

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 014 218**

51 Int. Cl.:

C21D 1/74	(2006.01) B32B 15/01	(2006.01)
B62D 29/00	(2006.01) C22C 38/00	(2006.01)
C21D 1/76	(2006.01) C22C 38/02	(2006.01)
C21D 3/04	(2006.01) C22C 38/06	(2006.01)
C23C 2/02	(2006.01) C22C 38/28	(2006.01)
C23C 2/06	(2006.01) C22C 38/32	(2006.01)
C23C 2/12	(2006.01) C23C 2/26	(2006.01)
C21D 1/34	(2006.01) C23C 2/28	(2006.01)
C21D 1/52	(2006.01) C23C 2/40	(2006.01)
C21D 1/673	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.09.2013** **E 20156919 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.12.2024** **EP 3783117**

54 Título: **Chapas pre-revestidas para la fabricación de piezas de acero revestidas y curadas con prensa**

30 Prioridad:
06.09.2012 WO PCT/FR2012/000350

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.04.2025

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

72 Inventor/es:
PUERTA VELASQUEZ, JUAN DAVID;
STAUDTE, JONAS y
DRILLET, PASCAL

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

ES 3 014 218 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

Chapas pre-revestidas para la fabricación de piezas de acero revestidas y curadas con prensa

5 **[0001]** La descripción se refiere a un procedimiento de fabricación de piezas a partir de chapas de acero laminadas en frío y recocidas, pre-revestidas, calentadas, estampadas y a continuación endurecidas durante un enfriamiento obtenido por mantenimiento dentro de una herramienta de prensa; estas piezas están destinadas principalmente a utilizarse como elementos de estructura en los vehículos automóviles para asegurar funciones de anti-intrusión o de absorción de energía. Dichas piezas también pueden usarse, por ejemplo, para la fabricación de
10 herramientas o de piezas de maquinaria agrícola.

[0002] En este tipo de aplicaciones, se busca realizar piezas de acero que combinen una resistencia mecánica elevada, una gran resistencia a las colisiones, una buena resistencia a la corrosión y una buena precisión dimensional. Esta combinación es particularmente deseable en la industria automovilística en la que se busca un aligeramiento
15 significativo del peso de los vehículos. Las piezas anti-intrusión o las piezas que intervienen en la seguridad de los vehículos automóviles como los travesaños de los parachoques, los refuerzos de las puertas o los montantes centrales, necesitan por ejemplo las cualidades mencionadas anteriormente. Este objetivo puede obtenerse en particular gracias a piezas de aceros cuya microestructura es martensítica o bainito-martensítica.

20 **[0003]** La fabricación de dichas piezas se conoce por las publicaciones FR2780984 y FR2807447 según las cuales una pieza en bruto cortada en una chapa de acero para tratamiento térmico, pre-revestida con un metal o una aleación metálica, se calienta en un horno y a continuación se deforma en caliente. El pre-revestimiento puede ser de aluminio o una aleación de aluminio, de zinc o una aleación de zinc. Durante el calentamiento en el horno, el pre-revestimiento asegura una protección de la superficie del acero contra la descarburación y la formación de carbonilla.
25 Durante el calentamiento en horno, este pre-revestimiento se une con el sustrato de acero para formar un compuesto apto para la conformación en caliente y que no provoca degradación del conjunto de herramientas. El mantenimiento de la pieza en el conjunto de herramientas después de realizada la conformación permite un enfriamiento rápido que conduce a la obtención de microestructuras de templado que presentan muy altas características mecánicas. Dicho procedimiento se conoce por el nombre de endurecimiento por templado en prensa o "press hardening".

30 **[0004]** Por regla general, se evalúan las características mecánicas de las piezas así obtenidas por medio de ensayos de tracción y de dureza. Los documentos citados anteriormente describen así procedimientos de fabricación que permiten obtener una resistencia mecánica (o resistencia a la ruptura en tracción) R_m de 1.500 MPa a partir de una pieza en bruto de acero que presenta una resistencia inicial R_m de 500 MPa antes del calentamiento y el
35 enfriamiento rápidos.

[0005] Sin embargo, las condiciones de servicio de algunas piezas endurecidas y revestidas necesitan no solo un valor elevado de resistencia R_m , sino también una buena aptitud para el plegado. Este parámetro aparece de hecho como más pertinente que la elongación a la ruptura medida en tracción, para garantizar que la pieza presenta una
40 ductilidad suficiente para absorber deformaciones o colisiones sin riesgo de ruptura, especialmente en zonas que corresponden a concentraciones locales de estrés debidas a la geometría de la pieza o a la posible presencia de microdefectos en la superficie de las piezas.

[0006] El documento WO2009080292 describe un procedimiento que permite aumentar el ángulo de plegado
45 de una pieza endurecida: según este procedimiento, se calienta una chapa de acero en un horno de recocido a una temperatura comprendida entre 650 y 800 °C para obtener una capa de óxido de grosor claramente superior a 0,3 micrómetros. Algunos elementos de aleación del acero se oxidan bajo esta capa de óxido. A continuación se reduce parcialmente esta capa de óxido de forma que presente un grosor superior a 0,3 micrómetros. La superficie extrema de la capa de óxido reducida está constituida por hierro puro. A continuación se reviste la chapa por templado. Después
50 de esta etapa, la chapa incluye las diferentes capas sucesivas siguientes: el sustrato de acero que incluye elementos oxidados en las proximidades de la superficie (oxidación interna), estando este sustrato recubierto con una capa de óxido parcialmente reducida, a su vez recubierta con el revestimiento depositado por templado. Durante la etapa posterior de austenitización de la pieza en bruto, y/o durante la conformación y el enfriamiento, se forma una fina capa dúctil bajo el revestimiento, de tal manera que las fisuras formadas durante el revestimiento durante la conformación
55 se propagan con menos facilidad en esta capa subyacente.

[0007] Sin embargo, la capa de óxidos que está presente en el momento en que la chapa se sumerge en el baño metálico de revestimiento puede revelarse perjudicial para la adhesión del revestimiento por templado en esta
60 capa.

[0008] El documento WO2011/069906 divulga un procedimiento de fabricación de una chapa. De este modo se busca un procedimiento de fabricación que no presente este inconveniente y que permita obtener simultáneamente, después del endurecimiento por templado en prensa, características elevadas de tracción y de plegado. Además, se sabe que las condiciones de fabricación industriales incluyen de forma inevitable una cierta variabilidad: por ejemplo,
65 el ciclo de temperatura durante el recocido de la chapa antes del revestimiento, la composición y/o el punto de rocío

de la atmósfera de los hornos de recocido continuo pueden variar ligeramente durante una misma secuencia de fabricación, o variar de una campaña de fabricación a otra. Incluso si se toman las mayores precauciones para minimizar estas variaciones, se busca disponer de un procedimiento de fabricación tal que las características mecánicas, y sobre todo la aptitud para el plegado, obtenidas después del endurecimiento por templado en prensa, sean muy poco sensibles a esta posible variación de las condiciones de fabricación. Se busca además un procedimiento de fabricación que conduzca a una buena isotropía de las piezas después de estampación en caliente, es decir, cuya aptitud para el plegado depende poco del sentido de la carga con respecto a la dirección de laminado de la chapa.

10 **[0009]** Además, se sabe que el tiempo de permanencia de las piezas en bruto en los hornos, durante la etapa de austenitización antes de la estampación en caliente, puede influir en las características mecánicas de las piezas. De este modo se busca disponer de un procedimiento de fabricación que sea poco sensible al tiempo de mantenimiento en horno con el fin de obtener una gran reproducibilidad de las características mecánicas de las piezas.

15 **[0010]** En el caso de piezas fabricadas a partir de chapas pre-revestidas de zinc o de aleación de zinc, se busca disponer de un procedimiento que permita una soldadura de estas piezas, sin riesgo de fragilización de los bordes de grano por penetración de zinc líquido.

[0011] La presente invención tiene como objetivo resolver los problemas mencionados anteriormente mediante un procedimiento de fabricación económico.

[0012] De forma sorprendente, los autores de la invención han descubierto que se obtenía una aptitud elevada para el plegado de las piezas cuando bajo el pre-revestimiento metálico estaba presente una zona descarburada de un grosor específico, antes del endurecimiento por templado en prensa de la pieza. De una manera sorprendente, esta descarburación específica antes del endurecimiento conduce a resultados de plegado que dependen poco de las condiciones de recocido continuo antes del revestimiento, y que se traducen en una buena isotropía con respecto al sentido de laminado, de manera que se obtienen valores de plegado elevados a pesar de la presencia de óxidos en esta zona descarburada, lo que corresponde a un enriquecimiento en oxígeno en esta zona.

30 **[0013]** La invención tiene por objeto un primer procedimiento de fabricación según la reivindicación 1. El primer procedimiento de fabricación comprende preferentemente las características de cualquiera de las reivindicaciones 2 o 3. La invención tiene también por objeto un segundo procedimiento de fabricación según la reivindicación 4. El segundo procedimiento de fabricación comprende preferentemente las características de cualquiera de las reivindicaciones 5 o 6.

35 **[0014]** La invención tiene también por objeto un tercer procedimiento de fabricación según la reivindicación 7. El tercer procedimiento de fabricación comprende preferentemente las características de la reivindicación 8. Los procedimientos de fabricación según la invención comprenden preferentemente las características de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15.

40 **[0015]** En el curso de la descripción ofrecida a continuación aparecerán otras características y ventajas de la invención, ofrecidas a modo de ejemplo y con referencia a las figuras adjuntas siguientes:

45 La figura 1 presenta la microestructura de una chapa de acero pre-revestida según la invención, destinada a la fabricación de piezas endurecidas por templado en prensa.

La figura 2 ilustra esquemáticamente la definición de la profundidad de la zona ablandada d medida por microdureza bajo el revestimiento de una pieza endurecida por templado en prensa.

50 La figura 3 ilustra esquemáticamente la definición, para una chapa o una pieza en bruto pre-revestida, de la profundidad de descarburación de la superficie $p_{50} \%$, medida por espectroscopia de descarga luminiscente, bajo el pre-revestimiento de la chapa o de la pieza en bruto antes del endurecimiento por templado en prensa.

La figura 4 presenta la variación del ángulo de plegado crítico α_c de una pieza revestida endurecida por templado en prensa, según la profundidad de la zona ablandada superficial, siendo esta medida por microdureza bajo el revestimiento.

55 La figura 5 presenta la variación del ángulo de plegado crítico α_c de una pieza revestida endurecida por templado en prensa, según la profundidad de descarburación $p_{50} \%$, siendo ésta medida en la pieza en bruto pre-revestida antes de la estampación en caliente y el templado.

La figura 6 muestra la influencia del punto de rocío en una zona particular del horno durante el recocido antes del pre-revestimiento, en el ángulo crítico de plegado de la pieza después de la estampación en caliente.

60 La figura 7 muestra la influencia del punto de rocío en una zona particular del horno durante el recocido antes del pre-revestimiento, en la profundidad de descarburación $p_{50} \%$, siendo este último parámetro medido en la pieza en bruto pre-revestida antes de la estampación en caliente y el templado.

La figura 8 muestra la microestructura del acero bajo el revestimiento de zinc, después del endurecimiento por templado en prensa, para un punto de rocío de -27°C .

65 La figura 9 ilustra igualmente la microestructura del acero bajo el revestimiento de zinc, después del endurecimiento por templado en prensa, para un punto de rocío de -7°C .

La figura 10 ilustra la variación, antes de la estampación en caliente, del contenido de carbono del sustrato de acero de dos chapas de acero pre-revestidas, en proximidad de su interfaz con el pre-revestimiento, habiéndose efectuado el recocido de las chapas en una atmósfera A2a con un punto de rocío de -27 °C o de -7 °C.

La figura 11 ilustra la variación del contenido de carbono de dos piezas de acero estampadas en caliente, en proximidad de la interfaz con el revestimiento de estas piezas, habiéndose efectuado el recocido de las chapas usadas para la fabricación de estas piezas en una atmósfera A2a con un punto de rocío de -27 °C o de -7 °C.

Las figuras 12 y 13 ilustran óxidos internos formados durante el recocido en el sustrato de acero, en proximidad de la superficie.

Las figuras 14 y 15 presentan dos espectros de análisis de la dispersión en energía de rayos X de estos óxidos.

La figura 16 ilustra la variación del contenido de oxígeno relativo (O/O_0) bajo el pre-revestimiento, en chapas fabricadas según la invención.

[0016] El grosor de la chapa de acero laminada en frío implementada en el procedimiento según la invención está comprendido preferentemente entre 0,5 y 2,6 mm aproximadamente, gama de grosor usada principalmente en la fabricación de piezas estructurales o de refuerzo para la industria automovilística.

