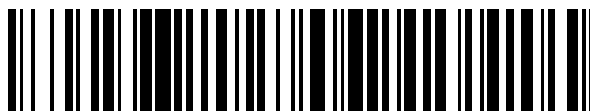


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 641 853**

51 Int. Cl.:

C21D 8/04 (2006.01)
C21D 9/46 (2006.01)
C21D 9/48 (2006.01)
C23C 2/06 (2006.01)
C23C 2/02 (2006.01)
B32B 15/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.07.2014** **PCT/IB2014/001258**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.01.2015** **WO15001414**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2014** **E 14759257 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2017** **EP 3017073**

54 Título: **Plancha de acero laminada en frío, procedimiento de fabricación y vehículo**

30 Prioridad:

04.07.2013 WO PCT/IB2013/001436

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.11.2017

73 Titular/es:

**ARCELORMITTAL INVESTIGAÇION Y
DESARROLLO, SL (100.0%)
CL/Chavarri, 6
48910 Sestao, Bizkaia, ES**

72 Inventor/es:

**DEL FRATE, FRANCO;
MATAIGNE, JEAN-MICHEL;
STAUDTE, JONAS;
PERLADE, ASTRID y
ZUAZO-RODRIGUEZ, IAN, ALBERTO**

74 Agente/Representante:

SALVA FERRER, Joan

ES 2 641 853 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

Plancha de acero laminada en frío, procedimiento de fabricación y vehículo

5 **[0001]** La invención se refiere a planchas de acero laminadas en frío, presentando al mismo tiempo altas propiedades mecánicas, una buena formabilidad y una buena capacidad de recibir un revestimiento.

[0002] En particular, dichas planchas de acero requieren una fuerza tensil TS por encima o igual a 1000 - 50xAl Mpa, una elongación uniforme UEL por encima o igual al 15%, una expansión de orificio HE por encima o igual al 20% y una superficie reactiva que permita la humectación y la adhesión del revestimiento.

[0003] Además, algunas realizaciones de dichas planchas de acero que contienen altas cantidades de silicio o aluminio pueden tener una baja densidad y ser un 10% más ligeras en comparación con los llamados Aceros avanzados de alta resistencia como los conceptos fase dual, multifase, bainíticos o TRIP (Plasticidad inducida por transformación).

[0004] En el sector de la automoción en concreto, existe una necesidad continua de aligerar los vehículos al tiempo que se aumenta la seguridad. Así, se han propuesto varias familias de aceros como las mencionadas anteriormente que ofrecen varios niveles de resistencia y formabilidad.

[0005] Primero, han sido propuestos aceros que tienen micro elementos de aleación cuyo endurecimiento se obtiene simultáneamente mediante precipitación y refinamiento del tamaño del grano. El desarrollo de dicho acero ha sido seguido por los Aceros avanzados de alta resistencia.

25 **[0006]** Con el fin de obtener niveles de fuerza tensil aún más altos, se han desarrollado aceros que exhiben un comportamiento TRIP con combinaciones altamente ventajosas de propiedades (fuerza/formabilidad tensil) Estas propiedades se asocian con la estructura de dichos aceros, que consisten en una matriz ferrítica que contiene bainita y austenita residual. La austenita residual se estabiliza mediante la adición de silicio o aluminio; estos elementos retardan la precipitación de carburos en la austenita y en la bainita. La presencia de austenita residual proporciona una ductibilidad alta de la plancha no deformada.

[0007] Para conseguir una fuerza tensil aún más alta, es decir un nivel más alto que 800-1000 MPa, se han desarrollado aceros multifase que tienen una estructura bainítica. Sin embargo, las propiedades de formabilidad y expansión del orificio son insuficientes para la próxima generación de piezas de automoción.

35 **[0008]** La solicitud europea EP2128293 describe una plancha de acero laminada en frío que comprende, por porcentaje de peso, C: 0,2 a 0,8 Mn: 2 a 10, Al: 3 a 15, Si: 0,1 a 2,0, Cr: 0,1 a 0,3, B: 0,0005 a 0,003, Ti: 0,01 a 0,2, Nb: 0,005 a 0,2, Fe equilibrado e impurezas. La microestructura contiene un 13,5% de austenita retenida, el resto siendo ferrita y precipitados kappa. Al controlar la proporción Mn/Al, se obtiene una microestructura de austenita ferrita dúplex, mientras que se restringe la precipitación kappa.

[0009] La solicitud internacional WO2009/142362 describe una plancha de acero laminada en frío y una plancha de acero galvanizada en caliente, que tiene la mejora de una resistencia a la fractura retrasada, una fuerza tensil de 980 MPa o más y una elongación del 28% o más, añadiendo una cantidad de Al para elevar la estabilidad de la austenita retenida y la resistencia contra la fractura retrasada en una composición óptima que puede aumentar la cantidad de austenita retenida. En uno o más aspectos de esta técnica anterior, se proporciona una plancha de acero laminada en frío de alta resistencia y una plancha de acero galvanizado, cada una de las cuales consisten en un porcentaje de peso C de 0,05 a 0,3, un porcentaje de peso Si de 0,3 a 1,6, un porcentaje de peso Mn de 4,0 a 7,0, un porcentaje de peso Al de 0,5 a 2,0, un porcentaje de peso Cr de 0,01 a 0,1, un porcentaje de peso Ni de 0,02 a 0,1, y un porcentaje de peso Ti de 0,005 a 0,03, 5 a 30ppm B, un porcentaje de peso Sb de 0,01 a 0,03, un porcentaje de peso 0,008 o menos S, equilibrio Fe e impurezas. Sin embargo, dichos aceros son difíciles de revestir debido al alto contenido de elementos de aleación.

55 **[0010]** La solicitud internacional WO2012/147898 intenta proporcionar un acero de alta resistencia con una excelente expansión de orificio y estabilidad de las propiedades materiales, y un método para fabricarlo, la placa de acero de alta resistencia teniendo un TS de al menos 780 MPa y un TSxEL de al menos 22.000 MPa % en una composición de acero con bajo C. El acero de alta resistencia tiene una buena formabilidad y estabilidad de las propiedades materiales, y tiene una composición de ingredientes que incluyen, en términos de masa%, 0,03%-0,25% C, 0,4%-2,5% Si, 3,5%-10,0% Mn, 0,1% o menos P, 0,01% o menos S, 0,01%-2,5% Al, 0,008% o menos N, y

Si + Al al menos 1,0%, el resto siendo Fe e impurezas inevitables, la estructura de acero teniendo, por proporción de área, entre el 30 y el 80 % de ferrita, entre el 0% y el 17% de martensita y, por proporción de volumen, el 8% o más de austenita residual, y el diámetro medio de partícula cristalina de la austenita residual siendo de 2 µm o menos. Sin embargo, dichos aceros son difíciles de revestir debido al alto contenido de elementos de aleación.

5

[0011] Eventualmente, la solicitud EP2383353 describe un acero con una elongación en la rotura A80 de un mínimo del 4% y una fuerza tensil de 900 a 1500 MPa. Comprende hierro e impurezas inevitables y carbono (hasta el 0,5%), manganeso (4-12%), silicio (hasta el 1%), aluminio (hasta el 3%), cromo (del 0,1 al 4%), cobre (hasta el 2%), níquel (hasta el 2%), nitrógeno (hasta el 0,5%), fósforo (hasta el 0,5%), y azufre (hasta el 0,01 %), y opcionalmente como mucho el 0,5% de uno o más elementos que comprenden vanadio, niobio o titanio. El producto de plancha de acero laminado hecho de acero, comprende entre un 30 y un 100% de martensita, martensita atemperada, o bainita y una cantidad residual de austenita. Sin embargo, dicho acero presentará niveles de baja ductilidad que lleva a una formabilidad deficiente de la plancha de acero obtenida.

10

[0012] La invención intenta proporcionar una plancha de acero laminada en frío que presenta simultáneamente:

- una fuerza tensil TS por encima o igual a 1000 - 50xAl MPa,
- una elongación uniforme UEI por encima o igual al 15%,
- una expansión de orificio HE por encima o igual al 20%, y
- una superficie reactiva que permite la humectación y adhesión del revestimiento.

20

[0013] La invención cubre, como un primer objetivo, una plancha de acero laminada en frío que comprende, por porcentaje de peso:

25

$0,1 \geq C \geq 0,5\%$
 $3,5 \geq Mn \geq 10,0\%$
 $Al \geq 9,0\%$
 $Si \geq 5,0\%$

30

$0,5 \geq Si+Al \geq 9,0\%$
 $Ti \geq 0,2\%$
 $V \geq 0,2\%$
 $Nb \geq 0,2\%$
 $B \geq 0,0035$

35

$Cr \geq 1\%$
 $S \geq 0,004 \%$
 $P \geq 0,025\%$

el resto de la composición siendo hierro e impurezas inevitables resultantes de la función y la microestructura contiene entre el 10% al 50% de austenita, entre el 25% y el 90% de ferrita, menos del 5% de precipitados Kappa y menos del 25% de martensita, dicha plancha presentando desde la superficie superior las siguientes capas sucesivas:

40

- una capa superior de hierro metálico puro con gamas de grosor desde 50 a 300 nm y
- una primera subcapa de hierro metálico que contiene además uno o más precipitados de óxidos seleccionados entre Mn, Si, Al, Cr y B, con gamas de grosor desde 1 a 8 µm.

45

[0014] La invención también puede cubrir características adicionales, tomadas por sí solas o en combinación:

50

- una plancha de acero laminado en frío de acuerdo con la invención, que además comprende una segunda subcapa, que descansa bajo la primera subcapa, hecha de ferrita, con gamas de grosor de 10 a 50 mm.

