

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 612 514**

51 Int. Cl.:

C21D 1/19 (2006.01)
C22C 38/18 (2006.01)
C21D 7/13 (2006.01)
C22C 38/22 (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01)
C21D 9/46 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C21D 1/673 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.04.2012** **PCT/FR2012/000153**
87 Fecha y número de publicación internacional: **15.11.2012** **WO12153012**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.04.2012** **E 12724656 (9)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.11.2016** **EP 2707513**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de acero martensítico de muy alta resistencia y chapa o pieza obtenida de ese modo**

30 Prioridad:

12.05.2011 WO PCT/FR2011/000294

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.05.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

ZHU, KANGYING y
BOUAZIZ, OLIVIER

74 Agente/Representante:

SALVA FERRER, Joan

ES 2 612 514 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de fabricación de acero martensítico de muy alta resistencia y chapa o pieza obtenida de ese modo

5 **[0001]** La invención se refiere a un procedimiento de fabricación de chapas o de piezas de acero de estructura martensítica, con una resistencia mecánica superior a la que podría obtenerse por austenitización a continuación tratamiento simple de refrigeración rápido con temple martensítico y unas propiedades de resistencia mecánica y de alargamiento que permiten su aplicación en la fabricación de piezas de absorción de energía en los vehículos automóviles. En ciertas aplicaciones, se busca realizar unas piezas de acero que combinan una
10 resistencia mecánica elevada, una gran resistencia a los choques y una buena resistencia a la corrosión. Este tipo de combinación es particularmente deseable en la industria automóvil donde se busca un aligeramiento significativo de los vehículos. Esto se puede obtener especialmente gracias a la utilización de piezas de aceros de muy altas características mecánicas cuya microestructura es martensítica o bainito-martensítica. Unas piezas anti-intrusión, de estructura o que participan en la seguridad de los vehículos automóviles tales como: travesaños de parachoques,
15 refuerzos de puertas o de montante, brazo de rueda, que necesitan por ejemplo las cualidades mencionadas más arriba. Su espesor es preferiblemente inferior a 3 milímetros.

[0002] La patente EP0971044 divulga así la fabricación de una chapa de acero revestida de aluminio o de una aleación de aluminio, cuya composición comprende en contenido ponderal: 0,15-0,5%C, 0,5-3%Mn, 0,1-0,5%Si,
20 0,011%Cr, Ti<0,2%, Al<0,1%, P<0,1%, S<0,05%, 0,0005%<B<0,08%, siendo el resto hierro y unas impurezas inherentes a la elaboración. Esta chapa se calienta de forma que se obtenga una transformación austenítica embutida después en caliente de manera que se realice una pieza, siendo esta refrigerada a continuación rápidamente de forma que se obtenga una estructura martensítica o martensito-bainítica. De este modo, se puede obtener por ejemplo una resistencia mecánica superior a 1.500 MPa. Se busca no obstante obtener unas piezas con
25 una resistencia mecánica incluso superior. Se busca aún, a nivel dado de resistencia mecánica, disminuir el contenido en carbono del acero de forma que se mejore su capacidad para la soldabilidad.

[0003] Se conoce igualmente un procedimiento de fabricación llamado «ausforming» en el cual un acero es totalmente austenitizado, refrigerado después rápidamente hasta una temperatura intermedia, generalmente hacia
30 700-400 °C, gama en la cual la austenita es metaestable. Esta austenita se deforma en caliente, se refrigera después rápidamente de forma que se obtenga una estructura totalmente martensítica. La patente GB1,080,304 describe así la composición de una chapa de acero destinada a tal procedimiento, que comprende 0,15-1%C, 0,25-3%Mn, 1-2,5%Si, 0,5-3%Mo, 1-3%Cu, 0,2-1%V.

35 **[0004]** Del mismo modo, la patente GB 1,166,042 describe una composición de acero adaptada a este procedimiento de ausforming, que comprende 0,1-0,6%C, 0,25-5%Mn, 0,5-2%Al, 0,5-3%Mo, 0,01-2%Si, 0,01-1%V.