[0017] El acero es un acero para tratamiento térmico, es decir, un acero capaz de endurecimiento después de austenitización y enfriamiento rápido por templado. Ventajosamente, el acero contiene los siguientes elementos, donde la composición se expresa en peso:

- un contenido de carbono comprendido entre el 0,07 y el 0,5 %, preferentemente entre el 0,09 y el 0,38 % en peso, y muy preferentemente entre el 0,15 y el 0,25 % en peso. Este elemento desempeña un papel importante en la templabilidad y la resistencia mecánica obtenidas después del enfriamiento posterior al tratamiento de austenitización. Por debajo de un contenido del 0,07 % en peso, la aptitud al templado se reduce y la resistencia mecánica es insuficiente después del endurecimiento por templado en prensa. Un contenido del 0,15 % permite garantizar una templabilidad suficiente en las zonas más deformadas en caliente. Por encima de un contenido del 0,5 % en peso, el riesgo de formación de defectos se incrementa durante el templado, en particular para las piezas de mayor grosor. Se hace igualmente difícil garantizar una ductilidad durante el plegado de piezas después del endurecimiento por templado en prensa. Un contenido de carbono comprendido entre el 0,09 y el 0,38 % permite obtener una resistencia R_m comprendida entre 1.000 y 2.050 MPa aproximadamente cuando la microestructura de la pieza es totalmente martensítica.

- además de su papel de desoxidante, el manganeso tiene asimismo un efecto importante en la templabilidad en particular cuando su contenido en peso es superior al 0,5 %, y preferentemente superior al 0,8 %. Sin embargo, es preferible limitar su adición al 3 % en peso, y muy preferentemente limitarla al 1,5 % de forma que se evite una segregación excesiva.

- el contenido de silicio del acero debe estar comprendido entre el 0,02 y el 0,5 % en peso, y preferentemente entre el 0,1 y el 0,35 %. Además de su papel en la desoxidación del acero líquido, este elemento contribuye al endurecimiento del acero pero sin embargo su contenido debe estar limitado para evitar la formación excesiva de óxidos y para no perjudicar la capacidad de revestimiento mediante templado.

- por encima de un contenido superior al 0,01 %, el cromo aumenta la templabilidad y contribuye a la obtención de una resistencia importante después de la operación de conformación en caliente. Por encima de un contenido igual al 1 %, (preferentemente el 0,3 %), el efecto del cromo en la homogeneidad de las propiedades mecánicas en la pieza se satura.

- el aluminio es un elemento que favorece la desoxidación y la precipitación del nitrógeno. En cantidad excesiva, se forman aluminatos gruesos durante la preparación que tienden a disminuir la ductilidad, lo que incita a limitar el contenido de aluminio al 0,25 % en peso. Un contenido mínimo del 0,001 % permite desoxidar el acero al estado líquido durante la preparación.

- en cantidades excesivas, el azufre y el fósforo conducen a una mayor fragilidad. Por este motivo es preferible limitar su contenido respectivo a entre el 0,05 y el 0,1 % en peso.

- el boro, cuyo contenido debe estar comprendido entre el 0,0005 y el 0,010 % en peso, y preferentemente entre el 0,002 y el 0,005 % en peso, es un elemento que desempeña un papel importante en la templabilidad. Por debajo de un contenido del 0,0005 %, no se obtiene un efecto suficiente en la templabilidad. El efecto completo se obtiene para un contenido del 0,002 %. El contenido máximo de boro debe ser inferior al 0,010 %, y preferentemente al 0,005 %, para no degradar la tenacidad.

- El titanio tiene una alta afinidad por el nitrógeno. Protege el boro de modo que este elemento se encuentre en forma libre para que ejerza todo su efecto sobre la templabilidad. Sin embargo, por encima del 0,2 %, existe el riesgo de que se formen nitruros de titanio gruesos que desempeñan un papel perjudicial en la tenacidad. Está comprendido preferentemente entre el 0,02 y el 0,1 %.

- De manera opcional, el acero también puede contener calcio en una cantidad comprendida entre el 0,0005 y el 0,005 %: al combinarse con el oxígeno y el azufre, el calcio permite evitar la formación de inclusiones de gran tamaño que son perjudiciales para la ductilidad de las chapas o de las piezas fabricadas de este modo.

[0018] El resto de la composición está constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la preparación, en particular oxígeno, presente en forma de óxidos.

[0019] Un acero preferido es el 22MnB5 que contiene el 0,20-0,25 % de C, el 1,1-1,35 % de Mn, el 0,15-0,35 % de Si, el 0,02-0,06 % de Al, el 0,02-0,05 % de Ti, el 0,02-0,25 % de Cr y el 0,002-0,004 % de B, siendo el resto hierro e impurezas inevitables.

5 **[0020]** Los autores de la invención han investigado en primer lugar las condiciones que permitan obtener una buena aptitud para el plegado después del endurecimiento por templado en prensa. Esta característica se mide sometiendo la pieza a una flexión en tres puntos. La pieza se pliega progresivamente en rodillos en flexión de tres puntos, midiéndose la carga aplicada simultáneamente. Se mide el ángulo de plegado crítico α_c durante la aparición de fisuras en la pieza, lo que se acompaña de un decrecimiento instantáneo de la carga aplicada. Dichas condiciones
10 de ensayos se describen en la norma DIN VDA 238-100. Para una carga de ruptura R_m del orden de 1.300-1.600 MPa, se requiere un ángulo de plegado crítico superior a 55° con el fin de satisfacer las especificaciones. Se busca también preferentemente un ángulo de plegado crítico superior a 60° para satisfacer las condiciones de utilización más severas.

15 **[0021]** Gracias a un procedimiento de fabricación que se detallará posteriormente, los autores de la invención han fabricado piezas, a partir de piezas en bruto de acero de 22MnB5 de 1,2 mm de grosor pre-revestidas de zinc galvanizado-aleado ("galvannealed"), estampadas en caliente después de calentamiento a 880°C y mantenimiento durante 5 minutos, no solo difieren por la presencia de una capa ablandada más o menos importante situada bajo el revestimiento. El procedimiento de determinación de la profundidad de esta zona ablandada se ilustra
20 esquemáticamente en la figura 2: después del endurecimiento por templado en prensa, la pieza está constituida por un sustrato de acero para tratamiento térmico 6 de un revestimiento 4 separado del sustrato por la interfaz 5. Se observará que este esquema no pretende reproducir las dimensiones respectivas de las diferentes zonas. Se efectúan medidas de dureza bajo una carga muy baja (por ejemplo, de durezas Vickers bajo una carga de 50 gramos, HV0,05) en el sustrato a partir de la interfaz 5, de forma que se obtenga la curva 7 que ilustra el perfil de microdureza. De ello
25 se deduce el valor d que caracteriza la profundidad de la zona ablandada. Se ha llevado a la figura 4 el ángulo de plegado crítico α_c medido para valores de d que varían aproximadamente entre 30 y 40 micrómetros. Para una baja profundidad de zona ablandada, las piezas estampadas en caliente no satisfacen la exigencia $\alpha_c \geq 55^\circ$. Sin embargo, para las zonas ablandadas más profundas, se observa que la relación está lastrada por una gran dispersión: para un valor dado de d , por ejemplo 35 micrómetros, no es posible determinar con certeza si la pieza estampada en caliente
30 satisfará el criterio requerido. Se ha observado asimismo que las microestructuras que corresponden a estas zonas ablandadas de amplitud variable son muy semejantes después del endurecimiento por templado en prensa. Además, la microestructura de estas zonas ablandadas puede ser totalmente martensítica, es decir, que no es posible distinguirla fácilmente por microscopia óptica clásica. En otros términos, los autores de la invención han descubierto que ni la profundidad de las zonas ablandadas medidas en las piezas endurecidas por templado en prensa ni la
35 observación microestructural óptica de las zonas ablandadas de estas piezas son parámetros que permiten garantizar de forma fiable un valor mínimo para el ángulo de plegado.

[0022] De una forma sorprendente, los autores de la invención han descubierto que convenía determinar, no en la pieza endurecida por templado en prensa, sino en la chapa o la pieza en bruto pre-revestida antes del
40 endurecimiento, la profundidad de descarburación, para obtener el resultado deseado. El procedimiento de determinación se ilustra en la figura 3 cuyo esquema no pretende reproducir a escala las dimensiones respectivas de las diferentes zonas: la chapa, o la pieza en bruto están constituidas por un sustrato de acero 10 de un pre-revestimiento 8 separado del sustrato por la interfaz 9. A partir de esta interfaz, se mide, por espectroscopia de descarga luminiscente (o GDOES, "*Glow Discharge Optical Emission Spectrometry*" en inglés, técnica conocida de
45 por sí) la profundidad $p_{50\%}$ a la que el contenido de carbono es igual al 50 % del contenido de carbono nominal C_0 del sustrato 10. El perfil de concentración puede presentar un decrecimiento regular del carbono desde el sustrato hasta la interfaz (perfil 11) o bien un mínimo situado a poca distancia de la interfaz (perfil 12). Este último caso traduce un enriquecimiento en carbono localizado en proximidad de la extrema superficie que no tiene influencia en la práctica en las propiedades mecánicas después de la estampación en caliente. En el caso del perfil 12, la profundidad $p_{50\%}$ que
50 se debe tener en cuenta se sitúa más allá de este enriquecimiento muy superficial, como muestra la figura 3. Gracias a un procedimiento de fabricación que se detallará posteriormente, los autores de la invención han fabricado chapas de 22MnB5 de 1,2 mm de grosor pre-revestidas de zinc galvanizado-aleado ("galvannealed") que difieren por la presencia de una capa descarburada más o menos importante situada bajo el pre-revestimiento. Estas chapas han sido cortadas para obtener piezas en bruto que han sido calentadas en horno a 880°C durante 5 minutos, a
55 continuación estampadas en caliente para obtener piezas. Estas se han sometido a ensayos de plegado cuyos resultados se ilustran en la figura 5, ejerciéndose la flexión durante el plegado bien en un sentido paralelo al sentido del laminado (curva 13) o bien en un sentido perpendicular (curva 14). Al contrario de los resultados presentados en la figura 4, se observa que la profundidad de la zona descarburada antes del endurecimiento por templado en prensa permite prever de forma satisfactoria las propiedades de la pieza después del endurecimiento por templado en prensa.
60 Para obtener un valor de ángulo crítico de plegado $\alpha_c \geq 55^\circ$ (plegado en sentido paralelo al laminado), la profundidad de la zona descarburada $p_{50\%}$ no debe ser inferior a 6 micrómetros. Para que esta condición se cumpla con independencia de cuál sea la orientación con respecto al sentido de laminado, la profundidad de la descarburación $p_{50\%}$ no debe ser inferior a 9 micrómetros. Para obtener un valor $\alpha_c \geq 55^\circ$, con independencia de cuál sea la orientación con respecto al sentido de laminado, la profundidad de la descarburación $p_{50\%}$ no debe ser inferior a 12 micrómetros.
65 De una forma sorprendente, se observa sin embargo que más allá de una profundidad $p_{50\%}$ de 30 micrómetros, la

aptitud para el plegado no mejora, e incluso disminuye ligeramente, cuando la flexión se ejerce en el sentido perpendicular al laminado. Además, la separación de la aptitud para el plegado entre el sentido paralelo y el sentido perpendicular al laminado tiene tendencia a aumentar. Así, para satisfacer las exigencias mecánicas, el valor de $p_{50}\%$ debe estar comprendido entre 6 y 30 micrómetros, preferentemente entre 9 y 30, y muy preferentemente entre 12 y 30 micrómetros.