[0015] En una realización preferida, la invención cubre una plancha de acero laminada en frío cuya composición tiene:

55

- una plancha de acero laminada en frío cuya composición tiene un contenido de manganeso de entre el 5,0 al 9,0 %,
- una plancha de acero laminada en frío cuya composición tiene un contenido de carbono del 0,1 al 0,3 %, aunque

se prefiere un rango de entre el 0,15% al 0,25%,

- una plancha de acero laminada en frío cuya composición tiene un contenido a aluminio de entre el 1,5% al 9%, aunque se prefiere un rango de entre el 5 al 8%,

- una plancha de acero laminada en frío cuya composición tiene un contenido de silicio igual o por debajo del 1,5%, aunque se prefiere un contenido de silicio igual o por debajo del 0,3 %.

[0016] En otra realización preferida, el acero de acuerdo con la invención cubre:

- una plancha de acero laminada en frío con una microestructura que contiene entre el 15 y el 40% de austenita, aunque se prefiere un rango entre el 20 y el 40% de austenita. y prefiriéndose aún más un rango de entre el 25 y el 40% de austenita.

- una plancha de acero laminada en frío con una microestructura que contiene entre el 50 y el 85% de ferrita,

- una plancha de acero laminada en frío que contiene menos del 15% de martensita, dicha martensita estando posiblemente templada,

- una plancha de acero laminada en frío cuya microestructura no contiene precipitados kappa.

[0017] Idealmente, la plancha de acero laminada en frío de acuerdo con la invención presenta una fuerza tensil TS por encima de o igual a $1000 - 50 \times \%Al$ en MPa, una elongación uniforme UEI por encima o igual al 15%, y una expansión de orificio HE por encima o igual al 20%.

[0018] Otro objetivo de la invención es una plancha de acero con revestimiento de metal obtenida revistiendo una plancha de acero laminado en frío de acuerdo con la invención, dicho revestimiento realizándose mediante un proceso seleccionado entre el revestimiento en caliente, la electrodeposición y el revestimiento bajo vacío, posiblemente seguido por un tratamiento por calor. En una realización preferida, dicha plancha de acero con revestimiento metálico está galvanizada.

[0019] La plancha de acero laminada en frío y posiblemente revestida de acuerdo con la invención puede fabricarse mediante un procedimiento adecuado. Se prefiere que dicho procedimiento sea compatible con las líneas de recocimiento continuas habituales y que tenga una baja sensibilidad a la variación de los parámetros del proceso.

[0020] Otro objetivo de la invención es un proceso para producir una plancha de acero laminada en frío que comprende los siguientes pasos:

- La introducción y desincrustación de una tira laminada en caliente o una placa delgada cuya composición sea de acuerdo con la invención,

- La tira laminada en caliente o placa delgada luego se lamina en frío con una proporción de laminado en frío entre el 30 y el 75 % para obtener una plancha de acero laminada en frío,

- La plancha de acero luego se somete a calor, a una proporción de calor H_{rate} al menos igual a $1^{\circ}C/s$ hasta la temperatura de recocido T_{anneal} entre $T_{min}=721-36^{\circ}C-20^{\circ}Mn+37^{\circ}Al+2^{\circ}Si$ (en $^{\circ}C$) y $T_{max}=690+145^{\circ}C$ $6.7^{\circ}Mn+46^{\circ}Al+9^{\circ}Si$ (en $^{\circ}C$) durante entre 30 y 700 segundos seguido de un empapado a dicha temperatura, el calor desde $550^{\circ}C$ hasta T_{anneal} y al menos la primera parte del empapado realizándose en una atmósfera oxidante para producir una capa superior de óxido de acero con un grosor entre 100 y 600 nm, dicha capa de óxido de acero luego reduciéndose por completo.

- Dicha reducción se produce durante la segunda parte del empapado, en una atmósfera reductora que contiene entre el 2% y el 35% de H_2 y teniendo un punto de condensación por debajo de los $-10^{\circ}C$ para así reducir dicha capa de óxido de hierro, la plancha de acero siendo enfriada posteriormente a una proporción de enfriado $V_{cooling2}$ por encima de los $5^{\circ}C/s$ y por debajo de los $70^{\circ}C/s$ hasta la temperatura ambiente.

[0021] Opcionalmente, la segunda parte del empapado se produce en una atmósfera cuyo punto de condensación está por debajo de los $-30^{\circ}C$.

[0022] En otra realización, la plancha de acero se enfría a $V_{cooling2}$ a una temperatura T_{OA} entre los $350^{\circ}C$ y los $550^{\circ}C$ y se mantiene a T_{OA} durante un tiempo entre 10 y 300 segundos, y luego la plancha de acero se enfría adicionalmente a una proporción de enfriado $V_{cooling3}$ de $5^{\circ}C/s$ hasta $70^{\circ}C/s$ hasta la temperatura ambiente.

[0023] En otra realización la reducción también se produce tras enfriar dicha plancha de acero a una proporción de enfriamiento $V_{cooling2}$ por encima de los $5^{\circ}C/s$ y por debajo de los $70^{\circ}C/s$ hasta la temperatura ambiente que se realiza mediante decapado químico.

[0024] Idealmente, el revestimiento se realiza mediante un proceso seleccionado entre el revestimiento en caliente, la electrodeposición, y el revestimiento por vacío, posiblemente seguido por un tratamiento por calor.

[0025] Preferiblemente, el revestimiento metálico se realiza mediante tratamiento por calor galvanizante.

[0026] Existen varias formas de obtener la tira laminada en caliente, una de ellas siendo un proceso que comprende los siguientes pasos:

- fundición de acero cuya composición es de acuerdo con la invención para obtener una placa,
- 10 - recalentamiento de la placa a una temperatura T_{reheat} entre los 1100°C y los 1300°C,
- laminado en caliente de la placa recalentada a una temperatura entre los 800°C y los 1250°C para obtener una tira de acero laminada en caliente,
- enfriar la tira de acero laminada en caliente a una velocidad de enfriado T_{cooling} de al menos 10°C/s hasta que la temperatura de bobinado T_{coiling} sea inferior o igual a los 700°C,
- 15 - bobinar la tira laminada en caliente enfriada a T_{coiling} ,

[0027] En otra realización, la tira laminada en caliente se obtiene mediante un proceso llamado procesamiento de tira compacta conocido per se y que lleva a una placa delgada, evitando por tanto el paso de laminado en caliente.

[0028] En otra realización, la tira laminada en caliente se recoce posteriormente usando un proceso seleccionado entre recocido en lote entre 400°C y 600°C entre 1 y 24 horas y recocido continuo entre 650°C y 750°C entre 60 y 180s.

[0029] En una realización preferida, usando un horno de fuego directo para calentar, la atmósfera para la reducción del hierro contiene entre el 20 y el 35% H_2 , el equilibrio siendo nitrógeno e impurezas inevitables.

[0030] En una realización preferida, usando un horno de tubos radiantes para calentar, la atmósfera para la reducción de hierro contiene entre el 2 y el 8% H_2 , el equilibrio siendo nitrógeno e impurezas inevitables.

[0031] Opcionalmente, el acero laminado en frío y recocido se atempera a una temperatura T_{temper} entre 200 y 400°C durante un tiempo t_{temper} entre 200 y 800 s.

[0032] En otra realización, el acero laminado en frío y recocido se somete a un tratamiento de conversión por fosfatos.

[0033] En otra realización, el acero que no se sometió a una atmósfera reductiva durante el recocido luego se decapa en la salida de la línea de recocido continua usando los baños de decapado típicos como ácido fórmico, ácido hidrocórico, ácido sulfúrico y otros para borrar los óxidos presentes en la superficie resultando en una superficie principalmente metálica. La invención cubre también un vehículo que comprende una parte estructural formada por una plancha de acero de acuerdo con la invención.

[0034] Otras características y ventajas de la invención aparecerán durante los siguientes párrafos de la descripción detallada.

[0035] Las figuras adjuntas se proporcionan mediante ejemplos y no se tomarán como restrictivas del alcance de la presente invención.

[0036] Las figuras son:

- La Figura 1 ilustra la microestructura del ejemplo A2 tras el laminado en frío y el recocido. La fase oscura es la austenita, la fase blanca es la ferrita.
- La Figura 2 ilustra la curva tensil del ejemplo A2 tras el laminado en frío y el recocido.
- La Figura 3 muestra el perfil GDOS del ejemplo A6 que se ha producido mediante la invención.
- 55 - La Figura 4 muestra el perfil GDOS del ejemplo A3 que se ha producido de acuerdo con la invención.
- La Figura 5 muestra el resultado de la prueba de flexión de 3 puntos del ejemplo A6.
- La Figura 6 muestra el resultado de la prueba de flexión de 3 puntos del ejemplo A3.
- La Figura 7 muestra el resultado de la prueba de flexión de 3 puntos del ejemplo A4.
- La Figura 8 muestra la ruta térmica del ciclo de recocido de acuerdo con el ejemplo A2.

- La Figura 9 muestra el impacto Al en la estabilidad de la fuerza tensil del acero D (0,2 C 5 Mn)

[0037] De acuerdo con la invención, la composición química del acero se equilibra para alcanzar los objetivos de las propiedades. Tras la composición química, los elementos se proporcionan en porcentaje de peso.

5

[0038] El contenido de aluminio debe estar por debajo del 9,0%, ya que debe mantenerse estrictamente por debajo de este valor para evitar la precipitación quebradiza intermetálica.

[0039] Las adiciones de aluminio son interesantes en muchos aspectos para aumentar la estabilidad de la austenita retenida a través de un aumento del carbono en la austenita retenida. Además, los inventores han demostrado que, sorprendentemente, incluso aunque se supone que el Al estabiliza la ferrita, en la presente invención, cuanto mayor sea el contenido de Al, mejor será la estabilidad de la austenita formada durante el recocido.

[0040] La robustez mejorada durante la adición de Al al recocido lleva a una variación más baja de la fracción de austenita como una función de la temperatura durante el recocido en líneas de recocido continuas.