[0005] Estos aceros constan de unas adiciones importantes de molibdeno, de manganeso, de aluminio, de silicio y/o de cobre. Estas tienen como objetivo crear un dominio de metaestabilidad más importante para la austenita, es decir retrasar el inicio de la transformación de la austenita en ferrita, bainita o perlita, a la temperatura a la cual se efectúa la deformación en caliente. La mayoría de los estudios dedicados al ausforming se han realizado sobre unos aceros que presentan un contenido en carbono superior al 0,3%. Así, estas composiciones adaptadas al ausforming presentan el inconveniente de necesitar unas precauciones particulares para la soldadura, y presentan igualmente unas dificultades particulares en el caso en que se desee efectuar un revestimiento metálico al temple.
45 Además, estas composiciones constan de unos elementos de adición costosos.

[0006] Se conoce por otro lado, la publicación de S. Morito et al.: «Influence of austenite grain size on the morphology and crystallography of lath martensite in Low C steels». ISIJ International, vol. 45, 2005. Esta publicación ilustra las relaciones entre el tamaño de grano austenítico y los tamaños de paquetes, de bloques y de listones de martensita obtenidos después del temple al agua. Los resultados presentados son no obstante únicamente relativos a unos aceros C-Mn y C-Mn-V y a un procedimiento de austenitización y temple simple, sin deformación en caliente.

[0007] Además, este documento no contiene información sobre el factor de alargamiento de los listones de martensita.
55

[0008] Se conoce igualmente la publicación de Tsuji y Maki: «Enhanced structural refinement by combining phase transformation and plastic déformation» Scripta Materiala, 2009. Esta presenta los principios generales para asociar una deformación en caliente y una transformación en vista de obtener unas estructuras ultrafinas. El procedimiento de ausforming se menciona en vista de la fabricación de estructuras martensíticas. No obstante, la

publicación informa que el tamaño de los listones martensíticos no es modificado por el ausforming. Se conoce también la publicación de S. Morito et al.: «Effect of the block size on the strength of lath martensite in low C steels" Material Science and Engineering A, 2006. Esta publicación tiene como objetivo precisar las relaciones entre el límite de elasticidad y el tamaño de los bloques o de los paquetes martensíticos de dos clases de acero. Estas clases son unos aceros Fe-C o Fe-C-Mn, sin otra adición notable de elemento de aleación. Además, esta publicación solo divulga unos resultados de ensayos después de la austenitización y temple simple, sin deformación en caliente.

[0009] Se busca disponer de un procedimiento de fabricación de chapas o de piezas de acero que no presentan los inconvenientes anteriores, dotadas de una resistencia a la ruptura superior en más de 50 MPa a la que se podría obtener gracias a una austenitización seguida de un simple temple martensítico del acero en cuestión. Los inventores han puesto en evidencia que, para unos contenidos en carbono que van del 0,15 al 0,40% en peso, la resistencia a la ruptura en tracción R_m de aceros fabricados por austenitización total seguida de un simple temple martensítico, solo dependía prácticamente del contenido en carbono y estaba vinculada a este con una precisión muy buena, según la expresión (1): R_m (megapascals) = $3220(C) + 908$.

[0010] En esta expresión, (C) designa el contenido en carbono del acero expresado en porcentaje ponderal. En contenido en carbono C dado para un acero, se busca por tanto un procedimiento de fabricación que permite obtener una resistencia a la ruptura superior de 50 MPa a la expresión (1), es decir una resistencia superior a $3220(C) + 958$ MPa para este acero. Se busca disponer de un procedimiento que permite la fabricación de chapa con un límite de elasticidad muy elevado, es decir superior a 1.300 MPa. Se busca disponer igualmente de un procedimiento que permita la fabricación de chapas o de piezas utilizables directamente, es decir sin necesidad imperativa de un tratamiento de revenido después del temple. Se busca igualmente disponer de un procedimiento de fabricación que permita la fabricación de una chapa o de una pieza fácilmente revestible al temple en un baño metálico.

[0011] Estas chapas o estas piezas deben ser soldables por los procedimientos usuales y no constar de adiciones costosas de elementos de aleación.