[0023] A continuación se describirá el procedimiento según la invención: en primer lugar se proporciona un acero para tratamiento térmico, como se ha indicado anteriormente. Se encuentra en forma de chapa laminada en frío, plana. El tratamiento térmico de recocido expuesto más adelante tiene especialmente como objeto provocar una 10 recristalización de la microestructura batida por el laminado en frío. Después de un desengrasado opcional y una limpieza electrolítica para obtener una superficie exenta de contaminación, puede obtenerse una profundidad de descarburación $p_{50}\%$ comprendida entre 6 y 30 micrómetros gracias a los procedimientos siguientes:

según un primer modo, la chapa se somete a un tratamiento térmico en continuo en un horno calentado por medio de 15 tubos radiantes (o "RTF", Radiant Tube Furnace), o por resistencia, o por inducción, o por una combinación cualquiera de estos diferentes medios. Estos presentan la característica de que la atmósfera que reina en las diferentes partes del horno puede ajustarse de forma independiente de estos medios de calentamiento. El horno incluye varias zonas (precalentamiento, calentamiento, mantenimiento, enfriamiento) en las que reinan diferentes condiciones de temperatura y/o de atmósfera: se precalienta la chapa hasta una temperatura T_{1a} en una zona en que la atmósfera 20 (designada por A1) contiene del 2 al 15 % en volumen de hidrógeno, preferentemente el 3-5 % en volumen de hidrógeno, siendo el resto nitrógeno e impurezas inevitables en el gas, con un punto de rocío comprendido entre -60 y -15 °C. Se sabe que el punto de rocío caracteriza al potencial de oxidación de la atmósfera en cuestión. La chapa en su recorrido pasa a continuación a otra zona del horno en la que se inyecta a partir de una temperatura T_{1a} , agua en forma líquida o en forma de vapor, u oxígeno, o incluso una combinación de estos diferentes elementos, de forma 25 que aumente el punto de rocío de la atmósfera. La inyección no debe realizarse a una temperatura T_{1a} inferior a 600 °C que conduciría a una oxidación del hierro a baja temperatura. Preferentemente, la inyección se efectúa a una temperatura T_1 a superior a Ac_1 , temperatura de inicio de transformación austenítica del acero al calentamiento. En efecto, más allá de esta temperatura, el carbono se encuentra en solución sólida en la austenita, es decir, en una forma más apta para el fenómeno de descarburación que va a intervenir. La inyección se lleva a cabo preferentemente 30 a una temperatura T_{1a} inferior o igual a Ac_1+40 °C. Esta gama de temperatura superior a Ac_1 se preferirá para obtener una profundidad de descarburación $p_{50}\%$ más importante, por ejemplo superior a 9 o 12 micrómetros. Más allá de Ac_1+40 °C, existe un riesgo de hacer crecer el tamaño del grano austenítico y provocar la formación de compuestos bainíticos y/o martensíticos en el sustrato de acero durante el enfriamiento que sigue al recocido.

35 **[0024]** La inyección se realiza de forma que el punto de rocío PR de la atmósfera A2a de esta sección del horno se sitúe entre -15 °C y la temperatura T_e del punto de rocío del equilibrio termodinámico hierro/óxido de hierro. En la gama de temperatura considerada, el óxido de hierro formado puede ser FeO o Fe₃O₄. Se elegirá la temperatura de equilibrio T_e más baja correspondiente a la formación de uno u otro óxido. Esta temperatura T_e puede determinarse por ejemplo a partir de la publicación: JANAF Thermomechanical Tables, 3rd Edition, Part II, Journal of Physical and 40 Chemical Référence Data, Volume 14, 1985, supplément n°1, publié par l'American Chemical Society and the American Instituts of Physics for the National Bureau of Standards. En estas condiciones de inyección, se crea una oxidación selectiva interna de determinados elementos de adición presentes en el acero (Mn, Si, Al, Cr, Ti) sin que intervenga una oxidación superficial del hierro. La oxidación interna puede tener una profundidad que llegue hasta 5 micrómetros aproximadamente bajo la superficie para Mn, Si, Al y Cr. Se asiste a un enriquecimiento de oxígeno en 45 esta zona superficial, cuyo contenido medio de oxígeno se designa por O_m . Si el contenido nominal de oxígeno del sustrato de acero se designa por O_0 , la relación O_m/O_0 que caracteriza el enriquecimiento superficial en oxígeno es superior a 15.

[0025] Los óxidos están situados entre 0 y 5 micrómetros bajo la interfaz entre el pre-revestimiento y el sustrato. 50 Para un punto de rocío PR superior a -15 °C, la densidad de óxidos de diámetro superior a 1 micrómetro en esta zona es superior a 50/mm². La definición del diámetro es la siguiente: a partir de un corte metalográfico, se determina para cada óxido el diámetro del círculo que presentaría la misma superficie. Se sabe que los óxidos tienen generalmente una influencia desfavorable sobre la ductilidad, debido a su función de sitios de cebado de la ruptura. Como se verá más adelante, la naturaleza específica de los óxidos internos formados en las condiciones de la invención no 55 desempeña un papel perjudicial en la aptitud para el plegado después del endurecimiento en prensa.

[0026] En estas condiciones se produce una descarburación superficial. Cuando el punto de rocío es superior a la temperatura T_e del punto de rocío correspondiente al equilibrio hierro/óxido de hierro, la atmósfera se vuelve oxidante para el hierro. Durante las etapas posteriores de recocido, existe entonces un riesgo posible de no reducir 60 completamente el óxido de hierro y de provocar la aparición local de defectos de revestimiento que corresponden a la presencia local de óxidos superficiales no reducidos. La temperatura T_e es función de la temperatura y del contenido de hidrógeno de la atmósfera. A título indicativo, para una atmósfera que contiene el 97,5 % de nitrógeno y el 2,5 % de hidrógeno, $T_e=+9$ °C a 800 °C. Para una atmósfera que contiene el 95 % de nitrógeno y el 5 % de hidrógeno, $T_e=+18$ °C a 800 °C. La chapa sale a continuación de la sección en la que se ha realizado la inyección, a una 65 temperatura T_{2a} comprendida entre 720 y 860 °C para entrar en una zona de mantenimiento a una temperatura T_m

comprendida entre T_{2a} y $T_{2a}+40$ °C. El intervalo de tiempo entre el instante en que la chapa está a la temperatura T_{1a} y el instante en que alcanza la temperatura T_{2a} debe ser al menos de 30 segundos con el fin de obtener una profundidad de descarburación p_{50} % comprendida entre 6 y 30 micrómetros.

- 5 **[0027]** Opcionalmente, la atmósfera en el inicio de la zona de mantenimiento puede ser idéntica a la de la zona anterior, es decir, tener un punto de rocío comprendido entre -15 y T_e . A continuación se puede enfriar la chapa o bien mantenerla a la temperatura T_m bajo una atmósfera A3 que contiene del 2 al 15 % en volumen de hidrógeno, preferentemente el 3-5 % en volumen de hidrógeno, siendo el resto nitrógeno e impurezas inevitables en el gas, con un punto de rocío comprendido entre -60 y -15 °C, siendo estas condiciones reductoras para el hierro. La etapa de enfriamiento que sigue se describirá más adelante.

- [0028]** Según un segundo modo, se inicia el procedimiento de fabricación de manera idéntica a la que acaba de describirse hasta la etapa de inyección a la temperatura T_{1a} comprendida entre 600 °C y $Ac1+40$ °C, preferentemente superior a $Ac1$. A esta temperatura, se inyecta una cantidad de agua, vapor u oxígeno de forma que se obtenga en esta zona del horno una atmósfera designada por A2b, oxidante para el hierro. Estas condiciones provocan una oxidación total de la superficie, es decir, hierro y ciertos elementos de adición (Mn, Si, Al, Cr, Ti). Bajo esta capa de óxido, se forman óxidos internos de Mn, Si, Al, Cr o Ti, e interviene un enriquecimiento en oxígeno. Al mismo tiempo que la oxidación del hierro interviene una descarburación superficial. A continuación la chapa sale de la sección de inyección a una temperatura T_{2a} comprendida entre 720 y 860 °C para entrar en una zona de mantenimiento a una temperatura de mantenimiento T_m comprendida entre T_{2a} y $T_{2a}+40$ °C. El intervalo de tiempo entre el instante en que la chapa está a la temperatura T_{1a} y el instante en que alcanza la temperatura T_{2a} debe ser al menos de 30 segundos para obtener una profundidad de descarburación p_{50} % comprendida entre 6 y 30 micrómetros. Más allá, en la zona de mantenimiento, la chapa se mantiene a la temperatura T_m en una atmósfera A3 reductora para el hierro, eligiéndose las condiciones de tal manera que la reducción completa de la capa de óxido de hierro interviene como muy tarde al final del mantenimiento a la temperatura T_m . Para este fin se puede elegir, por ejemplo, una atmósfera que contiene del 2 al 15 % en volumen de hidrógeno, preferentemente el 3-5 % en volumen de hidrógeno, siendo el resto nitrógeno e impurezas inevitables en el gas con un punto de rocío comprendido entre -60 y -15 °C, durante un tiempo suficientemente largo para que en esta zona intervenga una reducción completa de la capa superficial de óxido de hierro. Después de la reducción de esta capa de óxido de hierro, la chapa contiene óxidos de Mn, Si, Al o Cr situados entre 0 y 5 micrómetros bajo la superficie, siendo la densidad de los óxidos de diámetro superior a 1 micrómetro en esta zona, superior a 50/mm². El enriquecimiento local con oxígeno es tal que la relación O_m/O_0 es superior a 15.

- [0029]** La etapa de enfriamiento que sigue se describirá más adelante.

- [0030]** Según un tercer modo, el ciclo térmico de recocido de la chapa combina diferentes medios de calentamiento; la etapa de precalentamiento se realiza en una zona de un horno calentado con llama directa (o "DFF": "Direct Flame Furnace"): la chapa se precalienta en continuo hasta una temperatura T_{1b} comprendida entre 550 y 750 °C en una zona en que la atmósfera procede de la combustión de una mezcla de aire y de gas natural. Según la invención, la relación aire/gas está comprendida entre 1 y 1,2, entendiéndose que la combustión aire-gas en una razón estequiométrica es de 1. Estas condiciones de precalentamiento conducen a la formación de una capa superficial de óxido de hierro cuyo grosor está comprendido entre 0,10 y 0,25 micrómetros. Bajo esta capa de óxido, se forman óxidos internos de Mn, Si, Al, Cr o Ti, e interviene un enriquecimiento en oxígeno. En la salida de esta zona de precalentamiento por horno DFF, la chapa penetra en una segunda zona de horno calentada por tubos radiantes (RTF) o por resistencias, o por inducción, o por una combinación cualquiera de estos diferentes medios. La atmósfera contiene del 3 al 40% en volumen de hidrógeno, siendo el resto nitrógeno e impurezas inevitables, con el punto de rocío inferior a -30 °C. En esta segunda zona, la chapa se calienta hasta una temperatura T_{2b} comprendida entre 760 y 830 °C. Preferentemente, T_{2b} es superior a $Ac1$, lo que permite una descarburación más rápida debido a la presencia de carbono en solución sólida en la austenita. El intervalo de tiempo entre el instante en que la chapa está a la temperatura T_{1b} y el instante en que alcanza la temperatura T_{2b} debe ser al menos de 30 segundos con el fin de obtener una profundidad de descarburación p_{50} % comprendida entre 6 y 30 micrómetros. Estas condiciones conducen a una reducción total de la capa superficial de óxido de hierro creada en la etapa anterior, y a la descarburación superficial pretendida. Después de reducción de la capa de óxido de hierro, la chapa contiene óxidos de Mn, Si, Al o Cr situados entre 0 y 5 micrómetros bajo la superficie, siendo la densidad de los óxidos de diámetro superior a 1 micrómetro en esta zona superior a 50/mm². El enriquecimiento local con oxígeno es tal que la relación O_m/O_0 es superior a 15.

- La chapa en continuo entra a continuación en una zona de mantenimiento a una temperatura de mantenimiento T_m comprendida entre T_{2b} y $T_{2b}+40$ °C.

- [0031]** La continuación del procedimiento es idéntica en los tres modos descritos más arriba: la chapa se enfría hasta una temperatura T_3 en una atmósfera A4 tal que no interviene ninguna reoxidación superficial del hierro. Por ejemplo se puede usar una atmósfera que contiene del 2 al 70 % en volumen de hidrógeno, siendo el resto nitrógeno e impurezas inevitables en el gas, con un punto de rocío comprendido entre -60 y -30 °C. La chapa que penetra posteriormente en el baño de pre-revestimiento está así totalmente exenta de óxido de hierro superficial. La

temperatura T3 es próxima a la de Tbm, temperatura del baño de pre-revestimiento, con el fin de evitar una perturbación térmica del baño. Por este motivo, la temperatura T3 estará comprendida entre Tbm-10°C y Tbm+50 °C. Así, para un pre-revestimiento de zinc, la temperatura T3 estará comprendida entre 450 y 510 °C. Para un pre-revestimiento en un baño denominado de aluminio-silicio, la temperatura T3 estará comprendida entre 660 y 720 °C.

5 El pre-revestimiento puede ser de aluminio o una aleación a base de aluminio. En este último caso, el pre-revestimiento, fabricado preferentemente por templado en continuo es ventajosamente una aleación aluminio-silicio que comprende en peso el 7-15 % de silicio, del 3 al 20 % de hierro, opcionalmente entre 15 y 30 ppm de calcio, siendo el resto el aluminio e impurezas inevitables que proceden de la preparación.