[0041] El Al es el elemento más eficiente, que puede abrir una gran ventana de viabilidad para el recocido continuo, ya que favorece la combinación de una recrystalización completa en temperaturas T_{anneal} de recocido por encima de la temperatura de no-recrystalización además de la estabilización de la austenita.

[0042] El Al también permite la reducción de la densidad del acero en hasta un 10%. Además, dicho elemento reduce los efectos negativos de los aceros de alta resistencia, como la recuperación elástica, la fragilización y la pérdida de rigidez. Como se muestra en la Figura 9 anterior, por encima del 1,5% de Al, la robustez del acero se mejora y la fuerza tensil delta es igual o está por debajo de 10 MPa/°C de temperatura de recocido. Tiene sin embargo un impacto de la fuerza tensil que puede alcanzarse. Disminuye la fuerza tensil en 50 MPa mediante un porcentaje de aluminio añadido.

[0043] Al igual que el aluminio, el silicio es un elemento para reducir la densidad del acero. El silicio también es muy efectivo para aumentar la resistencia mediante una solución sólida. Sin embargo, su contenido está limitado al 5,0% ya que más allá de este valor, se alcanzan valores de fragilidad durante el laminado en frío.

[0044] De acuerdo con la invención, el contenido de carbono está entre el 0,10 y el 0,50%. El carbono es un elemento formador de gamma. Promueve, con el Mn, la aparición de austenita. Por debajo del 0,10%, la resistencia mecánica por encima de 1000 - 50xAl en MPa es difícil de conseguir. Si el contenido de carbono es mayor del 0,50%, la capacidad de laminado en frío se reduce y la soldabilidad se vuelve deficiente.

[0045] El manganeso debe estar entre el 3,5% y el 10,0%. Este elemento, además de estabilizador de austenita, se utiliza para estabilizar suficiente austenita en la microestructura. También tiene un endurecimiento de solución sólida y un efecto de refinamiento sobre la microestructura. Para un contenido de Mn inferior al 3,5%, la estabilización de la austenita retenida en la microestructura no es suficiente para permitir la combinación de la elongación uniforme por encima del 15% y la fuerza tensil por encima de 1000 - 50 x %Al en MPa. Por encima del 10,0% la soldabilidad es deficiente. Las segregaciones e inclusiones deterioran las propiedades de daño.

[0046] Los micro elementos de aleación como el titanio, vanadio y el niobio pueden añadirse respectivamente en una cantidad inferior al 0,2% para obtener un endurecimiento de precipitación adicional. En particular, el titanio y el niobio se utilizan para controlar el tamaño del grano durante la solidificación. Una limitación, sin embargo, es necesaria, porque más allá de esto, se obtiene un efecto de saturación.

[0047] El cromo se tolera hasta el 1%. Por encima de ese límite, pueden aparecer óxidos perjudiciales en la superficie.

[0048] Por encima de un contenido de azufre del 0,004%, la ductilidad se reduce debido a la presencia de sulfuros en exceso, como MnS, lo que reduce la ductilidad, en particular durante las pruebas de expansión de orificio.

[0049] El fósforo es un elemento que endurece en una solución sólida pero que reduce la soldabilidad por puntos y la ductilidad en caliente, particularmente debido a su tendencia a la segregación en los límites del grano o la co-segregación con manganeso. Por estas razones, su contenido debe estar limitado al 0,025% y preferiblemente

al 0,015%, para obtener una buena soldabilidad por puntos.

[0050] El contenido máximo de boro permitido por la invención es del 0,0035%. Por encima de ese límite, se espera un nivel de saturación en lo que se refiere al refinamiento del grano.

[0051] El equilibrio se forma con hierro e impurezas inevitables.

[0052] Para alcanzar las propiedades objetivo, la microestructura de la plancha de acero de la invención debe contener, como la fracción de superficie, entre el 10% y el 50% de austenita, entre el 25% y el 90% de ferrita, precipitados kappa por debajo del 5% y martensita por debajo del 25%.

[0053] La austenita es una estructura que aporta ductilidad, su contenido debe estar por encima del 10%, de forma que el acero de la invención es lo suficientemente dúctil con una elongación uniforme por encima del 15% y su contenido debe estar por debajo del 50% porque por encima de ese valor el equilibrio de las propiedades mecánicas se deteriora.

[0054] La ferrita de la invención se define mediante una estructura central cúbica obtenida a partir de la recuperación y la recristalización tras el recocido, ya sea desde la ferrita precedente formada durante la solidificación o a partir de la bainita o martensita del acero laminado en caliente. Su contenido de estar entre el 25 y el 90% para tener (1000 - 50 x %Al) en una fuerza tensil mínima MPa de al menos el 15% de elongación uniforme.

[0055] Kappa en la invención se define mediante precipitados cuya estequiometría es $(Fe,Mn)_3AlC_x$, donde x es estrictamente inferior a 1. La densidad de la superficie de los precipitados Kappa puede subir hasta el 5%. Por encima del 5%, la ductilidad disminuye y la elongación por encima del 15% no se consigue. Además, la precipitación Kappa no controlada alrededor de los límites de grano de ferrita puede producirse, aumentando, como consecuencia, los esfuerzos durante el laminado en caliente y/o en frío. Preferiblemente, la densidad de la superficie de los precipitados Kappa debería ser inferiores al 2%. Ya que la microestructura es uniforme, la fracción de superficie es igual a la fracción de volumen.

[0056] La martensita es una estructura formada durante el enfriamiento tras la empapación a partir de la austenita inestable. Su contenido debe estar limitado al 25% de forma que la expansión de orificio permanece por encima del 20%. En una realización preferida, dicha martensita se atempera, después o antes del paso de revestimiento, dependiendo del tipo de revestimiento.

[0057] Otra característica principal de la plancha de acero de acuerdo con la invención reside en su superficie reactiva, que puede describirse como comprendiendo las siguientes capas sucesivas:

- una capa superior de hierro metálico puro con gamas de grosor desde 50 a 300 nm y
- una primera subcapa de hierro metálico que contiene además uno o más precipitados de óxidos seleccionados entre Mn, Si, Al, Cr y B, con gamas de grosor desde 1 a 8 μm .

[0058] Dicha estructura garantiza la reactividad durante el tratamiento de conversión de fosfatos del acero descubierto, una buena humectación y adherencia de los revestimientos metálicos como los revestimientos de zinc o aluminio. Esto mejora la capacidad para la electrodeposición de pintura.

[0059] Siempre que se obtenga dicha superficie, puede emplearse cualquier procedimiento de fabricación adecuado.

[0060] Por ejemplo, un procedimiento para producir el acero de acuerdo con la invención implica fundir el acero con la composición química de la invención.

[0061] El acero fundido se vuelve a calentar entre 1100°C y 1300°C. Cuando la temperatura de recalentamiento de la placa está por debajo de los 1100°C para $Al < 4wt\%$, las cargas de laminado aumentan demasiado y el proceso de laminación en caliente se hace difícil; para $Al \leq 4wt\%$, el último pase de laminación en caliente apenas se mantiene por encima de los 800°C debido a las pérdidas térmicas durante el proceso de laminación. Por encima de los 1300°C, la oxidación es muy intensa, lo que lleva a una pérdida de dimensión y una degradación de la superficie.

[0062] La placa recalentada puede luego laminarse en caliente con una temperatura de entre 1250°C y

800°C, el último pase de laminación en caliente se produce a una temperatura T_{ip} por encima o igual a los 800°C. Si T_{ip} está por debajo de los 800°C, se reduce la manejabilidad en caliente.

[0063] El acero se enfría a una velocidad de enfriado $V_{cooling1}$ de al menos 10°C/s hasta que la temperatura de bobinado $T_{coiling}$ es inferior o igual a los 700°C. Si la velocidad de enfriado $V_{cooling1}$ está por debajo de los 10°C/s, en el caso en el que $Al \leq 4wt\%$, y $Mn \leq 4wt\%$, existe una precipitación de precipitados Kappa dañinos en las interfaces entre la ferrita y la austenita.

[0064] $T_{coiling}$ debe ser inferior o igual a los 700°C. Si la temperatura de bobinado está por encima de los 700°C, existe un riesgo de formar una microestructura gruesa consistente en:

- una estructura de ferrita y bainita gruesa donde el contenido de Al está por debajo del 4wt%
- carburos Kappa en las interfaces entre la ferrita y la austenita cuando el contenido de Al es superior o igual a 4wt%Al y Mn por encima de 4%Mn

[0065] El acero luego se lamina en frío con una proporción de laminado en frío entre el 30% y el 75% para obtener acero laminado en frío. Por debajo del 30%, la recrystalización durante un recocido posterior no se favorece lo suficiente, y la elongación uniforme por encima del 15% no se consigue debido a una falta de recrystalización. Por encima del 75%, existe un riesgo de agrietamiento del borde debido a la laminación en frío.

[0066] Luego, el acero se calienta a una proporción de calentamiento H_{rate} al menos igual a 1°C/s hasta la temperatura de recocido T_{anneal} . Si la proporción de calentamiento es inferior a 1°C/s, la fuerza para la recrystalización es demasiado baja, dificultando el logro de la microestructura objetivo.

[0067] Durante el calentamiento, desde 550°C hasta el final del empapamiento a T_{anneal} , el acero pasa a través de una atmósfera de oxidación para producir predominantemente un óxido de hierro con un grosor entre 100 y 600 nm.

- Si el óxido de hierro tiene un grosor inferior a los 100 nm, el óxido de hierro desaparecerá demasiado pronto, lo que permite de nuevo la oxidación selectiva externa de los elementos de aleación durante el recocido reductivo posterior, dificultando la reactividad de la superficie durante el proceso de revestimiento.

- Si el óxido de hierro está por encima de los 600 nm, el riesgo de óxidos de hierro no adherentes se da contaminando los rodillos del alto horno recogiendo elementos y provocando así mediante la identificación defectos en la superficie. Un grosor superior a los 600 nm también lleva a una reducción solamente parcial del óxido de hierro durante el empapado o enfriamiento, o el paso de empapado y enfriamiento cuando se aplica una atmósfera reductiva.