[0012] La presente invención tiene como objetivo resolver los problemas mencionados más arriba. Tiene como objetivo en particular poner a disposición unas chapas con un límite de elasticidad superior a 1.300 MPa, una resistencia mecánica expresada en megapascals superior a $(3220(C) + 958)$ MPa, y de preferencia un alargamiento total superior al 3%.

[0013] En este objetivo, la invención tiene como objeto un procedimiento de fabricación de una chapa de acero de estructura totalmente martensítica que presenta un tamaño de listones inferior a 1 micrómetro, estando comprendido el factor de alargamiento medio de los listones entre 2 y 5, entendiéndose que el factor de

alargamiento de un listón de dimensión máxima l_{max} y mínima l_{min} esté definido por $\frac{l_{max}}{l_{min}}$, con límite de elasticidad superior a 1.300 MPa, de resistencia mecánica superior a $(3220(C) + 958)$ megapascals, entendiéndose que (C) designa el contenido en carbono en porcentaje ponderal del acero, comprendiendo las etapas sucesivas y en este orden según las cuales:

- se suministra un semi-producto de acero cuya composición comprende, estando los contenidos expresados en peso, $0,15\% \leq C \leq 0,40\%$, $1,5\% \leq Mn \leq 3\%$, $0,005\% \leq Si \leq 2\%$, $0,005\% \leq Al \leq 0,1\%$, $1,8\% \leq Cr \leq 4\%$, $0\% \leq Mo \leq 2\%$, entendiéndose que $2,7\% \leq 0,5 (Mn) + (Cr) + 3(Mo) \leq 5,7\%$, $S \leq 0,05\%$, $P \leq 0,1\%$, y opcionalmente: $0\% \leq Nb \leq 0,050\%$, $0,01\% \leq Ti \leq 0,1\%$, $0,0005\% \leq B \leq 0,005\%$, $0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%$, estando constituido el resto de la composición por hierro e impurezas inevitables que resultan de la elaboración,
- se recalienta el semi-producto a una temperatura T_1 comprendida entre 1.050 °C y 1.250 °C, a continuación
- se efectúa un laminado de desbastado del semi-producto recalentado, a una temperatura T_2 comprendida entre 1.000 y 880 °C, con una tasa de reducción ϵ_a acumulada superior al 30% de forma que se obtenga una chapa con una estructura austenítica completamente recrystalizada de tamaño medio de grano inferior a 40 micrómetros y preferentemente a 5 micrómetros, estando

definida la tasa de reducción acumulada ϵ_a por: $\frac{\ln \frac{e_{ia}}{e_{fa}}}{\ln \frac{e_{ia}}{e_{fa}}}$, designando e_{ia} el espesor del semi-producto antes del laminado en caliente de desbastado y e_{fa} el espesor de la chapa después del laminado de desbastado, a continuación

- se refrigera no completamente la chapa hasta una temperatura T_3 comprendida entre 600 °C y 400 °C en el dominio austenítico metaestable, a una velocidad V_{R1} superior a 2 °C/s, a continuación
 - se efectúa un laminado en caliente de acabado a la temperatura T_3 , de la chapa no completamente refrigerada, con una tasa de reducción acumulada ε_b superior al 30% de forma que