- 10 **[0032]** El pre-revestimiento puede ser asimismo de zinc o una aleación de zinc. Este puede ser especialmente del tipo galvanizado mediante templado en continuo ("GI"), que contiene el 0,25-0,70 % de Al, el 0,01-0,1 % de Fe, siendo el resto zinc e impurezas inevitables que proceden de la preparación. El pre-revestimiento puede ser asimismo galvanizado-aleado ("GA") que contiene el 0,15-0,4 % de Al, el 6-15 % de Fe, siendo el resto zinc e impurezas inevitables que proceden de la preparación. El pre-revestimiento puede ser asimismo una aleación de zinc-aluminio-
- 15 magnesio que contiene el 1-15 % de Al, el 0,5-5 % de Mg, el 0,01-0,1 % de Fe, siendo el resto zinc e impurezas inevitables que proceden de la preparación. Este pre-revestimiento puede ser también una aleación que contiene el 4-6 % de Al, el 0,01-0,1 % de Fe, siendo el resto zinc e impurezas inevitables que proceden de la preparación.

[0033] El revestimiento previo también puede ser una aleación de aluminio-zinc que contiene el 40-45% de Zn, el 3-10 % de Fe, el 1-3 % de Si, siendo el resto aluminio e impurezas inevitables que proceden de la preparación.

[0034] El pre-revestimiento puede estar asimismo compuesto por una superposición de capas: por ejemplo, después del depósito mediante templado de una capa de aluminio o de aleación de aluminio, se puede efectuar uno o varios depósitos ulteriores de zinc o de aleación de zinc, por ejemplo por electrodeposición o por depósito al vacío:

25 PVD (*Physical Vapor Deposition*, deposición física de vapor) y/o CVD (*Chemical Vapor Deposition*, deposición química), siendo estos procedimientos de depósito conocidos de por sí.

[0035] En este estadio, se obtiene, gracias a los procedimientos descritos anteriormente, una chapa compuesta por un sustrato de acero cuya profundidad de descarburación p₅₀ % está comprendida entre 6 y 30 micrómetros

30 recubierta por un pre-revestimiento, sin capa de óxido de hierro presente entre el sustrato y el pre-revestimiento. La figura 1 presenta un ejemplo de dicha chapa, en la que el sustrato de acero 1 incluye una zona descarburada superficial específica 2 recubierta por un pre-revestimiento 1 zincado galvanizado-aleado.

[0036] A continuación esta chapa se recorta para obtener una pieza en bruto cuya geometría está relacionada con la geometría final de la pieza que se pretende. Opcionalmente, es posible estamparla en frío de forma que se aproxime en mayor o menor grado a la geometría final de la pieza que se pretende. En el caso de una baja deformación en frío, podrá completarse por una deformación efectuada en caliente, como se expondrá más adelante.

[0037] Se calienta esta pieza en bruto plana o pre-estampada, a una temperatura T_R capaz de conferir una estructura parcial o totalmente austenítica al sustrato de acero. T_R puede estar comprendida entre A_{c1} (temperatura de inicio de transformación austenítica del acero al calentamiento) y A_{c3} (temperatura de fin de transformación austenítica) en particular cuando se busca obtener microestructuras bainito-martensíticas después de enfriamiento en prensa. La temperatura T_R será superior a A_{c3} si se pretende más bien una microestructura mayoritariamente martensítica en la pieza final. El calentamiento de las piezas en bruto se efectúa preferentemente en un horno bajo

45 atmósfera ordinaria; durante esta etapa se asiste a una aleación entre el acero del sustrato y el pre-revestimiento. Se designa por el término de "pre-revestimiento" la aleación antes del calentamiento, y por "revestimiento" la capa aleada formada durante el calentamiento que precede inmediatamente a la estampación en caliente. El tratamiento térmico en horno modifica así la naturaleza del pre-revestimiento y su geometría ya que el grosor del revestimiento final es superior al del pre-revestimiento. El revestimiento formado por aleación protege el acero subyacente de la oxidación y

50 de una descarburación suplementaria y se revela capaz de una deformación ulterior en caliente especialmente en una prensa de estampación. La aleación interviene en la totalidad del grosor del revestimiento. Según la composición del pre-revestimiento, se forman una o varias fases intermetálicas en esta capa en aleación y/o una aleación en forma de solución sólida. El enriquecimiento en hierro del revestimiento conduce a una elevación rápida de su punto de fusión. Los revestimientos formados presentan igualmente la ventaja de ser adherentes y de estar adaptados a las posibles

55 operaciones de conformación en caliente y de enfriamiento rápido que siguen a continuación.

[0038] Se mantiene la pieza en bruto a la temperatura T_R para asegurar la homogeneidad de la temperatura en su seno. Según el grosor de la pieza en bruto, comprendido por ejemplo entre 0,5 y 2,6 mm, el tiempo de mantenimiento a la temperatura T₁ puede variar de 30 segundos a 15 minutos.

60 **[0039]** A continuación se extrae del horno la pieza en bruto calentada y se transfiere dentro de un conjunto de herramientas, efectuándose esta transferencia rápidamente de forma que no provoque transformación de la austenita al enfriamiento. Según una variante, la pieza en bruto se calienta en proximidad del conjunto de herramientas deformado a continuación en caliente sin transferencia. A continuación se efectúa una estampación en caliente de la

65 pieza en bruto de forma que se obtenga la geometría final de la pieza. También son posibles otros modos de

deformación en caliente, por ejemplo, una conformación entre rodillos designada habitualmente con el nombre de "roll forming". En el caso en que la pieza en bruto haya sido ya estampada en frío anteriormente, la etapa que sigue a la extracción de la pieza en bruto fuera del horno puede ser simplemente una conformación dentro de un conjunto de herramientas de prensa. En este caso, la conformación se caracteriza por un esfuerzo aplicado más bajo del conjunto de herramientas en la pieza y pretende recubrir la geometría final de la pieza y evitar sus posibles deformaciones al enfriamiento. De una manera opcional, es posible igualmente calentar solo una parte de la pieza en bruto, o enfriar la pieza estampada de forma diferente en sus diferentes zonas, conduciendo estas variantes a la obtención de piezas endurecidas de forma no uniforme, estando algunas zonas endurecidas de manera importante y presentando otras zonas una resistencia mecánica menor pero una ductilidad superior.

[0040] Después de la etapa de estampación o de conformación, la pieza se mantiene en el conjunto de herramientas enfriado en su caso, de manera que se asegure su enfriamiento eficaz por conducción térmica.

[0041] Según la velocidad de enfriamiento y la templabilidad del acero del sustrato, la microestructura final es martensítica o bainita-martensítica.

[0042] A modo de ejemplo no limitativo, los resultados siguientes mostrarán las características ventajosas conferidas por la invención.

20 Ejemplo 1:

[0043] Se ha proporcionado una chapa de acero laminada en frío de 1,2 mm de grosor cuya composición expresada en contenido ponderal (%) es la siguiente, siendo el resto hierro e impurezas inevitables que proceden de la preparación:

C	Mn	Si	Cr	Ti	Al	S	P	B	O
0,22	1,17	0,24	0,19	0,040	0,032	0,003	0,013	0,003	0,0014

[0044] La temperatura Ac1 de esta composición de acero es de 724 °C. La chapa ha sido precalentada en continuo en un horno de tubo radiante bajo una atmósfera A1 de nitrógeno que contiene el 4,7 % en volumen de hidrógeno con un punto de rocío de -31 °C, hasta una temperatura T1a de 600 °C a partir de la cual se efectúa una inyección de agua de forma que se obtenga una atmósfera A2a con un punto de rocío PR. Se han llevado a cabo diferentes ensayos modificando el caudal de agua inyectado en el horno, de manera que se haga variar el punto de rocío PR entre -27 °C (obtenido gracias a una cantidad de agua inyectada relativamente poco importante) y +2 °C. En todos los ensayos, la chapa se ha calentado a continuación desde la temperatura T1a hasta la temperatura T2a igual a 780 °C en la atmósfera A2a durante un tiempo de 110 s, lo que conduce a obtener una descarburación y una oxidación selectiva interna de Mn, Si, Al, Cr y Ti, estando estos óxidos formados en proximidad inmediata de la superficie de la chapa. A la temperatura T2a, el punto de rocío del equilibrio hierro/óxido de hierro, es de +17 °C. La chapa penetra a continuación en una zona del horno en la que se mantiene a la temperatura Tm de 780 °C bajo una atmósfera A3 que contiene nitrógeno y el 7 % de hidrógeno, reductora para el hierro. A continuación la chapa se enfría en continuo en otra zona del horno bajo una atmósfera A4 que contiene el 10% de hidrógeno, hasta una temperatura T3 de 470 °C y pre-revestida mediante templado en un baño a la temperatura Tm de 462 °C que contiene zinc y el 0,125 % de aluminio así como impurezas inevitables. No interviene ninguna reoxidación superficial del hierro en las etapas de mantenimiento y de enfriamiento en la atmósfera A4. Inmediatamente después del pre-revestimiento, la chapa se recalienta hasta una temperatura de 540 °C para obtener un pre-revestimiento galvanizado-aleado ("GA"), es decir, que contiene el 9 % de hierro. Se obtiene así una chapa que no contiene capa de óxido de hierro entre el sustrato de acero y dicho pre-revestimiento galvanizado-aleado. La figura 12 ilustra observaciones realizadas en las condiciones de la invención, de óxidos formados durante la oxidación interna selectiva, visibles en el sustrato de acero inmediatamente debajo del pre-revestimiento. Estos óxidos pueden estar aislados o alineados según los límites de grano. Gracias a un análisis de la dispersión de energía de los rayos X de estos óxidos ("EDS"), se muestra que son óxidos de manganeso, silicio y aluminio como ilustran las figuras 14 y 15 lo que pone de relieve los picos característicos que corresponden a estos elementos. El pico del hierro se debe a la matriz que rodea a los óxidos.

[0045] La figura 13 ilustra la presencia de óxidos de diámetro superior a 1 micrómetro, cuya densidad es superior a 50/mm² en la zona situada entre 0 y 5 micrómetros bajo la superficie de la chapa de acero.

[0046] La figura 16 ilustra la variación del contenido de oxígeno relativo (O/O₀) bajo el pre-revestimiento en el sustrato, medida por espectrometría de descarga luminiscente, designando O₀ el contenido de oxígeno nominal del sustrato. Esta variación se ha medido para los valores del punto de rocío PR de -3 °C y de +2 °C. La profundidad p=0 corresponde a la interfaz entre el sustrato y el pre-revestimiento. En una zona situada entre 0 y 5 micrómetros bajo la superficie del sustrato, se observa un aumento del contenido de oxígeno que corresponde a la presencia de los óxidos mencionados anteriormente.

[0047] El enriquecimiento local en oxígeno en esta zona es tal que la relación O_m/O_0 es superior a 15: es igual a 15,1 para PR=-3 °C y a 17,4 para PR=+2 °C.

5 **[0048]** A continuación se recortan las chapas pre-revestidas para obtener piezas en bruto aptas para la estampación. Estas piezas se han calentado hasta una temperatura de 880 °C en un horno bajo atmósfera ordinaria. Después de una permanencia total de 5 minutos en el horno (con un tiempo de 4 minutos para la fase de calentamiento), las piezas en bruto se han extraído y estampado inmediatamente. Después de la estampación en caliente, las piezas se han enfriado en prensa a una velocidad superior a 30 °C/s de forma que se obtenga una
10 estructura totalmente martensítica en el sustrato de acero. La resistencia a la ruptura en tracción R_m obtenida en las piezas endurecidas es normalmente del orden de 1.500 MPa.

[0049] El ángulo de plegado crítico α_c de estas piezas se ha medido por ensayo de flexión de tres puntos efectuado con dos rodillos exteriores de 30 mm de diámetro y una cuchilla central de radio muy bajo.

15 **[0050]** La figura 6 presenta la variación del ángulo crítico α_c según el punto de rocío PR después de la inyección de agua a partir de la temperatura T1a: cuando PR es inferior a -15 °C, el ángulo de plegado obtenido presenta un valor inferior a 55°, no satisfactorio. Cuando PR supera la temperatura T_e de +17 °C, existe un riesgo posible de no reducir completamente el óxido de hierro durante el mantenimiento posterior, provocando así la aparición local de defectos de revestimiento que corresponden a la presencia local de óxidos superficiales no reducidos. En el campo de la invención, el ángulo de plegado varía poco según el punto de rocío: entre -15 y -7 °C, el aumento es de 0,79° por °C como media mientras que la variación es más importante por debajo de -15 °C (1,05° por °C). Cuando PR está comprendido entre -15 y -10 °C, se pone de relieve un campo especialmente interesante ya que el ángulo de plegado es prácticamente independiente del punto de rocío. En otros términos, en esta gama particular, una posible fluctuación
20 no deseada de la cantidad de agua inyectada durante el recocido en horno no tiene consecuencia en la aptitud para el plegado después de estampación en caliente, lo que permite garantizar una gran estabilidad de las características en las piezas estampadas y endurecidas en la prensa. Se observará igualmente que esta buena aptitud para el plegado se obtiene a pesar de la presencia de óxidos formados bajo el pre-revestimiento. Sin verse ligado a ninguna teoría, se piensa que el cebado del daño a partir de estos óxidos muestra tendencia a retrasarse por la tenacidad intrínseca de la zona con contenido de carbono reducido en la que se encuentran.