[0068] Si se utilizan en el horno tubos radiantes para calentar, la atmósfera para la reducción de hierro contiene entre el 2 y el 8% H_2 , el equilibrio siendo nitrógeno e impurezas inevitables.

- Si el contenido de H_2 es inferior al 2%, la capacidad de reducción de la atmósfera es demasiado baja para reducir completamente el óxido de hierro.
- Si el contenido de H_2 es superior al 8%, el proceso de reducción se completa, pero no de forma más viable económicamente.

[0069] El acero luego se recocce a una temperatura T_{anneal} entre T_{min} °C y T_{max} °C durante 30 y 700 segundos. Controlar la temperatura de recocido es una función importante del proceso ya que permite controlar la fracción de austenita y su composición química. La temperatura de recocido debería ser lo suficientemente alta para formar más del 10% de austenita retenida requerida en la microestructura final y para evitar la precipitación de más del 5% de carburos Kappa. La temperatura de recocido no debería ser demasiado alta para evitar la formación de más del 50% de austenita y para evitar el engrosado del grano que lleva a una fuerza tensil por debajo de 1000-50xAl (%) cuando $Al \leq 4wt\%$. La temperatura de recocido debería ser también lo suficientemente alta para permitir la suficiente recrystalización de la estructura laminada en frío. Ya que las transformaciones de fase dependen de la composición química, la T_{anneal} preferida se define como la siguiente, preferiblemente:

[0070] La temperatura de recocido T_{min} se define como: $T_{min} = 721 - 36 \cdot C - 20 \cdot Mn + 37 \cdot Al + 2 \cdot Si$, (en °C). Por debajo de esta temperatura, la fracción mínima de austenita no se forma, o su estabilidad es demasiado alta, lo que lleva a una fuerza tensil limitada. La temperatura de recocido T_{max} se define como: $T_{max} = 690 + 145 \cdot C - 6,7 \cdot Mn + 46 \cdot Al + 9 \cdot Si$ (en °C). Por encima de T_{max} , también existe el riesgo de formar demasiada martensita, lo que

provoca una elongación uniforme y capacidad de expansión del orificio limitadas.

- Durante el empapado a T_{anneal} hasta 600°C, el acero pasa a través de una atmósfera que contiene entre el 2% y el 35% de H₂, el equilibrio siendo nitrógeno e impurezas inevitables, para reducir así el óxido de hierro formado tras el calentamiento aplicando un punto de condensación por debajo del punto de condensación crítico para la oxidación del hierro, normalmente por debajo de los -10°C.

• Si el contenido de H₂ es inferior al 2%, la capacidad de reducción de la atmósfera es demasiado baja para reducir completamente el óxido de hierro.

• Si el contenido de H₂ es superior al 35%, el proceso de reducción se completa, pero no de forma más viable económicamente.

[0071] Preferiblemente, el punto de condensación durante la reducción de hierro está por debajo de los -30°C, para así permitir una cinética de reducción rápida.

[0072] En una realización preferida, el contenido de H₂ es superior al 20% pero inferior al 35%.

- en otra realización, el paso de reducción se ignora y el óxido de hierro se elimina mediante decapado (ácido fórmico, ácido clorídico, ácido sulfúrico) tras completar el tratamiento de recocido completo. Esto es porque, si el acero no pasa por una atmósfera reductiva, puede producirse una ligera re-oxidación y esta capa deberá ser eliminada. En la invención:

• La primera parte del empapado implica el calentamiento y hasta el 90% del tiempo de empapado

• Por otro lado, la segunda parte del empapado implica el tiempo de empapado restante y el enfriamiento desde la temperatura de recocido hasta 600°C.

[0073] El acero luego se enfría a una proporción de enfriamiento V_{cooling2} de líneas de recocido típicas, preferiblemente, esta proporción de enfriamiento está por encima de los 5°C/s o por debajo de los 70°C/s. Si la proporción de enfriamiento está por debajo de los 5°C, existe el riesgo de formar más del 5% de carburos Kappa cuando el contenido de Al esté por encima de 4wt%. La atmósfera de enfriamiento contiene entre el 2% y el 35% de H₂ para así evitar la re-oxidación del óxido de hierro reducido formado aplicando un punto de condensación por debajo del punto de condensación crítico para la oxidación del hierro, normalmente por debajo de los -10°C.

- Opcionalmente, el acero se enfría a V_{cooling2} a una temperatura T_{OA} entre los 350°C y los 550°C y se mantiene a T_{OA} durante un tiempo de entre 10 y 300 segundos. Se demostró que dicho tratamiento térmico para facilitar el revestimiento de Zn mediante el proceso de inmersión en caliente no afecta a las propiedades mecánicas finales.

[0074] El acero se enfría posteriormente a una proporción de enfriamiento V_{cooling3} de líneas de recocido típicas hasta la temperatura ambiente, preferiblemente, esta proporción de enfriamiento está por encima de los 5°C/s y por debajo de los 70°C/s para obtener un acero laminado en frío y recocido.

[0075] En otra realización, tras mantener el acero a T_{OA} , el acero se reviste mediante inmersión en caliente con Zn o aleaciones de Zn lo que significa que el contenido de Zn es el más alto en porcentaje en la aleación.

[0076] En otra realización, tras mantener el acero a T_{OA} , el acero se reviste mediante inmersión en caliente con Al o aleaciones de Al lo que significa que el contenido de Al es el más alto en porcentaje en la aleación.

[0077] Opcionalmente, el acero laminado en frío y recocido se atempera a una temperatura T_{temper} entre 200 y 400°C durante un tiempo t_{temper} entre 200 y 800 s. Este tratamiento permite el atemperado de la martensita, que puede formarse durante el enfriamiento tras el empapado a partir de la austenita inestable. La dureza de la martensita así disminuye y la capacidad de expansión del orificio se mejora. Por debajo de los 200°C, el tratamiento de atemperado no es lo suficientemente eficiente. Por encima de los 400°C, la pérdida de resistencia es alta y el equilibrio entre resistencia y expansión de orificio deja de mejorar.

[0078] En otra realización, el acero laminado en frío y recocido se somete a un tratamiento de conversión por fosfatos.

[0079] En otra realización, el acero laminado en frío y recocido se reviste con Zn, aleaciones de Zn, Al o aleaciones de Al aplicados mediante electrodeposición o tecnologías de vacío. Las aleaciones de Zn y las aleaciones de Al implican que Zn y Al respectivamente son los principales constituyentes del revestimiento. Se han desarrollado productos semi acabados a partir de una función de acero. La composición química de los productos

semi acabados, expresada en porcentaje de peso, se muestra en la siguiente Tabla 1. El resto de la composición del acero en la Tabla 1 consiste en hierro e impurezas inevitables que resultan de la función.

Acero	C	Mn	Al	Si	Cr	Si+Al	Comentario
A	0,21	8,2	7,4	0,26	0,02	7,66	Invencción
B	0,2	3,8	0	1,5	0,3	1,5	Invencción
C	0,15	<u>1,9</u>	0,05	0,2	0,2	<u>0,25</u>	Ejemplo comparativo
D	0,196	5,01	1,03	0,012	<0,010	1,042	Invencción
E	0,189	5,01	2,85	0,02	<0,010	2,87	Invencción
F	0,2	4	6,2	<0,050	<0,010	6,2	Invencción
G	0,19	6,2	6	<0,050	<0,010	6	Invencción
H	0,12	5,15	2,31	0,509	<0,010	2,819	Invencción

Acero	S	P	Ti	V	Nb	Comentario
A	<0,005	<0,025	<0,010	<0,010	<0,010	Invencción
B	<0,005	<0,025	<0,010	<0,010	<0,010	Invencción
C	<0,005	<0,025	<0,01	<0,01	<0,01	Ejemplo comparativo
D	0,002	0,022	<0,010	<0,010	<0,010	Invencción
E	0,0021	0,02	<0,010	<0,010	<0,010	Invencción
F	0,0031	0,02	<0,010	<0,010	<0,010	Invencción
G	0,004	0,017	<0,010	<0,010	<0,010	Invencción
H	<0,005	0,017	<0,010	<0,010	<0,010	Invencción

Tabla 1: Composición química (wt%)

5

[0080] Estos aceros están libres de boro.

[0081] Los productos han sido primero laminados en caliente. Las placas laminadas en caliente luego se laminaron en frío y se recocieron. Las condiciones de la producción se muestran en la Tabla 2 con las siguientes

10 abreviaturas:

- T_{reheat} : es la temperatura de recalentamiento
- T_{lp} es la temperatura de finalización de la laminación

- $V_{cooling1}$: es la proporción de enfriamiento tras la última pasada de laminación.
- $T_{coiling}$: es la temperatura de bobinado
- Proporción: es la proporción de reducción de laminación en frío
- H_{rate} : es la proporción de calentamiento
- 5 • T_{anneal} : es la temperatura de empapado durante el recocido.
- t_{anneal} : es la duración del empapado durante el recocido.
- $V_{cooling2}$: es la proporción de enfriamiento tras el empapado.
- t_{OA} : es el tiempo durante el cual la placa se mantiene a una temperatura T_{OA}
- $V_{cooling3}$: es la proporción de enfriamiento por debajo de T_{OA} .