$$\text{Ln} \frac{e_{ib}}{e_{fb}},$$
 - 5 se obtenga una chapa, estando definida la tasa de reducción acumulada ε_b por: designando e_{ib} el espesor de la chapa antes del laminado en caliente de acabado y e_{fa} el espesor de la chapa después del laminado de acabado, a continuación
 - se refrigera la chapa a una velocidad V_{R2} superior a la velocidad crítica de temple martensítico.
- 10 **[0014]** La invención tiene igualmente como objeto un procedimiento de fabricación de una pieza de acero de estructura totalmente martensítica que presenta un tamaño medio de listones inferior a 1 micrómetro, estando comprendido el factor de alargamiento medio de los listones entre 2 y 5, comprendiendo las etapas sucesivas y en este orden según las cuales:
- 15 - se suministra un cuerpo de acero cuya composición comprende, estando los contenidos expresados en peso, $0,15\% \leq C \leq 0,40\%$, $1,5\% \leq Mn \leq 3\%$, $0,005\% \leq Si \leq 2\%$, $0,005\% \leq Al \leq 0,1\%$, $1,8\% \leq Cr \leq 4\%$, $0\% \leq Mo \leq 2\%$, entendiéndose que $2,7\% \leq 0,5 (Mn) + (Cr) + 3(Mo) \leq 5,7\%$, $S \leq 0,05\%$, $P \leq 0,1\%$, opcionalmente: $0\% \leq Nb \leq 0,050\%$, $0,01\% \leq Ti \leq 0,1\%$, $0,0005\% \leq B \leq 0,005\%$, $0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%$, estando constituido el resto de la composición de hierro y de impurezas inevitables
 - 20 que resultan de la elaboración,
 - se calienta el cuerpo a una temperatura T_1 comprendida entre A_{C3} y $A_{C3} + 250$ °C de tal modo que el tamaño medio de grano austenítico sea inferior a 40 micrómetros y, preferentemente, a 5 micrómetros, a continuación
 - se transfiere el cuerpo calentado en el seno de una prensa de embutición en caliente o de un dispositivo de conformación en caliente, a continuación
 - 25 - se refrigera el cuerpo hasta una temperatura T_3 comprendida entre 600 °C y 400 °C, a una velocidad V_{R1} superior a 2 °C/s de forma que se evite una transformación de la austenita,
 - pudiendo ser intercambiado el orden de las dos últimas etapas, a continuación
 - se embute o se conforma en caliente a la temperatura T_3 el cuerpo refrigerado, de una cantidad
 - 30 $\overline{\varepsilon}_C$ superior al 30% en al menos una zona, para obtener una pieza, estando definido $\overline{\varepsilon}_C$ por

$$\overline{\varepsilon}_C = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2^2)},$$
 donde ε_1 y ε_2 son las deformaciones principales acumuladas sobre el conjunto de las etapas de deformación a la temperatura T_3 , a continuación
 - se refrigera la pieza a una velocidad V_{R2} superior a la velocidad crítica de temple martensítico.
- 35 **[0015]** Según un modo preferido, el cuerpo se embute en caliente de forma que se obtenga una pieza, después se mantiene la pieza en el seno de las herramientas de embutición de forma que se refrigere a una velocidad V_{R2} superior a la velocidad crítica de temple martensítico.
- 40 **[0016]** Según un modo preferido, el cuerpo está pre-revestido de aluminio o de una aleación a base de aluminio.
- [0017]** Según otro modo preferido, el cuerpo está pre-revestido de cinc o de una aleación a base de cinc.
- [0018]** Preferentemente, la chapa o la pieza de acero obtenida por cualquiera de los procedimientos de fabricación anteriores, es sometida a un tratamiento térmico posterior de revenido a una temperatura T_4 comprendida entre 150 y 600 °C durante una duración comprendida entre 5 y 30 minutos.
- [0019]** La invención tiene igualmente como objeto una chapa de acero no revenido de límite de elasticidad superior a 1.300 MPa, de resistencia mecánica superior a (3220(C)+958) megapascuales, entendiéndose que (C) designa el contenido en carbono en porcentaje ponderal del acero, obtenida según cualquiera de los procedimientos de fabricación anteriores, de estructura totalmente martensítica, que presenta un tamaño medio de listones inferior a 1 micrómetro, estando comprendido el factor de alargamiento medio de los listones entre 2 y 5.
- 50 **[0020]** La invención tiene igualmente como objeto una pieza de acero no revenido obtenida por cualquiera de los procedimientos de fabricación de pieza anteriores, constanding la pieza de al menos una zona de estructura
- 55

totalmente martensítica que presenta un tamaño medio de listones inferior a 1 micrómetro, estando el factor de alargamiento medio de los listones comprendido entre 2 y 5, siendo el límite de elasticidad en dicha zona superior a 1.300 MPa y siendo la resistencia mecánica superior a $(3220(C)+958)$ megapascuales, entendiéndose que (C) designa el contenido en carbono en porcentaje ponderal del acero. La invención tiene igualmente como objeto una chapa o una pieza de acero obtenida por el procedimiento con tratamiento de revenido anterior, teniendo el acero una estructura totalmente martensítica, que presenta en al menos una zona un tamaño medio de listones inferior a 1,2 micrómetros, estando comprendido el factor de alargamiento medio de los listones entre 2 y 5.