[0051] Además se han realizado ensayos que hacen variar simultáneamente PR y la temperatura T1a, siendo esta última de 720 °C (es decir Ac1-4 °C) o de 760 °C (Ac1+36 °C). La figura 7 ilustra la influencia de la temperatura T1a y del punto de rocío PR en la profundidad de descarburación $p_{50\%}$ antes de la estampación en caliente, medida
35 por espectroscopia de descarga luminiscente: cuando el punto de rocío es demasiado bajo, la profundidad de descarburación no alcanza el valor requerido por la invención (resultado marcado como "A" en la figura 7). Un punto de rocío suficientemente elevado, con una temperatura T1a ligeramente inferior a Ac1, permite alcanzar la profundidad requerida (resultado "B"). Un calentamiento a una temperatura T1a más elevada (Ac1+36 °C) permite aumentar notablemente la profundidad de descarburación $p_{50\%}$ (resultado "C")

40 **[0052]** Después de pulido y ataque con reactivo Nital de las piezas estampadas en caliente obtenidas, se ha observado al microscopio óptico la microestructura bajo el revestimiento que se desprende de la aleación por difusión entre el zinc del pre-revestimiento inicial y el acero del sustrato: la figura 8 ilustra así el revestimiento 15 y el acero subyacente 16, para un recocido con un punto de rocío PR=-27 °C. La figura 9 ilustra el revestimiento 17 y el acero subyacente 18, para un recocido con un punto de rocío PR=-7 °C. A pesar de la diferencia importante de aptitud para el plegado entre las dos muestras (20°), no se ponen de relieve diferencias microestructurales significativas entre las dos muestras después de estampación en caliente, pese a la diferencia de descarburación existente entre estas antes de la estampación en caliente.

50 La figura 10 ilustra la variación, antes de la estampación en caliente, del contenido de carbono de las dos chapas recocidas en una atmósfera A2a con un punto de rocío PR de -27 °C o de -7 °C. Esta variación, medida por espectrometría de descarga luminiscente en el sustrato de acero, se expresa en la figura 10 según la profundidad bajo la interfaz entre el acero y el pre-revestimiento.

55 **[0053]** El contenido local medido (C) se ha referido al contenido nominal en carbono C_0 de forma que se obtiene la variación del contenido de carbono relativa C/C_0 . Se observa que las zonas descarburadas son muy diferentes en las dos condiciones de recocido, siendo la profundidad de descarburación $p_{50\%}$ de 15 micrómetros para PR=-7 °C y de 3 micrómetros para PR=-27 °C. Si se considera la totalidad de la zona descarburada, la profundidad de descarburación medida después de recocido con PR=-7 °C es superior en aproximadamente 35 micrómetros a la medida después de recocido bajo PR=-27 °C.

[0054] Después de estampación en caliente de estas chapas, se ha determinado por el mismo procedimiento la variación del contenido de carbono bajo el revestimiento de las piezas así obtenidas. La figura 11 ilustra la variación del contenido de carbono relativa C/C_0 de estas piezas. Se pone entonces de relieve que la zona descarburada es
65 sustancialmente idéntica en las dos condiciones de recocido. Esto indica que el calentamiento en horno previo al

tratamiento de endurecimiento por templado en prensa conduce a una difusión del carbono hacia la superficie descarburada del acero. La determinación de la descarburación después de la estampación en caliente no permite determinar que el recocido con $PR=-7^{\circ}\text{C}$ conducirá a resultados de plegado satisfactorios mientras que el recocido con $PR=-27^{\circ}\text{C}$ no satisfará el nivel requerido. Aunque incompleta, esta homogeneización del carbono permite sin embargo obtener en el acero situado inmediatamente bajo el revestimiento, un contenido suficiente de carbono para provocar un templado martensítico en las condiciones de enfriamiento relacionadas con la estampación en caliente, como se ilustra en las figuras 8 y 9. Sin embargo, las características intrínsecas de tenacidad de la martensita creada en estas condiciones dependen de las condiciones de descarburación que proceden principalmente de la elección de la temperatura PR. Así, el control eficaz de la aptitud para el plegado de las piezas estampadas en caliente debe realizarse en las chapas o las piezas en bruto antes de la operación de estampación en caliente, y no después de esta última, al contrario de lo que esperaría el experto en la materia. Además, las piezas estampadas en caliente fabricadas a partir de chapas pre-revestidas de zinc o de aleación de zinc descarburadas según la invención, presentan una aptitud particular a la soldadura por resistencia por punto: en efecto, después de calentamiento y a continuación estampación en caliente, se constata la presencia de una capa descarburada bajo el revestimiento. Se sabe que la soldadura por resistencia conduce a una elevación de temperatura local muy importante ya que la fusión se alcanza dentro del núcleo fundido que constituye el enlace entre los elementos soldados. En las juntas soldadas efectuadas en piezas estampadas en caliente convencionales se puede asistir a una fragilización de los bordes de grano austeníticos por penetración del zinc del revestimiento, ahora líquido debido a la elevación de temperatura durante la soldadura. Según la invención, la presencia de una zona muy empobrecida en carbono bajo el revestimiento conduce a un aumento local de la temperatura de transformación Ac_3 en austenita durante el calentamiento. Según el contenido de carbono, la estructura a alta temperatura está constituida entonces por microestructura de ferrita o una mezcla de ferrita y de austenita. En presencia de zinc líquido, esta microestructura presenta una menor sensibilidad a la fisuración que la estructura austenítica.

25 Ejemplo 2:

[0055] Se han fabricado chapas pre-revestidas de Zn por el procedimiento descrito anteriormente, con excepción del hecho de que tienen un grosor de 1,8 mm y no han sido recalentadas a 540°C después de revestimiento mediante templado, de tal manera que su revestimiento es galvanizado y no galvanizado-aleado.

[0056] Las condiciones de fabricación se han elegido para obtener una chapa con una profundidad descarburada $p_{50}\%$ de 6 micrómetros. Estas chapas han sido recortadas para obtener piezas en bruto que han sido austenitizadas a una temperatura de 880°C en un horno bajo atmósfera ordinaria. Después de una permanencia total de hasta 10 minutos en el horno, las piezas en bruto se extrajeron, se estamparon inmediatamente en caliente y se endurecieron en prensa. La tabla siguiente indica la variación del ángulo de plegado crítico α_c según el tiempo de permanencia total de la pieza en el horno.

Tiempo de permanencia (minutos)	Ángulo de plegado α_c ($^{\circ}$)
5,5	57,5
7	55
10	54

[0057] Parece así que las piezas en bruto pueden permanecer hasta 7 minutos en el horno antes de ser estampadas en caliente, lo que satisface las exigencias requeridas. Esto permite resolver los problemas encontrados en las líneas de estampación en caliente, cuando un incidente en la línea aboca a hacer permanecer las piezas en bruto en el horno más tiempo del previsto. La invención permite esta flexibilidad, evitando rechazar las piezas en bruto. Además, se observará que más allá de 7 minutos, el aumento de tiempo de permanencia tan solo conduce a un decrecimiento muy bajo del ángulo de plegado, lo que indica que el procedimiento según la invención presenta grandes garantías de seguridad en caso de deriva con respecto a los parámetros nominales de tratamiento térmico durante la estampación en caliente, y permite obtener una gran reproducibilidad de las características mecánicas de las piezas.

[0058] Así, la invención permite la fabricación de chapas pre-revestidas y de piezas revestidas con muy altas características de resistencia y de aptitud para el plegado, con una buena isotropía, en condiciones económicas muy satisfactorias. Estas piezas se utilizarán de manera rentable como piezas estructurales o de refuerzo en el campo de la construcción automotriz.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fabricación de una chapa que comprende las etapas sucesivas según las cuales:

- 5 - se suministra una chapa laminada en frío de acero para tratamiento térmico que contiene un contenido de carbono C_0 comprendido entre el 0,07 % y el 0,5 %, comprendiendo la composición de dicho sustrato de acero, estando los contenidos expresados en peso:

$$0,07\% \leq C \leq 0,5\%$$

$$0,5\% \leq Mn \leq 3\%$$

$$0,02\% \leq Si \leq 0,5\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 1\%$$

$$Ti \leq 0,2\%$$

$$Al \leq 0,25\%$$

$$S \leq 0,05\%$$

$$P \leq 0,1\%$$

$$0,0005\% \leq B \leq 0,010\%,$$

10

opcionalmente

$$0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%,$$

15

estando el resto de la composición constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la preparación, a continuación

- 20 - se recoce dicha chapa laminada de manera que al final del recocido se obtenga una descarburación de la superficie de dicha chapa a una profundidad $p_{50\%}$ comprendida entre 6 y 30 micrómetros, siendo $p_{50\%}$ la profundidad a la que el contenido de carbono es igual al 50 % de dicho contenido C_0 , siendo la profundidad $p_{50\%}$ medida por espectroscopia de descarga luminiscente, y de manera que se obtenga una chapa desprovista totalmente de capa de óxido de hierro en su superficie, las condiciones de recocido comprenden las siguientes etapas sucesivas:

- 25 - después de suministrar dicha chapa laminada en frío con acero, se precalienta en continuo en un horno de tubo radiante, o un horno de resistencia o un horno de inducción, o un horno que combina al menos dos cualesquiera de estos medios, dicha chapa laminada hasta una temperatura T_{1a} comprendida entre 600 °C y $Ac1+40$ °C, denotando $Ac1$ la temperatura de inicio de transformación austenítica al calentamiento de dicho acero, en una zona de dicho horno en la que la atmósfera $A1$ contiene del 2 al 15 % en volumen de hidrógeno, siendo el resto nitrógeno
- 30 - se calienta dicha chapa desde la temperatura T_{1a} hasta una temperatura T_{2a} comprendida entre 720 y 860°C, una inyección de al menos un elemento elegido entre agua líquida, de vapor de agua u oxígeno, efectuándose en dicho horno a partir de dicha temperatura T_{1a} para obtener, en la sección del horno comprendida entre dicha temperatura T_{1a} y dicha temperatura T_{2a} , una atmósfera $A2a$ con un punto de rocío PR comprendido entre -15°C
- 35 y la temperatura T_e del punto de rocío del equilibrio hierro/óxido de hierro, el intervalo de tiempo entre el instante en que la chapa está a la temperatura T_{1a} y el instante en que dicha chapa alcanza la temperatura T_{2a} , que es

superior o igual a 30 segundos, a continuación

- se mantiene dicha chapa a una temperatura T_m comprendida entre T_{2a} y $T_{2a}+40$ °C, bajo una atmósfera A3 reductora para el hierro, a continuación

5 - se enfría dicha chapa en una atmósfera A4 tal que no interviene ninguna reoxidación superficial del hierro, hasta una temperatura T_3 , a continuación

- se efectúa un pre-revestimiento de metal o de aleación metálica sobre dicha chapa recocida que desempeña el papel de sustrato por un paso al templado en un baño metálico a la temperatura T_{bm} , quedando entendido que dicha temperatura T_3 está comprendida entre $T_{bm}-10$ °C y $T_{bm}+50$ °C, siendo dicho pre-revestimiento metálico de aluminio
10 o una aleación de aluminio, o de zinc o una aleación de zinc, o está compuesta por una capa de aluminio o de una aleación de aluminio, recubierta con una capa de zinc o de una aleación de zinc.

2. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicho punto de rocío PR está comprendido entre -15 y +17 °C.

15 3. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 1 **caracterizado porque** dicho punto de rocío PR está comprendido entre -15 y -10 °C.