10

Tabla 2.: Condiciones de laminado en caliente y laminado en frío y recocido

	T _{reheat} (°C)	T _{lp} (°C)	V _{cooling1} (°C/s)	T _{cooling} (°C)	Proporción (%)	H _{rate} (°C/s)	T _{anneal} (°C)	t _{anneal} (s)	V _{cooling2} (°C/s)	T _{OA} (°C)	t _{OA} (s)	V _{cooling3} (°C/s)
A1	1180	905	50	500	74	15	830	136	50	-	-	50
A2	1180	964	50	500	74	15	850	136	50	-	-	50
A3	1180	964	50	500	74	15	790	136	50	-	-	50
A4	1180	964	50	500	74	15	900	136	50	-	-	50
A5	1180	964	50	500	74	15	850	136	50	-	-	50
A6	1180	964	50	500	74	15	900	136	50	-	-	50
A7	1180	964	50	500	74	15	900	136	50	-	-	50
A8	1180	964	50	500	74	15	830	136	50	-	-	50
B1	1250	900	30	550	50	5	790	130	20	470	38	20
B2	1250	900	30	550	50	5	790	130	20	470	38	20
B3	1250	900	30	550	50	5	675	130	20	470	38	20
C1	1250	900	30	550	60	10	800	60	20	460	10	20
D1	1250	930	15	600	50	16	710	120	20	400	300	5
E1	1250	930	15	600	50	16	770	120	20	400	300	5
F1	1200	950	60	450	75	15	900	136	50	410	500	20
F2	1200	950	60	450	75	15	900	136	50	410	500	20
F3	1200	950	60	450	75	15	900	136	50	410	500	20
F4	1200	950	60	450	75	15	900	136	50	410	500	20
G1	1200	950	60	450	75	15	850	136	50	410	500	20
G2	1200	950	60	450	75	15	850	136	50	410	500	20
H1	1250	900	10	600	50	10	770	120	20	410	500	5

[0082] Los productos fueron recocidos bajo diferentes atmósferas de recocido. En la Tabla 3, las atmósferas de recocido se presentan, y la indicación de decapado en ácido fórmico tras completar el ciclo de recocido continuo. "Sí" si un tratamiento de decapado se aplicó, "No" si no se aplicó un tratamiento de decapado.

5 **[0083]** Si la atmósfera de decapado desde 550°C hasta el final del empapado a T_{anneal} era oxidización para el hierro ajustando el punto de condensación y el contenido de hidrógeno, la indicación "Oxidización" se estableció en la columna "Atmósfera desde 550°C hasta el final del empapado a T_{anneal} "; si la atmósfera fue reducida para el hierro, se estableció "Reducción". Adicionalmente, se proporcionan el contenido de H₂ y el punto de condensación de la atmósfera de recocido.

10

[0084] Si la atmósfera de recocido durante el empapado a T_{anneal} hasta 600°C se redujo para el óxido de hierro, la indicación "Reducción" se estableció en la columna "Atmósfera durante el empapado a T_{anneal} hasta 600°C. Si la atmósfera de recocido fue oxidación para hierro, se indica "oxidización". Adicionalmente, se proporcionan el contenido de H₂ y el punto de condensación de la atmósfera de recocido.

15

[0085] En la tabla 3 a continuación, EG significa electro-galvanizado, mientras que GI significa galvanizado

Tabla 3: Condiciones de recocido para crear la superficie reactiva adecuada tras el recocido, equilibrio N₂

Acero	Atmósfera desde 550°C hasta el final de la primera parte del empapado	Atmósfera durante la segunda parte del empapado a T_{anneal} hasta 600°C	Decapado en ácido fórmico tras el recocido continuo	Tipo de revestimiento
A1	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	EG
A2	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	EG
A3	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂ 25%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	EG
A4	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	EG
A5	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	No	EG
A6	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	EG
A7	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Sí	EG
A8	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	GI
B1	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	GI
B2	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	GI
B3	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	GI

C1	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	GI
D1	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	EG
E1	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	EG
F1	Oxidización – punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	EG
F2	Reducción – punto de condensación -40°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	EG
F3	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	GI
F4	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	GI
G1	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	EG
G2	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	EG
H1	Oxidización – Punto de condensación +30°C, 5%H ₂	Reducción – Punto de condensación -40°C, 5%H ₂	No	EG

[0086] Las muestras A6, B2, F2, F4 y G2 han sido recocidas bajo una atmósfera reductora regular (punto de condensación = -40°C, 5%H₂) provocando una reactividad de superficie deficiente. El perfil GDOS de dichas superficies se caracteriza por una primera zona donde la señal Fe es muy baja mientras que la señal O es alta, alcanzando más del 50% de la superficie libre. En esa zona, también se detecta enriquecimiento de Mn. Por debajo de esa capa, la señal Fe aumenta y la señal O disminuye a una proporción de aproximadamente un 1% por nanómetro. Esta cola de la señal de oxígeno es típica de la presencia de una capa de óxido selectiva, cuyos átomos de oxígenos están parcialmente pulverizados y parcialmente implantados en el sustrato durante la medición. Es visible cierta polución superficial debido a la transferencia de las muestras desde el simulador de recocido al análisis GDOS. En la Figura 3, en (A) cierta polución superficial debido a la transferencia de las muestras desde el simulador de recocido al análisis GDOS.

[0087] La Tabla 4 presenta las siguientes características:

- 15 • Ferrita: "OK" se refiere a la presencia de ferrita con una fracción de volumen entre el 25 y el 90% en la microestructura de la lámina recocida. "KO" se refiere a los ejemplos comparativos donde la fracción de ferrita está fuera de este rango.
- Austenita: "OK" se refiere a la presencia de austenita con una fracción de volumen entre el 10 y el 50% en la microestructura de la lámina recocida. "KO" se refiere a los ejemplos comparativos donde la fracción de austenita está fuera de este rango.
- 20 • Martensita: "OK" se refiere a la presencia o no de martensita con una fracción de volumen inferior al 25% en la microestructura de la lámina recocida. "KO" se refiere a los ejemplos comparativos donde la martensita está por encima del 25%.
- K: "OK" se refiere a la presencia o no de precipitados en la microestructura Kappa con una fracción de superficie de menos del 5%. Esta medición se realiza con un microscopio de escaneo de electrones. Cuando dice "KO", la
- 25

fracción de precipitados Kappa está por encima del 5%.

- UTS (MPa) se refiere a la fuerza tensil medida mediante una prueba tensil en la dirección longitudinal relativa a la dirección de laminado.

- UEI (%) se refiere a la elongación uniforme medida mediante una prueba tensil en la dirección longitudinal relativa a la dirección de laminado.

10 • HE (%): se refiere a la proporción de expansión de orificio de acuerdo con la norma ISO 16630 2009. El procedimiento para determinar la proporción de expansión de orificio HE% se utiliza para evaluar la capacidad de un metal de resistir la formación de un borde de corte. Consiste en la medición del diámetro inicial Di del orificio antes de formarse, luego del diámetro final del orificio Df tras la formación, determinado en el momento de observarse grietas en los bordes del orificio. Luego determina la capacidad de expansión del orificio HE% usando la siguiente fórmula:

$$HE\% = 100 \times \frac{(Df - Di)}{Di}$$

15 Bajo este procedimiento, el diámetro inicial del orificio es de 10 milímetros

Tabla 4: Propiedades de las planchas laminadas en frío y recocidas

Acero	Ferrita	Austenita	Martensita	K	TS (MPa)	UEI (%)	HE (%)
A1	OK (81%)	OK (17%)	OK (0%)	OK (2%)	831	15	30%
A2	OK (80%)	OK (20%)	OK	OK (0%)	800	15	42
A3	OK	OK (15%)	OK (0%)	KO (>5%)	No medido	No medido	No medido
A4	OK	OK (25%)	OK	OK (0%)	730	20	No medido
A5	OK (80%)	OK (20%)	OK	OK (0%)	800	15	42
A6	OK	OK (25%)	OK	OK (0%)	730	20	No medido
A7	OK	OK (25%)	OK	OK (0%)	730	20	No medido
A8	OK (81%)	OK (17%)	OK (0%)	OK (2%)	831	15	30%
B1	KO	KO (8%)	KO (92%)	OK (0%)	No medido	No medido	No medido
B2	KO	KO (8%)	KO (92%)	OK (0%)	No medido	No medido	No medido
B3	OK (60%)	OK (30%)	OK (10%)	OK (0%)	1092	17	30
C1	OK (40%)	KO (0%)	OK (10%)	OK (0%)	820	14	23
D1	OK (50%)	OK (28%)	OK (22%)	OK (0%)	1075	22,8	No medido
E1	OK (66%)	OK (32%)	OK (2%)	OK (0%)	1023	24,4	No medido
F1	OK (79%)	OK (21%)	OK (0%)	OK (0%)	723	25	No medido
G1	OK (74%)	OK (26%)	OK (0%)	OK (0%)	702	20	No medido
H1	OK (69%)	OK (23%)	OK (8%)	OK (0%)	965	16	No medido

20 **[0088]** B1 no se ha medido debido al comportamiento quebradizo. Para C1, el resto de la microestructura (50%) se forma de bainita. C1 presenta una fuerza tensil de 820MPa lo cual es demasiado bajo para la invención.

[0089] La Tabla 5 presenta los resultados de revestibilidad mediante electrodeposición de un revestimiento de zinc.

25

[0090] La superficie objetivo y la microestructura de la superficie se indica como "OK" si la superficie está formada por una capa externa de hierro metálico, con un grosor que varía de 50 a 300 nm, cubriendo una capa

interna formada de hierro metálico y conteniendo precipitados de óxidos internos de Mn, Al, Si, Cr y B y otros elementos más oxidizables que el hierro, cuyo grosor varía de 1 a 8 mm, superpuestos sobre una capa descarbada, hecha principalmente de ferrito, con rangos de grosor entre 10 a 50 mm. Si la superficie y la sub-superficie difiere de la superficie objetivo, la microestructura se considera insuficiente "KO".

5

[0091] La calidad de revestimiento se caracteriza por la proporción de cobertura y la adherencia del revestimiento.

[0092] La proporción de cobertura se indica como "OK", cuando se observa una cobertura completa a simple vista, y "KO" si se observan defectos de revestimiento como zonas no revestidas o puntos desnudos.

