma puramente opcional, uno o más elementos tales como

20 $Nb \leq 0,5\%$
 $B \leq 0,010\%$
 $Cr \leq 1,0\%$
 $Mo \leq 0,50\%$
 $Ni \leq 1,0\%$
 $Ti \leq 0,5\%$

el resto de la composición formada por hierro e impurezas inevitables resultantes de la elaboración,

25 B. el recocido de recristalización de dicha lámina de acero recubierta a una temperatura comprendida entre 820 y 1200°C, realizado en una atmósfera que comprende de 1 a 10% de H₂ en un punto de rocío comprendido entre -30 y +30°C,

C. el recubrimiento de la lámina de acero obtenida en la etapa B) con un segundo recubrimiento a base de zinc que no comprende níquel.

30 2. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que en la etapa B), el recocido de recristalización es un recocido continuo.

35 3. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que en la etapa B), el recocido de recristalización se realiza en una atmósfera que comprende de 1 a 10% de H₂ a un punto de rocío entre -10 y +10°C.

4. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que en la etapa C), la segunda capa comprende más del 50% de zinc.

40 5. Procedimiento, según la reivindicación 4, en el que en la etapa C), la segunda capa comprende más del 75% de zinc.

6. Procedimiento según la reivindicación 5, en el que en la etapa C), la segunda capa comprende más del 90% de zinc.

45 7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que en la etapa C), la segunda capa consiste en zinc.