4. Procedimiento de fabricación de una chapa que comprende las etapas sucesivas según las cuales:

20 - se suministra una chapa laminada en frío de acero para tratamiento térmico que contiene un contenido de carbono C_0 comprendido entre el 0,07 % y el 0,5 %, comprendiendo la composición de dicho sustrato de acero, estando los contenidos expresados en peso:

$$0,07\% \leq C \leq 0,5\%$$

$$0,5\% \leq Mn \leq 3\%$$

$$0,02\% \leq Si \leq 0,5\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 1\%$$

$$Ti \leq 0,2\%$$

$$Al \leq 0,25\%$$

$$S \leq 0,05\%$$

$$P \leq 0,1\%$$

$$0,0005\% \leq B \leq 0,010\%,$$

25

opcionalmente

$$0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%,$$

30

estando el resto de la composición constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la preparación, a continuación

35 - se recoce dicha chapa laminada de manera que al final del recocido se obtenga una descarburación de la superficie de dicha chapa a una profundidad p_{50} % comprendida entre 6 y 30 micrómetros, siendo p_{50} % la profundidad a la que el contenido de carbono es igual al 50 % de dicho contenido C_0 , siendo la profundidad p_{50} % medida por espectroscopia de descarga luminiscente, y de manera que se obtenga una chapa desprovista totalmente de capa de óxido de hierro

en su superficie, dichas condiciones de recocido comprenden las siguientes etapas sucesivas:

- 5 - después de suministrar dicha chapa laminada en frío con acero, se precalienta en continuo en un horno de tubo radiante, o un horno de resistencia o un horno de inducción, o un horno que combina al menos dos cualesquiera de estos medios, dicha chapa laminada hasta una temperatura T1a comprendida entre 600 °C y Ac1+40 °C, denotando Ac1 la temperatura de inicio de transformación austenítica al calentamiento de dicho acero, en una zona de dicho horno en la que la atmósfera A1 contiene del 2 al 15 % en volumen de hidrógeno, siendo el resto nitrógeno e impurezas inevitables, con un punto de rocío comprendido entre -60 y -15 °C, a continuación
- 10 - se calienta dicha chapa desde la temperatura T1a hasta una temperatura T2a comprendida entre 720 y 860 °C, efectuándose una inyección de al menos un elemento elegido entre agua líquida, vapor de agua u oxígeno en dicho horno a partir de dicha temperatura T1a para obtener, en la sección del horno comprendida entre dicha temperatura T1a y dicha temperatura T2a, una atmósfera A2b oxidante para el hierro, siendo el intervalo de tiempo entre el instante en que la chapa está a la temperatura T1a y el instante en que dicha chapa alcanza la temperatura T23, que es superior o igual a 30 segundos, a continuación
- 15 - se mantiene dicha chapa a una temperatura Tm comprendida entre T2a y T2a+40 °C, bajo una atmósfera A3 reductora para el hierro, de manera que la reducción completa de la capa de hierro formada en dicha atmósfera A2b interviene como muy tarde al final del mantenimiento a dicha temperatura Tm, a continuación
- 20 - se enfría dicha chapa en una atmósfera A4 tal que no interviene ninguna reoxidación superficial del hierro, hasta una temperatura T3, a continuación
- 25 - se efectúa un pre-revestimiento de metal o de aleación metálica sobre dicha chapa recocida que desempeña el papel de sustrato por un paso al templado en un baño metálico a la temperatura Tbm, quedando entendido que dicha temperatura T3 está comprendida entre Tbm-10 °C y Tbm+50 °C, siendo dicho pre-revestimiento metálico de aluminio o una aleación de aluminio, o de zinc o una aleación de zinc, o está compuesta por una capa de aluminio o de una aleación de aluminio, recubierta con una capa de zinc o de una aleación de zinc.
5. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** dicha temperatura T1a es superior a Ac1, temperatura de transformación austenítica al calentamiento de dicho sustrato de acero.
- 30 6. Procedimiento de fabricación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** la atmósfera A1 contiene de 3-5 % en volumen de hidrógeno.
7. Procedimiento de fabricación de una chapa que comprende las etapas sucesivas según las cuales:
- 35 - se suministra una chapa laminada en frío de acero para tratamiento térmico que contiene un contenido de carbono C₀ comprendido entre el 0,07 % y el 0,5 %, comprendiendo la composición de dicho sustrato de acero, estando los contenidos expresados en peso:

$$0,07\% \leq C \leq 0,5\%$$

$$0,5\% \leq Mn \leq 3\%$$

$$0,02\% \leq Si \leq 0,5\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 1\%$$

$$Ti \leq 0,2\%$$

$$Al \leq 0,25\%$$

$$S \leq 0,05\%$$

$$P \leq 0,1\%$$

$$0,0005\% \leq B \leq 0,010\%,$$

opcionalmente

$$0,0005\% \leq \text{Ca} \leq 0,005\%,$$

- 5 el resto de la composición consistente en hierro e impurezas inevitables resultantes del proceso de producción, a continuación - se recoce dicha chapa laminada de manera que se obtenga al final del recocido, una descarburación de la superficie de dicha chapa sobre una profundidad $p_{50}\%$ comprendida entre 6 y 30 micrómetros, siendo $p_{50}\%$ la profundidad a la que el contenido de carbono es igual al 50 % de dicho contenido C_0 , siendo la profundidad $p_{50}\%$ medida por espectroscopia de descarga luminiscente, y de manera que se obtenga una chapa desprovista totalmente
- 10 de capa de óxido de hierro en su superficie, dichas condiciones de recocido comprenden las siguientes etapas sucesivas:
- después de haber proporcionado dicha chapa de acero laminada en frío, se precalienta en continuo en un horno dicha chapa, realizándose dicho precalentamiento en una zona de un horno calentado con llama directa, estando
 - 15 dicha chapa precalentada hasta una temperatura T_{1b} comprendida entre 550 y 750 °C en una atmósfera que procede de la combustión de una mezcla de aire y de gas natural cuya relación aire/gas está comprendida entre 1 y 1,2, a continuación
 - se calienta dicha chapa desde la temperatura T_{1b} hasta una temperatura T_{2b} comprendida entre 760 y 830 °C dentro de una segunda zona de horno calentada por tubos radiantes, o por resistencias, o por inducción, o por una
 - 20 combinación cualquiera de al menos dos de estos medios, cuya atmósfera contiene del 3 al 40 % en volumen de hidrógeno, siendo el resto nitrógeno e impurezas inevitables, siendo el punto de rocío inferior a -30 °C, siendo el intervalo de tiempo entre el instante en que la chapa está a dicha temperatura T_{1b} y el instante en que dicha chapa alcanza dicha temperatura T_{2b} , al menos de 30 segundos, a continuación
 - se mantiene dicha chapa a una temperatura T_m comprendida entre T_{2b} y $T_{2b}+40$ °C, bajo una atmósfera A_3
 - 25 reductora para el hierro, a continuación
 - se enfría dicha chapa en una atmósfera A_4 tal que no interviene ninguna reoxidación superficial, hasta una temperatura T_3 , a continuación
 - se efectúa un pre-revestimiento de metal o de aleación metálica sobre dicha chapa recocida que desempeña el papel
 - 30 de sustrato por un paso al templado en un baño metálico a la temperatura T_{bm} , quedando entendido que dicha temperatura T_3 está comprendida entre $T_{bm}-10$ °C y $T_{bm}+50$ °C, siendo dicho pre-revestimiento metálico de aluminio o una aleación de aluminio, o de zinc o una aleación de zinc, o está compuesta por una capa de aluminio o de una aleación de aluminio, recubierta con una capa de zinc o de una aleación de zinc.
- 35 8. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 7 **caracterizado porque** dicha temperatura T_{2b} es superior a A_{c1} .
9. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** dicha profundidad $p_{50}\%$ está comprendida entre 9 y 30 micrómetros, preferentemente entre 12 y 30 micrómetros.
- 40 10. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** la composición de dicho sustrato de acero comprende, estando los contenidos expresados en peso:

ES 3 014 218 T3

$$0,09\% \leq C \leq 0,38\%$$

$$0,8\% \leq Mn \leq 1,5\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 0,35\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 0,3\%$$

$$0,02\% \leq Ti \leq 0,1\%$$

$$0,001 \leq Al \leq 0,25\%$$

$$S \leq 0,05\%$$

$$P \leq 0,1\%$$

$$0,002\% \leq B \leq 0,005\%$$

opcionalmente

5
$$0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%$$

estando el resto de la composición constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la preparación,

11. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque** la
10 composición de dicho sustrato de acero comprende, estando el contenido expresado en peso:

$$0,15\% \leq C \leq 0,25\%$$

12. Procedimiento de fabricación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado**
15 **porque** la composición de dicho sustrato de acero comprende, estando los contenidos expresados en peso:

$$0,20\% \leq C \leq 0,25\%$$

$$1,1\% \leq Mn \leq 1,35\%$$

$$0,15\% \leq Si \leq 0,35\%$$

$$0,02\% \leq Al \leq 0,06\%$$

$$0,02\% \leq Ti \leq 0,05\%$$

$$0,02\% \leq Cr \leq 0,25\%$$

$$0,002\% \leq B \leq 0,004\%$$

estando el resto de la composición constituido por hierro e impurezas inevitables resultantes de la elaboración.

13. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado porque** dicha chapa de acero laminada en frío tiene un contenido de oxígeno O_0 y porque dicha chapa laminada en frío se recuece de manera que se obtenga en el sustrato al final del recocido, bajo la interfaz entre el pre-revestimiento y
5 dicho sustrato, sobre una profundidad de entre 0 y 5 micrómetros a partir de dicha interfaz, un contenido medio de oxígeno O_m , O_m/O_0 superior a 15.
14. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizado porque** dicha chapa laminada en frío se recuece de manera que se obtenga en el sustrato al final del recocido, bajo la interfaz
10 entre el pre-revestimiento y dicho sustrato, hasta una profundidad comprendida entre 0 y 5 micrómetros a partir de dicha interfaz, óxidos que comprenden al menos un elemento seleccionado del grupo formado por el titanio, el silicio, el manganeso, el aluminio y el cromo, siendo la densidad de dichos óxidos con un diámetro superior a 1 micrómetro en esta zona superior a $50/\text{mm}^2$.
- 15 15. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, **caracterizado porque** la chapa tiene un grosor comprendido entre 0,5 y 2,6 mm.