[0093] La adherencia del revestimiento se probó en una prueba de flexión de 3 puntos (180°) en planchas de 1 mm usando un punzón de 3 mm usando una punta de 1,5 mm de radio. La adherencia se juzga como excelente "OK" si no se observa descamación del revestimiento de zinc tras aplicar y retirar una cinta "scotch" adhesiva. Si se observa descamación o desprendimiento del revestimiento, la adherencia se juzga como insuficiente "KO".

15

Tabla 5: Propiedades de la superficie de planchas laminadas en frío y recocidas y revestidas

	Superficie objetivo y microestructura de sub-superficie	Proporción de cobertura	Adherencia del revestimiento	Tipo de revestimiento	
A1	OK	OK	OK	EG	Inversión
A2	OK	OK	OK	EG	Inversión
A3	OK	OK	OK	EG	Inversión
A4	OK	OK	OK	EG	Inversión
A5	KO	KO	KO	EG	referencia
A6	KO	KO	KO	EG	referencia
A7	OK	OK	OK	EG	Inversión
A8	OK	OK	OK	GI	Inversión
B1	OK	OK	OK	GI	Inversión
B2	KO	KO	KO	GI	referencia
B3	OK	OK	OK	GI	Inversión
C1	OK	OK	OK	GI	Inversión
D1	OK	OK	OK	EG	Inversión
E1	OK	OK	OK	EG	Inversión
F1	OK	OK	OK	EG	Inversión
F2	KO	KO	KO	EG	referencia
F3	OK	OK	OK	GI	Inversión
F4	KO	KO	KO	GI	referencia
G1	OK	OK	OK	EG	Inversión
G2	KO	KO	KO	EG	referencia
H1	OK	OK	OK	EG	Inversión

[0094] En la Figura 5, la adherencia del revestimiento se probó en una prueba de flexión de 3 puntos (180°) en planchas de 1 mm usando un punzón de 3 mm usando una punta de 1,5 mm de radio. Se observó una no adherencia del revestimiento de zinc para el ejemplo de acero A6 (fuera de la inversión). En (a), una parte revestida es visible, que estaba bajo una sollicitación baja durante la prueba de flexión. En (b), el sustrato de acero es visible tras decapar el revestimiento; esta parte estaba bajo alta sollicitación en la prueba de flexión.

20

[0095] Las planchas A1, A2, A3, A4, A7, A8, B1, B3, C1, D1, E1, F1, F3, G1 y H1 son planchas cuya composición química y procedimiento de procesamiento son de acuerdo con la invención.

5 **[0096]** Para la muestra A3, la producción se ha realizado bajo una atmósfera oxidizante (punto de condensación=+30°C) seguido de una atmósfera reductora. La superficie está formada por una primera capa donde la señal Fe GDOS alcanza un máximo y la de oxígeno un mínimo como se muestra en la Figura 4. Esta capa (B) está formada por hierro metálico. La segunda capa (C) se caracteriza por un descenso continuo de la señal de oxígeno a una proporción lenta, alrededor del 1% por 100 nm y se corresponde con una zona donde los óxidos
10 selectivos internos de Mn y Al se han precipitado. Se extiende hasta un nivel de oxígeno del 5% que se corresponde aquí a un grosor de 4 mm. En (A) es visible cierta contaminación superficial debido a la transferencia de las muestras desde el simulador de recocido al análisis GDOS.

[0097] Para la muestra A3, la adherencia del revestimiento fue probada en una prueba de flexión de 3 puntos
15 (180°) en planchas de 1mm usando un punzón de 3mm con una punta de 1,5 mm en radio. Se observa una muy buena adherencia del revestimiento de zinc para el ejemplo de acero A3 (dentro de la invención) como se muestra en la Figura 6. En (c), una parte revestida es visible, que estaba bajo una sollicitación baja durante la prueba de flexión. En (d), el revestimiento muestra una adherencia excelente, esta parte estaba bajo una alta sollicitación en la prueba de flexión.

20 **[0098]** La adherencia del revestimiento se probó también en una prueba de flexión de 3 puntos (180°) en planchas de 1 mm usando un punzón de 3 mm usando una punta de 1,5 mm de radio para A4 como se muestra en la Figura 7. Se observa una muy buena adherencia del revestimiento de zinc para el ejemplo de acero A4 (dentro de la invención). En (e), una parte revestida es visible, que estaba bajo una sollicitación baja durante la prueba de flexión. En (f), el revestimiento muestra una adherencia excelente, esta parte estaba bajo una alta sollicitación en la
25 prueba de flexión.

[0099] La microestructura de la plancha A se ilustra en la Figura 1. Su curva tensil se muestra en la Figura 2.

30 **[0100]** B2 no es de acuerdo con la invención, debido a una microestructura y procedimiento de revestimiento no objetivos. Su temperatura de recocido está fuera del objetivo.

[0101] A5 no se sometió a un paso de decapado, aunque se ha sometido a oxidación solo durante el recocido; como consecuencia, la adherencia del revestimiento y la proporción de cobertura es deficiente.

35 **[0102]** A6, B2, F2, F4 y G2 se han sometido solo a reducción durante el recocido; como consecuencia, los resultados de la adherencia de revestimiento y la proporción de cobertura son deficientes.

[0103] Para los aceros de acuerdo con la invención, además de una buena capacidad de revestimiento
40 mediante electrogalvanización (EG) o galvanización, las fuerzas tensiles son más superiores a 1000-50xAl MPa, y su elongación uniforme es mayor al 15%. Además, la expansión del orificio está sobre el 20%.

[0104] Las planchas de acero de acuerdo con la invención se utilizarán de forma beneficiosa para la
45 fabricación de piezas estructurales o de seguridad en el sector de la automoción.

REIVINDICACIONES

1. Planchas de acero laminadas en frío, por porcentaje de peso:

- 5 0,1 ≥ C ≥ 0,5%
 3,5 ≥ Mn ≥ 10,0%
 Al ≥ 9,0%
 Si ≥ 5,0%
 0,5 ≥ Si+Al ≥ 9,0%
 10 Ti ≥ 0,2%
 V ≥ 0,2%
 Nb ≥ 0,2%
 B ≥ 0,0035
 Cr ≥ 1%
 15 S ≥ 0,004%
 P ≥ 0,025 %

el resto de la composición siendo hierro e impurezas inevitables resultantes de la función y la microestructura contiene entre el 10% al 50% de austenita, entre el 25% y el 90% de ferrita, menos del 5% de precipitados Kappa y
 20 menos del 25% de martensita, dicha plancha presentando desde la superficie superior las siguientes capas sucesivas:

- una capa superior de hierro metálico puro con gamas de grosor desde 50 a 300 nm y,
- una primera subcapa de hierro metálico que contiene además uno o más precipitados de óxidos seleccionados
 25 entre Mn, Si, Al, Cr y B, con gamas de grosor desde 1 a 8 µm.

2. La plancha de acero laminado en frío de la reivindicación 1, comprendiendo además una segunda subcapa, que descansa bajo dicha primera subcapa, hecha de ferrita pura, con rangos de grosor de 10 a 50 µm.

30 3. La plancha de acero laminado en frío de las reivindicaciones 1 o 2, la composición del acero teniendo un contenido de manganeso de entre el 5,0 al 9,0 %.

4. La plancha de acero laminado en frío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 3, la composición del acero teniendo un contenido de carbono de entre el 0,1 al 0,3 %.
 35

5. La plancha de acero laminado en frío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 4, la composición del acero teniendo un contenido de carbono de entre el 0,15 al 0,25 %.

6. La plancha de acero laminado en frío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 5, la
 40 composición del acero teniendo un contenido de aluminio de entre el 1,5 al 9 %.

7. La plancha de acero laminado en frío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 6, la composición del acero teniendo un contenido de aluminio de entre el 5 al 8 %.

45 8. La plancha de acero laminado en frío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 7, la composición del acero teniendo un contenido de silicio igual o por debajo del 1,5%.

9. La plancha de acero laminado en frío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 8, la composición del acero teniendo un contenido de silicio igual o por debajo del 0,3 %.
 50

10. La plancha de acero laminado en frío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, la microestructura de acero conteniendo entre el 25 y el 40 % de austenita.

11. La plancha de acero laminado en frío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, la
 55 microestructura de acero conteniendo entre el 50 y el 85 % de ferrita.

12. La plancha de acero laminado en frío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, la microestructura de acero conteniendo menos del 15% de martensita.

60 13. La plancha de acero laminado en frío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, la

microestructura de acero no conteniendo precipitados Kappa.