[0021] Los inventores han puesto en evidencia que los problemas expuestos más arriba se resolvieron gracias a un procedimiento de ausforming específico aplicado sobre una gama particular de composiciones de aceros. Contrariamente a los estudios precedentes que mostraban que el ausforming requería la adición de elementos de aleación costosos, los inventores han puesto en evidencia de forma sorprendente que este efecto se puede obtener gracias a unas composiciones netamente menos cargadas en elementos de aleación.

[0022] Otras características y ventajas de la invención se mostrarán en el transcurso de la descripción posterior dada a título de ejemplo y realizada en referencia a las figuras adjuntas siguientes:

La figura 1 presenta un ejemplo de microestructura de chapa de acero fabricada por el procedimiento según la invención.

La figura 2 presenta un ejemplo de microestructura del mismo acero fabricado por un procedimiento de referencia, por calentamiento en el dominio austenítico tras simple temple martensítico.

La figura 3 presenta un ejemplo de microestructura de pieza de acero fabricada por el procedimiento según la invención.

[0023] La composición de los aceros aplicada en el procedimiento según la invención se va a detallar ahora.

[0024] Cuando el contenido en carbono del acero es inferior al 0,15% en peso, la templabilidad del acero es insuficiente teniendo en cuenta el procedimiento aplicado y no es posible obtener una estructura totalmente martensítica. Cuando este contenido es superior al 0,40%, las juntas soldadas realizadas a partir de estas chapas o de estas piezas presentan una tenacidad insuficiente. El contenido óptimo en carbono para la aplicación de la invención está comprendido entre el 0,16 y el 0,28%.

[0025] El manganeso baja la temperatura de inicio de formación de la martensita y ralentiza la descomposición de la austenita. A fin de obtener unos efectos suficientes para permitir la aplicación del ausforming, el contenido en manganeso no debe ser inferior al 1,5%. Por otro lado, cuando el contenido en manganeso supera el 3%, unas zonas segregadas están presentes en cantidad excesiva lo que perjudica a la aplicación de la invención. Una gama preferencial para la aplicación de la invención es de 1,8 a 2,5% Mn.

[0026] El contenido en silicio debe ser superior al 0,005% de forma que se contribuya a la desoxidación del acero en fase líquida. El silicio no debe exceder el 2% en peso debido a la formación de óxidos superficiales que reducen notablemente la revestibilidad en los procedimientos que constan de un pasaje de forma continua de la chapa de acero en un baño metálico de revestimiento.

[0027] El cromo y el molibdeno son unos elementos muy eficaces para retrasar la transformación de la austenita y para separar los dominios de transformación ferrito-perlítica y bainítica, interviniendo la transformación ferrito-perlítica a unas temperaturas superiores a la transformación bainítica. Estos dominios de transformación se presentan en forma de dos «narices» muy distintas en un diagrama de transformación isoterma TTT (Transformación-Temperatura-Tiempo) a partir de la austenita, lo que permite la aplicación del procedimiento según la invención.

[0028] El contenido en cromo del acero debe estar comprendido entre el 1,8% y el 4% en peso para que su efecto de retraso sobre la transformación de la austenita sea suficiente. El contenido en cromo del acero tiene en cuenta el contenido de otros elementos que aumentan la templabilidad tales como el manganeso y el molibdeno: en efecto, habida cuenta de los efectos respectivos del manganeso, del cromo y del molibdeno sobre las transformaciones a partir de la austenita, una adición combinada de estos elementos se debe efectuar respetando la condición siguiente, estando expresadas las cantidades respectivamente destacadas (Mn) (Cr) (Mo) en porcentaje ponderal: $2,7\% \leq 0,5 \text{ (Mn)} + \text{(Cr)} + 3 \text{ (Mo)} \leq 5,7\%$. El contenido en molibdeno no debe exceder no obstante el 2% debido a su coste excesivo.