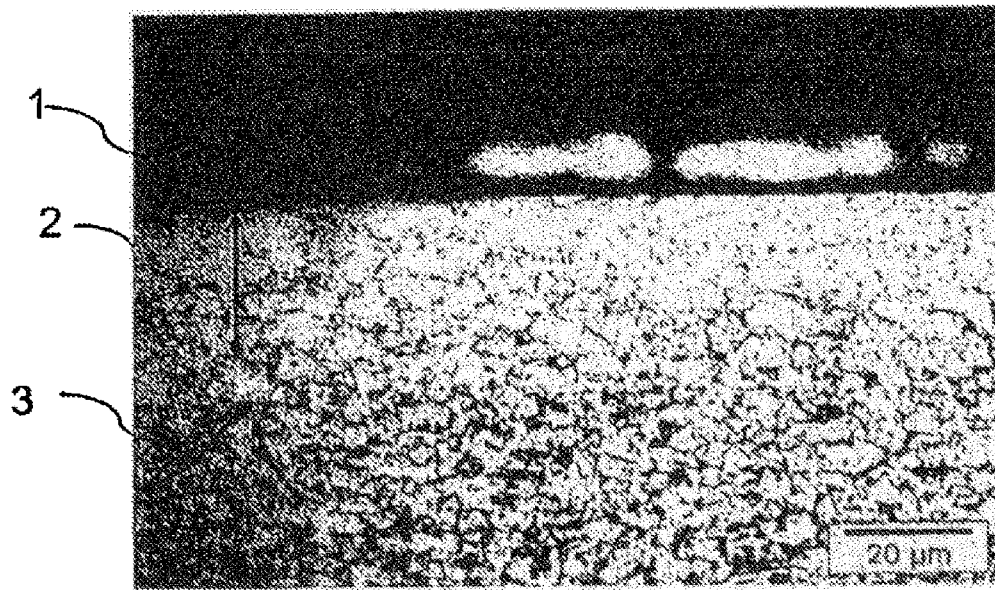


Fig. 1

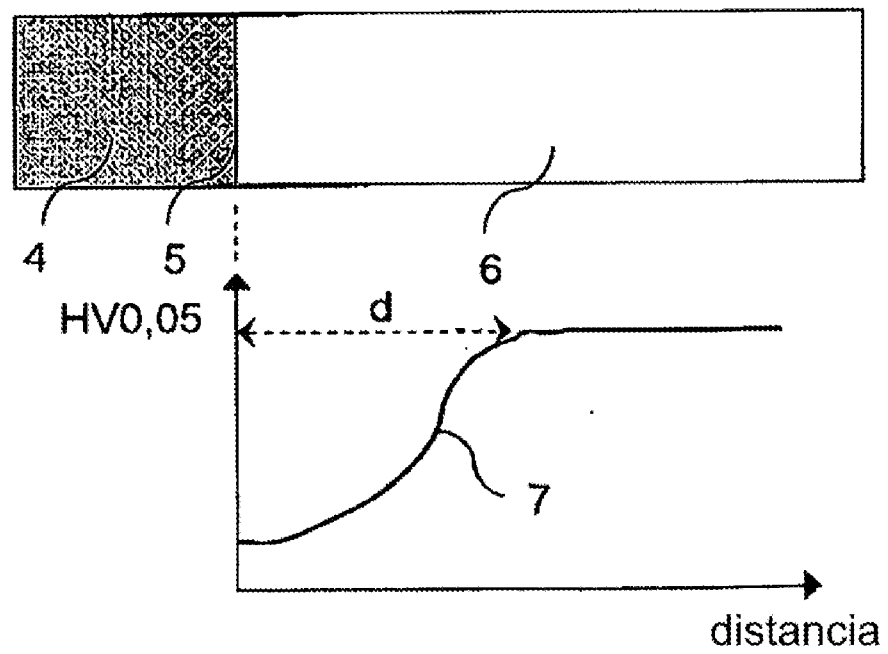


Fig. 2

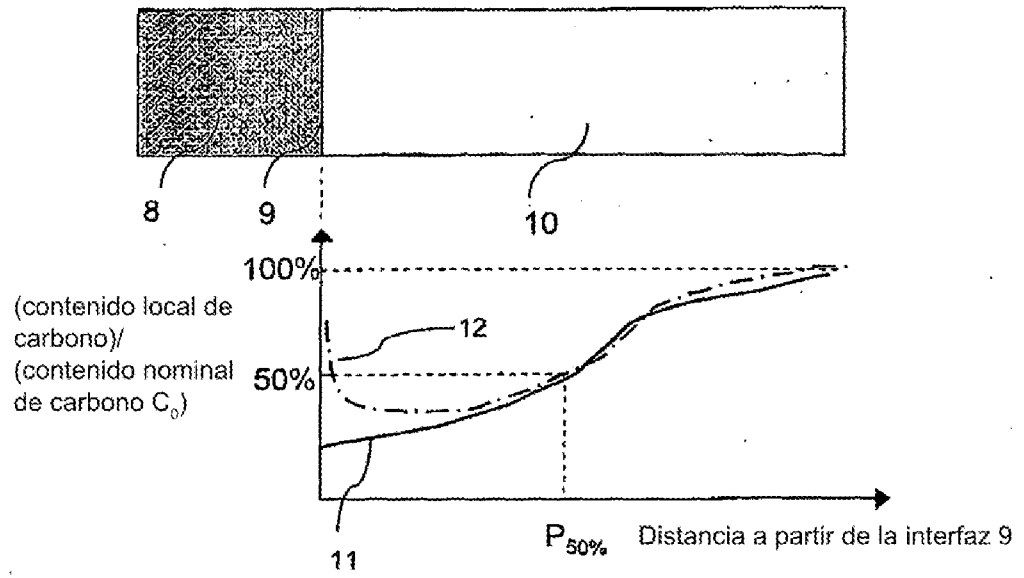


Fig. 3

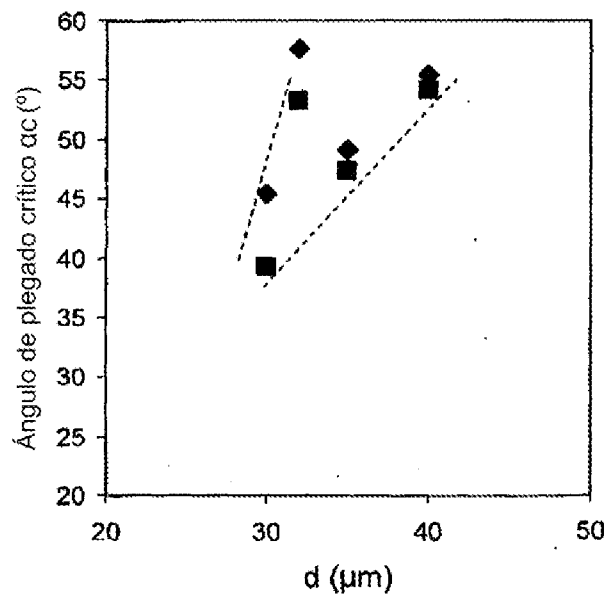


Fig. 4

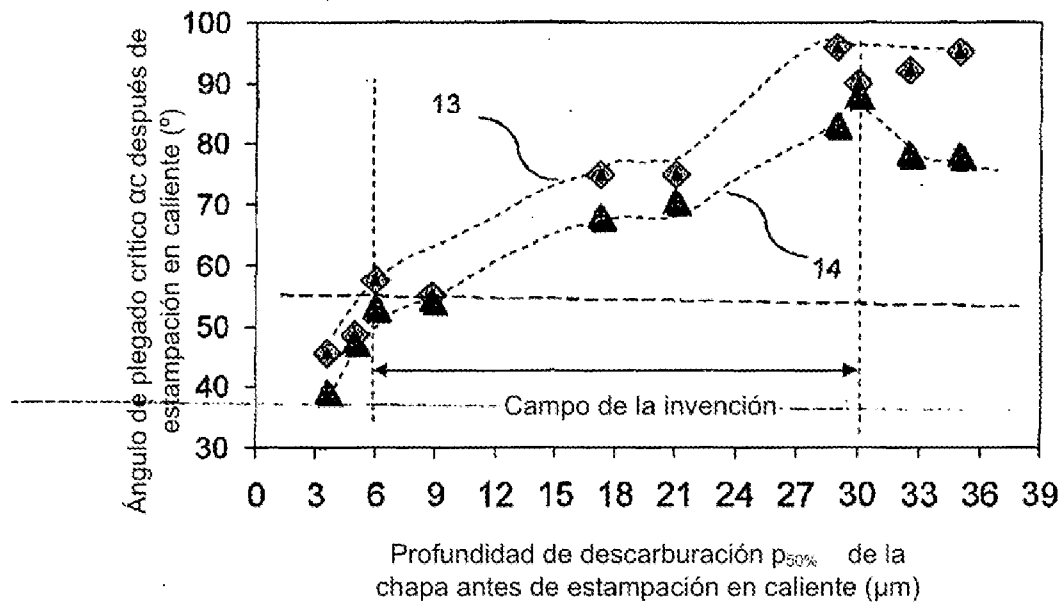


Fig. 5

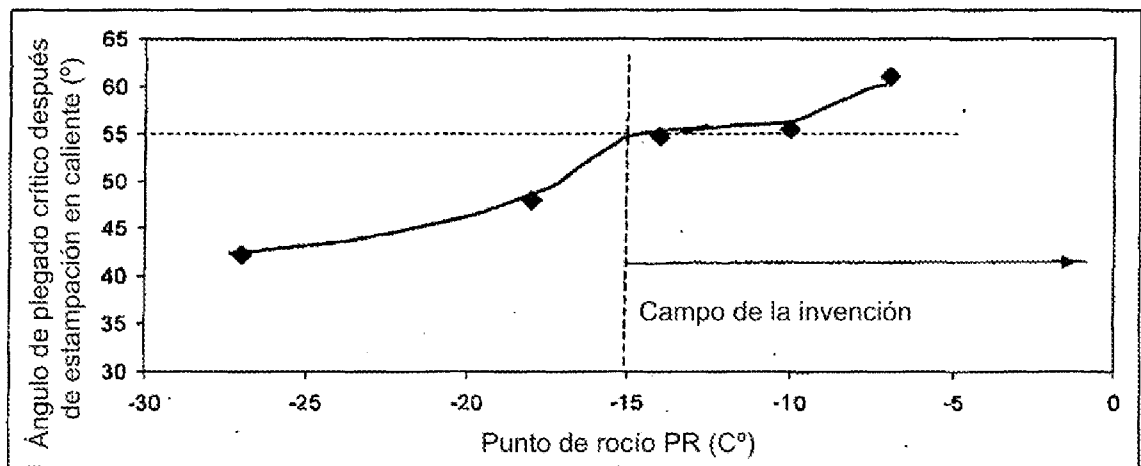


Fig. 6

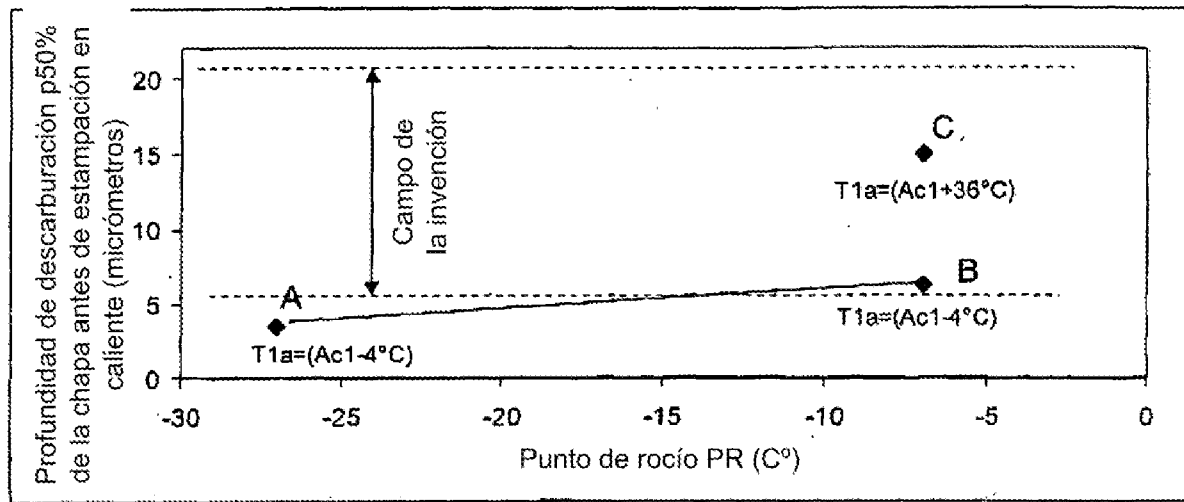


Fig. 7

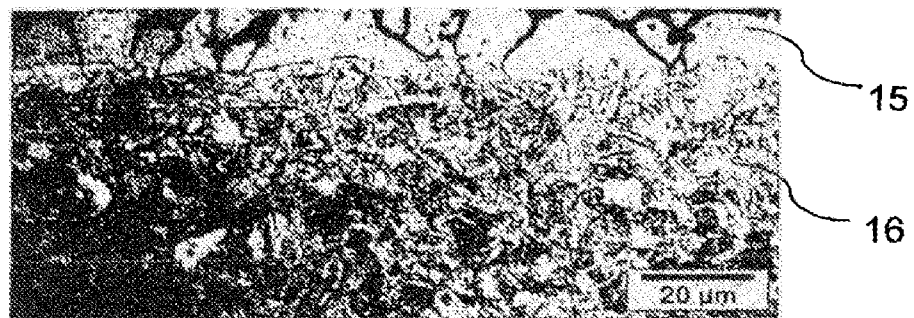