14. La plancha de acero laminada en frío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 presentando una fuerza tensil TS superior o igual a 1000 - 50x %Al en MPa, una elongación uniforme UEI por encima o igual al 15% y una expansión de orificio HE por encima o igual al 20%.
15. Acero con revestimiento metálico obtenido revistiendo una plancha de acero laminado en frío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, dicho revestimiento realizado mediante un proceso seleccionado entre revestimiento por inmersión en caliente, electrodeposición y revestimiento por vacío, posiblemente seguido de un tratamiento por calor.
16. Plancha de acero revestida en metal de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, donde dicha plancha está galvanizada.
- 15 17. Procedimiento para facturar una plancha de acero laminada en frío de acuerdo con las reivindicaciones, comprendiendo los siguientes pasos:
 - Introducir y desincrustar una tira laminada en caliente o una placa sesgada cuya composición es de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 9.
 - 20 - la laminación en frío de la tira laminada en caliente o la placa delgada con una proporción de laminado en frío de entre el 30% y el 75% para así obtener una plancha de acero laminada en frío.
 - tratamiento por calor de la plancha de acero que se somete a calentamiento, a una proporción de calentamiento H_{rate} al menos igual a 1°C/s, hasta la temperatura de recocido T_{anneal} que está entre $T_{min}=721-36^{\circ}C-20^{\circ}Mn+37^{\circ}Al+2^{\circ}Si$ (en °C) y $T_{max}=690+145^{\circ}C$ $6,7^{\circ}Mn+46^{\circ}Al+9^{\circ}Si$ (en °C) durante 30 y 700 segundos seguido de
 - 25 un empapado a dicha temperatura, el calentamiento desde 550°C hasta T_{anneal} y al menos la primera parte del empapado produciéndose en una atmósfera oxidizante para producir una capa superior de óxido de hierro con un grosor entre 100 y 600 nm, dicha capa de óxido de hierro siendo luego completamente reducida.
 - 18. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 17 donde dicha reducción se produce durante la
 - 30 segunda parte del empapado, en una atmósfera reductora que contiene entre el 2% y el 35% de H₂ y teniendo un punto de condensación por debajo de los -10°C para así reducir dicha capa de óxido de hierro, la plancha de acero siendo enfriada posteriormente a una proporción de enfriado $V_{cooling2}$ por encima de los 5°C/s y por debajo de los 70°C/s hasta la temperatura ambiente.
 - 35 19. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 18, donde la segunda parte del empapado se produce en una atmósfera cuyo punto de condensación está por debajo de los -30°C.
 - 20. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17 a 19, donde:
 - la plancha de acero se enfría a $V_{cooling2}$ a una temperatura T_{OA} entre los 350°C y los 550°C y se mantiene a T_{OA}
 - 40 durante un tiempo de entre 10 y 300 segundos y luego
 - la plancha de acero se enfría posteriormente a una proporción de enfriamiento $V_{cooling3}$ de 5°C/s a 70°C/s hasta la temperatura ambiente.
 - 21. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 17 o 20, donde dicha reducción se produce tras
 - 45 enfriar dicha plancha de acero a una proporción de enfriamiento $V_{cooling2}$ por encima de los 5°C/s y por debajo de los 70°C/s hasta la temperatura ambiente que se realiza mediante decapado químico.
 - 22. Procedimiento de fabricación de una plancha de acero con revestimiento metálico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17 a 21, comprendiendo los pasos de revestimiento realizado mediante un
 - 50 proceso seleccionado entre revestimiento por inmersión en caliente, electrodeposición y revestimiento por vacío, posiblemente seguido de un tratamiento por calor.
 - 23. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 22, donde dicha plancha de acero con revestimiento metálico se somete a un tratamiento de galvanizado por calor.
 - 55 24. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 17 a 23, donde dicha tira laminada en caliente se obtiene mediante un proceso que comprende los siguientes pasos:
 - fundición de acero cuya composición es de acuerdo con las reivindicaciones para obtener una placa,
 - 60 - recalentamiento de la placa a una temperatura T_{reheat} entre los 1100°C y los 1300°C,
 - laminado en caliente de la placa recalentada a una temperatura entre los 800°C y los 1250°C para obtener una tira

de acero laminada en caliente,

- enfriar la tira de acero laminada en caliente a una velocidad de bobinado $V_{cooling1}$ de al menos 10°C/s hasta que la temperatura de bobinado $T_{coiling}$ sea inferior o igual a los 700°C ,
- bobinar la tira laminada en caliente enfriada a $T_{coiling}$,

5

25. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 24, donde la tira laminada en caliente se recoce posteriormente usando un proceso seleccionado entre recocido en lote entre 400°C y 600°C entre 1 y 24 horas y recocido continuo entre 650°C y 750°C entre 60 y 180s.

- 10 26. Vehículo que comprende una parte estructural formada por una plancha de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16.