Fig. 8



Fig. 9

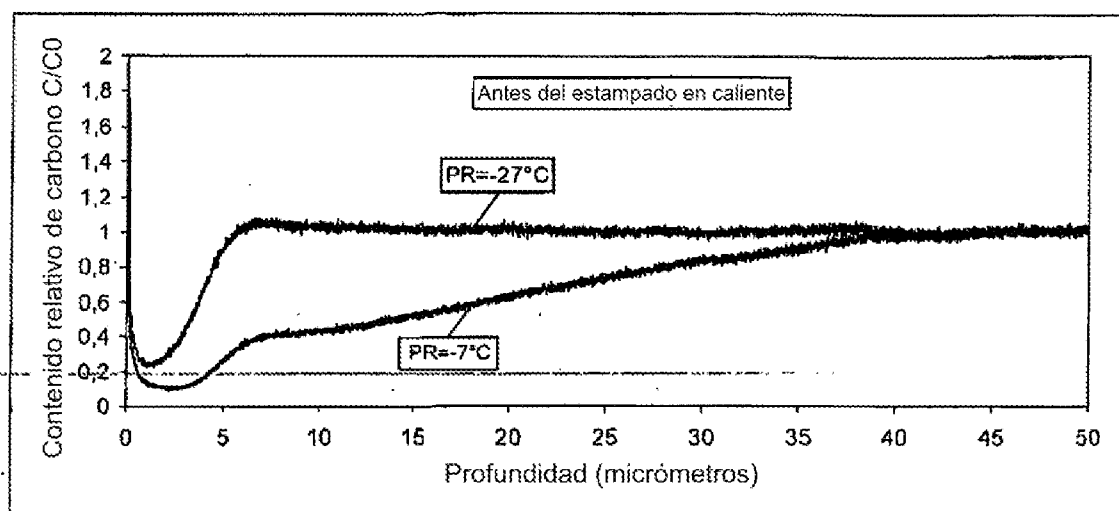


Fig. 10

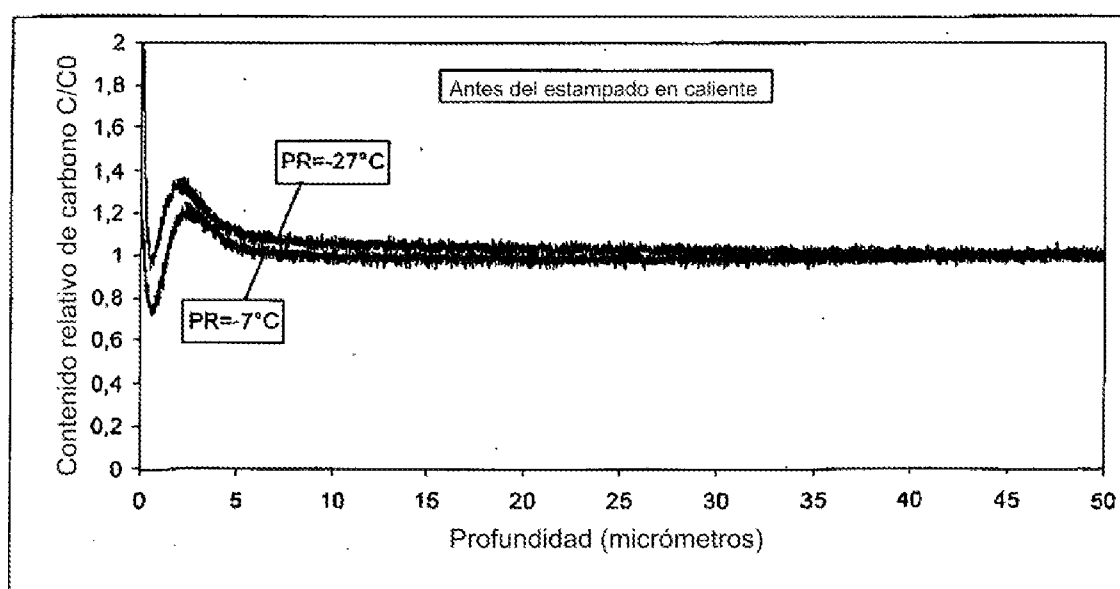


Fig. 11

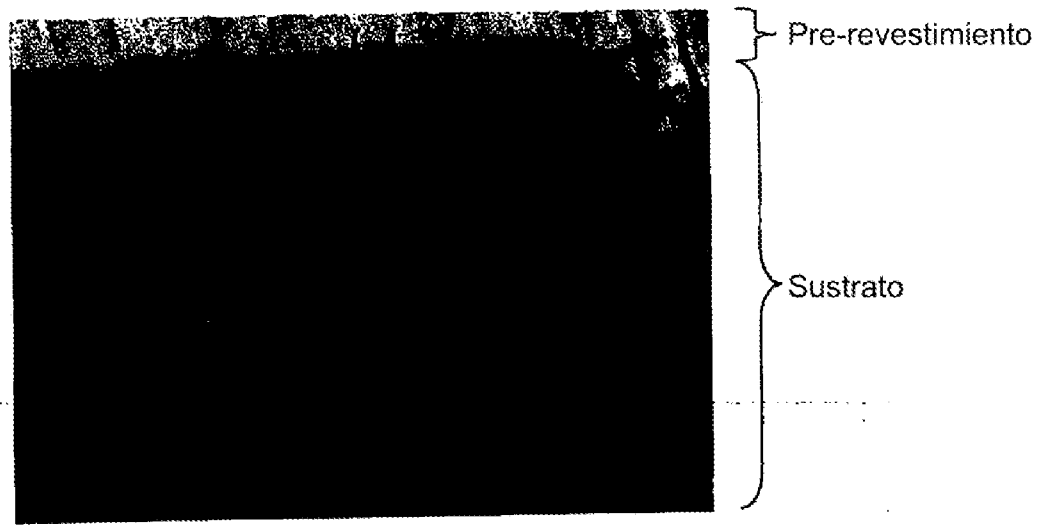


Figura 12

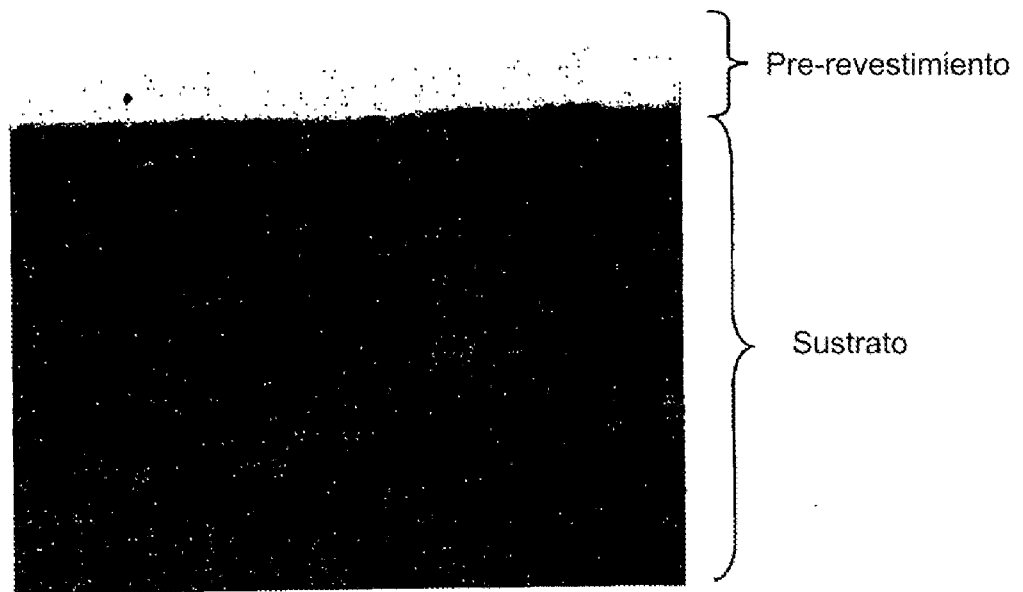


Fig. 13

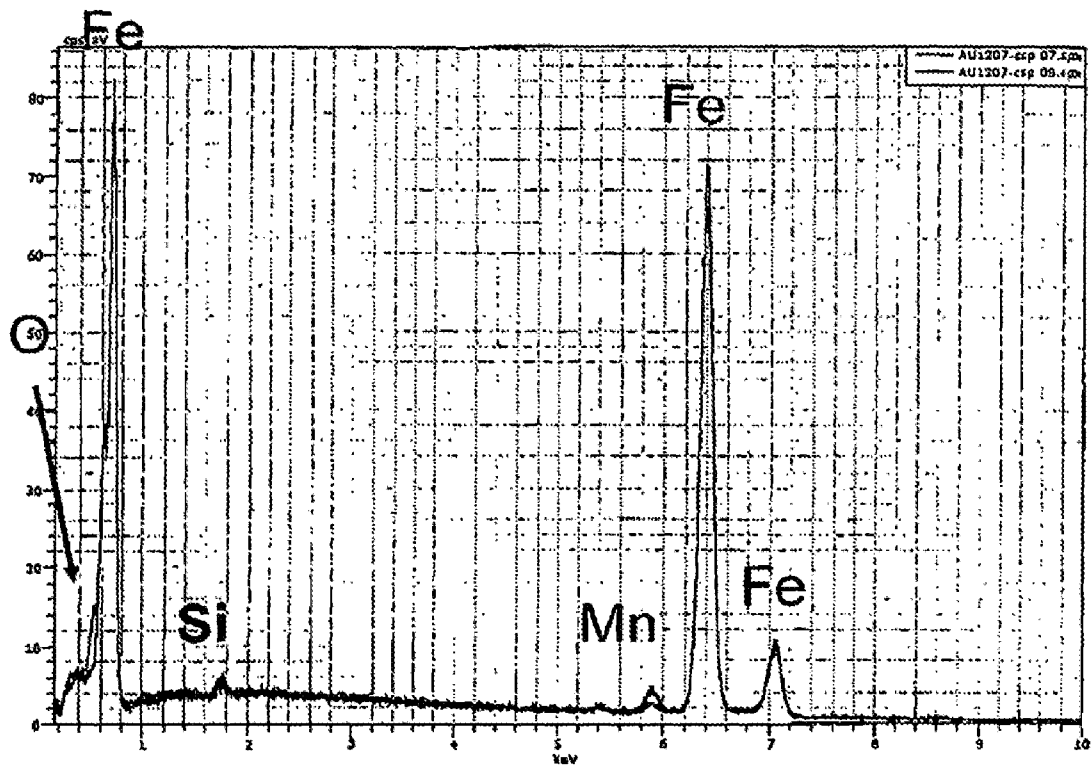


Fig. 14

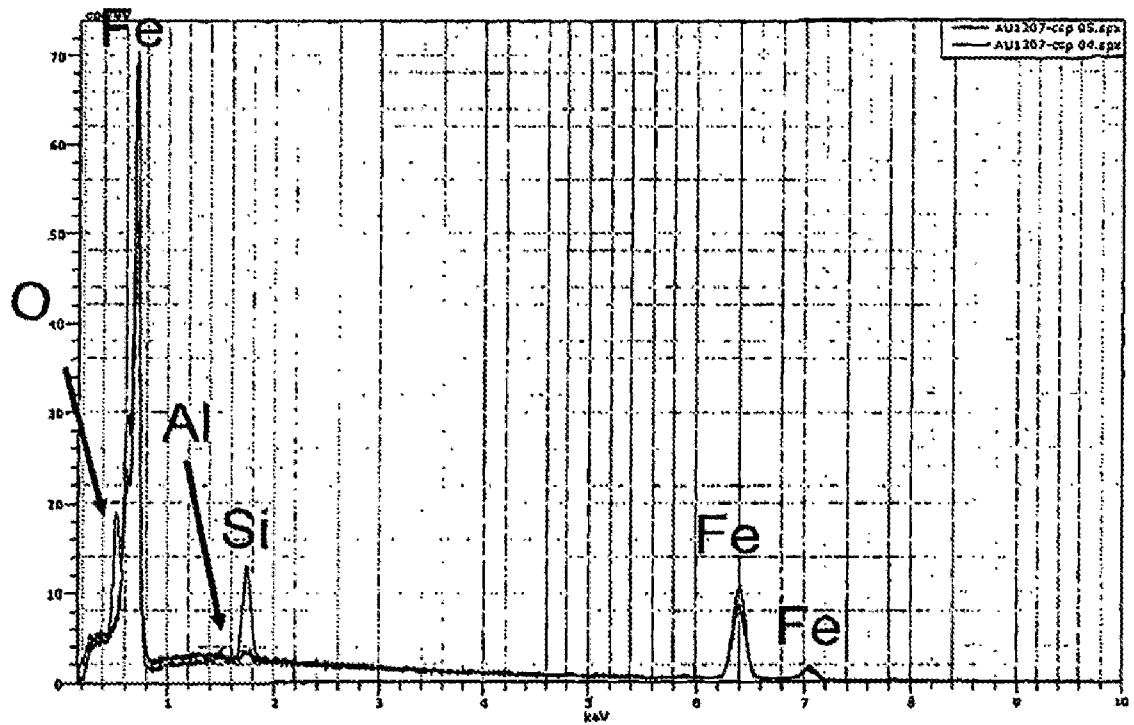


Fig. 15

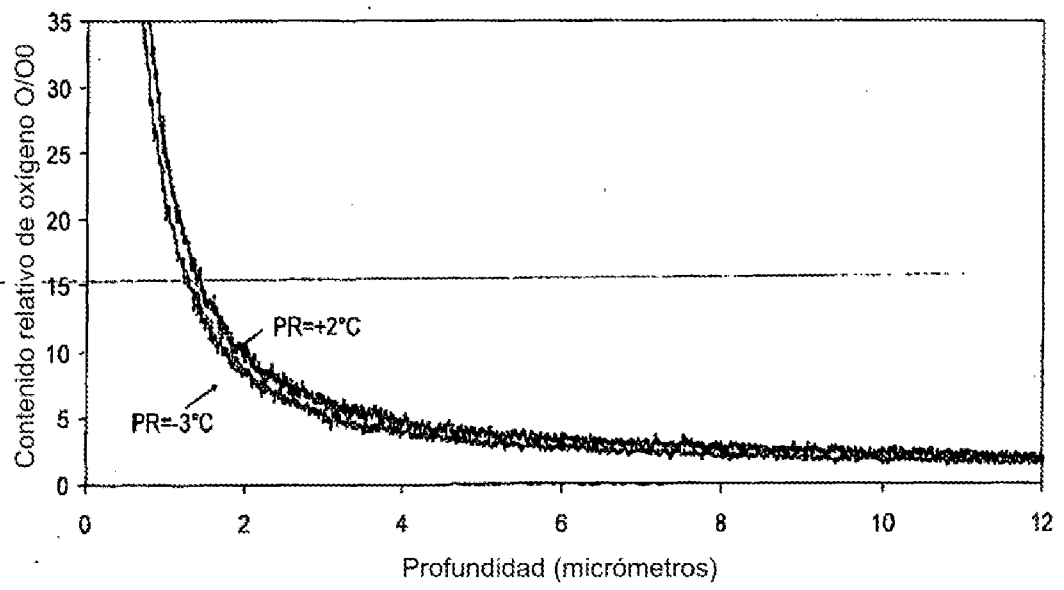


Fig. 16