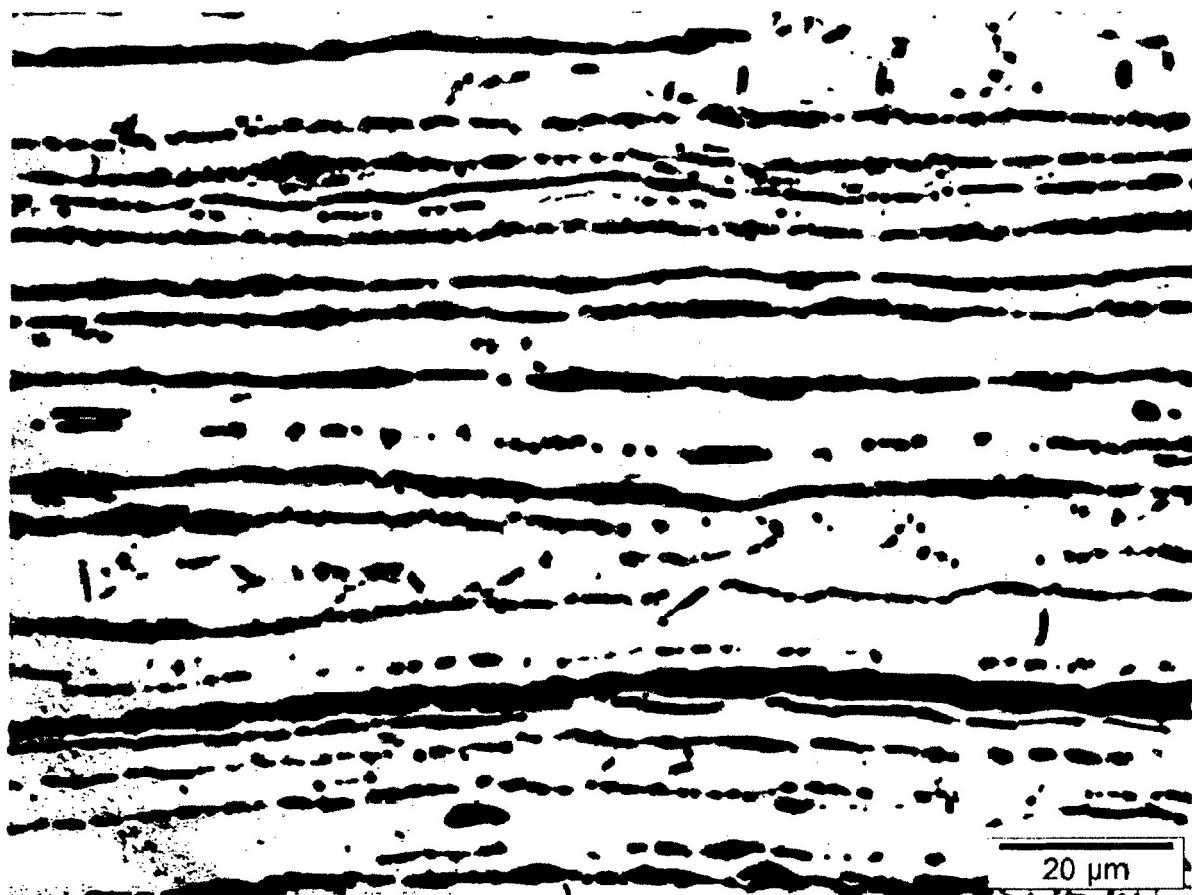


Figura 1

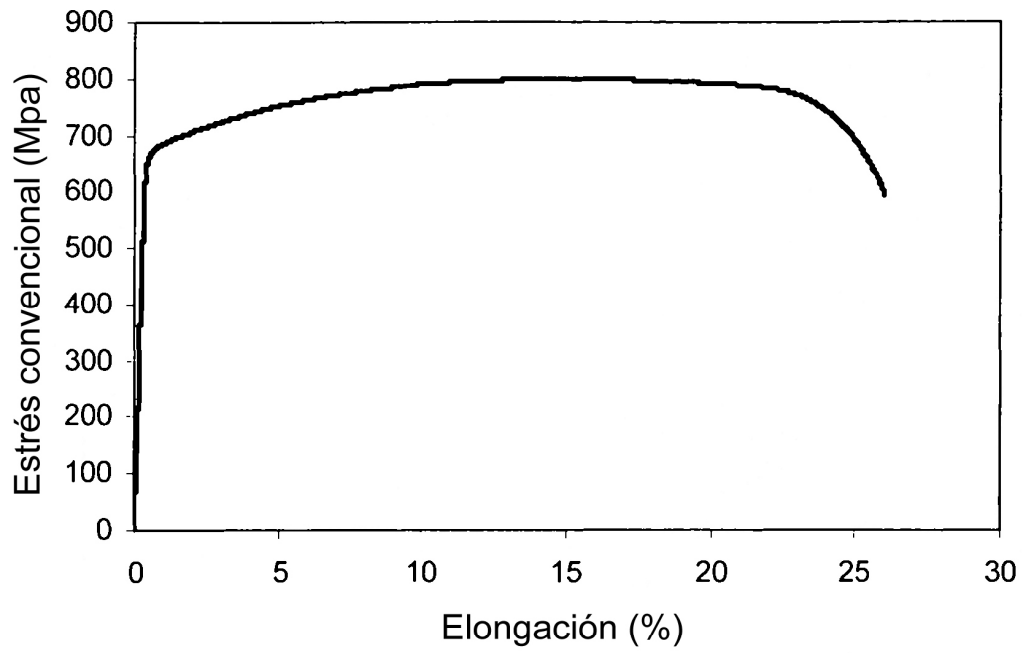


Figura 2

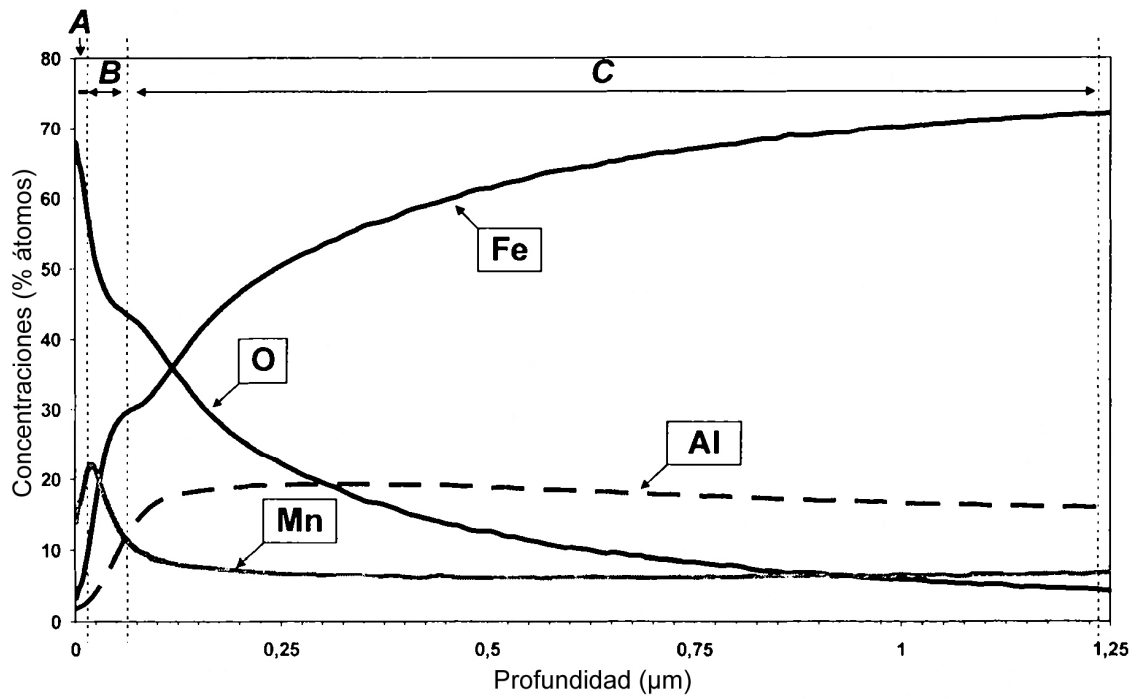


Figura 3

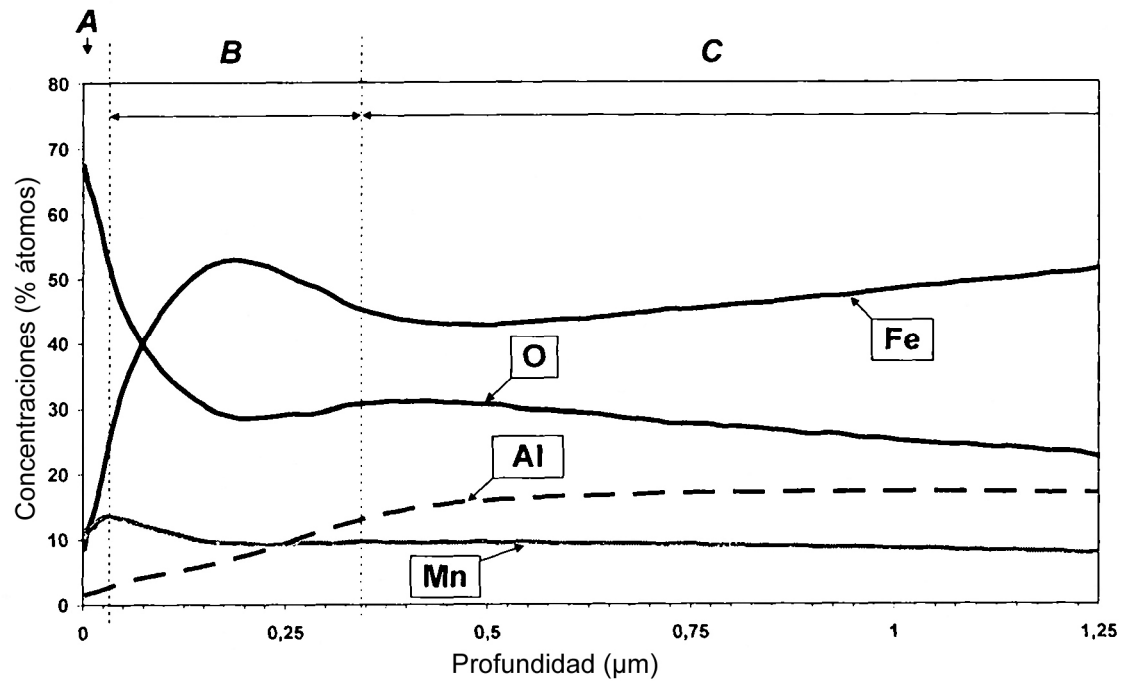


Figura 4

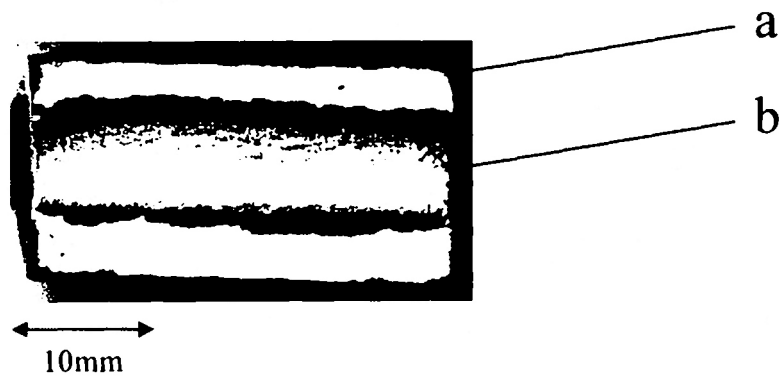


Figura 5

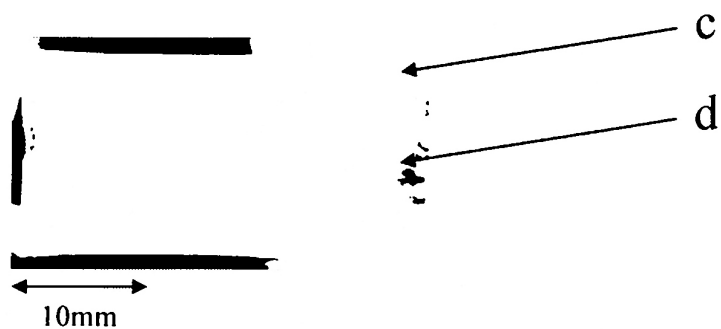


Figura 6

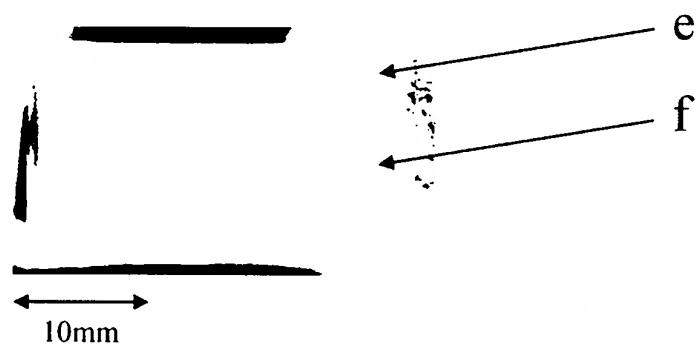


Figura 7

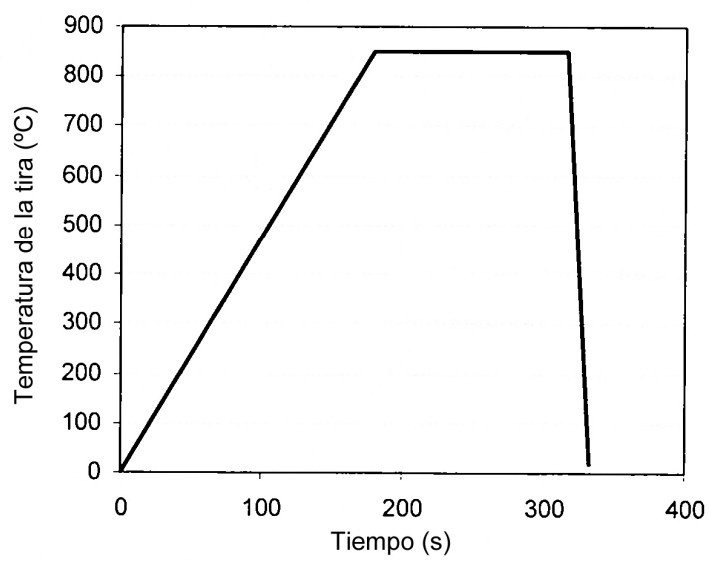


Figura 8

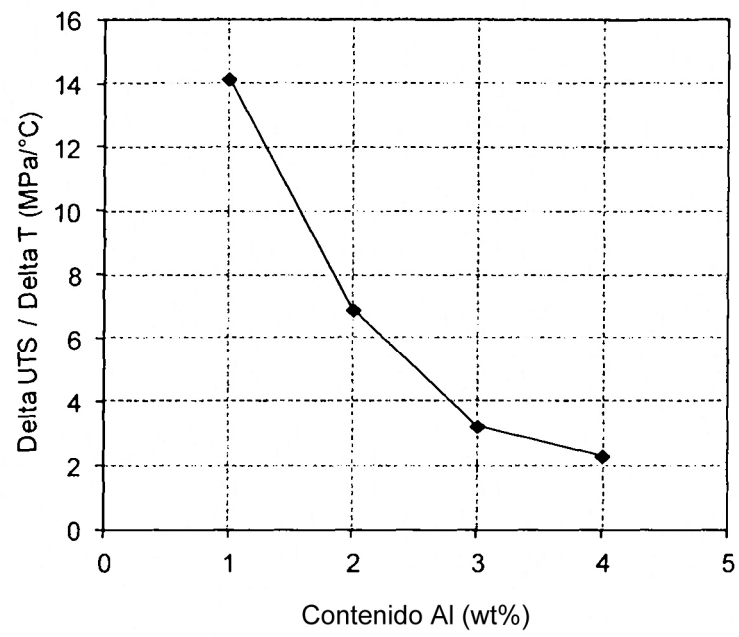


Figura 9