[0029] El contenido de aluminio del acero según la invención no es inferior al 0,005% de forma que se obtenga una desoxidación suficiente del acero en el estado líquido. Cuando el contenido en aluminio es superior al 0,1% en peso, pueden aparecer unos problemas de colada. Pueden formarse igualmente unas inclusiones de alúmina en cantidad o en tamaño demasiado importantes que desempeñan una función nefasta sobre la tenacidad:

5

[0030] Los contenidos en azufre y en fósforo del acero están limitados respectivamente al 0,05 y 0,1% para evitar una reducción de la ductilidad o de la tenacidad de las piezas o de las chapas fabricadas según la invención.

[0031] El acero puede contener opcionalmente niobio y/o titanio, lo que permite afinar un afinamiento suplementario del grano. Debido al endurecimiento en caliente que confieren estas adiciones, estas deben estar limitadas no obstante al 0,050% para el niobio y comprende entre el 0,01 y el 0,1% para el titanio de forma que no aumenten los esfuerzos durante el laminado en caliente.

[0032] A título opcional, el acero puede contener igualmente boro: en efecto, la deformación importante de la austenita puede acelerar la transformación en ferrita en la refrigeración, fenómeno que conviene evitar. Una adición de boro, en cantidad comprendida entre el 0,0005 y el 0,005% en peso permite protegerse de una transformación ferrítica precoz.

[0033] A título opcional, el acero puede contener igualmente calcio en cantidad comprendida entre el 0,0005 y el 0,005%: combinándose con el oxígeno y el azufre, el calcio permite evitar la formación de inclusiones de gran tamaño, nefastas para la ductilidad de las chapas o de las piezas fabricadas de este modo.

[0034] El resto de la composición del acero está constituido por hierro e impurezas inevitables que resultan de la elaboración.

25

[0035] Las chapas o las piezas de acero fabricadas según la invención están caracterizadas por una estructura totalmente martensítica en listones de una gran finura: debido al ciclo termomecánico y a la composición específicas, el tamaño medio de los listones martensíticos es inferior a 1 micrómetro y su factor de alargamiento medio está comprendido entre 2 y 5. Estas características microestructurales se determinan por ejemplo observando la microestructura por microscopio electrónico de barrido por medio de un cañón de efecto de campo (técnica «MEB-FEG») con un crecimiento superior a 1.200x, acoplado a un detector EBSD («Electron Backscatter Diffraction»). Se define que dos listones contiguos son distintos cuando su desorientación es superior a 5 grados. El tamaño medio de listones se define por el método de las intercepciones conocido en sí mismo: se evalúa el tamaño medio de los listones interceptados por unas líneas definidas de forma aleatoria con respecto a la microestructura. La medición se realiza sobre al menos 1.000 listones martensíticos de forma que se obtenga un valor medio representativo. La morfología de los listones individualizados se determina por análisis de imágenes por medio de software conocidos en sí mismos: se determina la dimensión máxima $l_{\max}$ y mínima $l_{\min}$ de cada listón martensítico y su factor de alargamiento $\frac{l_{\max}}{l_{\min}}$. A fin de ser estadísticamente representativa, esta observación se refiere al menos a 1.000

listones martensíticos. El factor de alargamiento medio $\frac{l_{\max}}{l_{\min}}$ se determina a continuación para el conjunto de estos listones observados.

[0036] El procedimiento según la invención permite fabricar unas chapas laminadas o unas piezas embutidas en caliente o conformadas en caliente. Estos dos modos se van a exponer sucesivamente.

[0037] El procedimiento de fabricación de chapas laminadas en caliente según la invención consta de las etapas siguientes:

Se suministra en primer lugar un semi-producto de acero cuya composición se ha expuesto más arriba. Este semi-producto puede presentarse por ejemplo en forma de desbaste resultante de colada continua, de desbaste delgado o de lingote. A título de ejemplo indicativo, un desbaste de colada continua tiene un espesor del orden de 200 mm, un desbaste delgado un espesor del orden de 50-80 mm. Se recalienta este semi-producto a una temperatura T_1 comprendida entre 1.050 °C y 1.250 °C. La temperatura T_1 es superior a A_{c3} , temperatura de transformación total en austenita en el calentamiento. Este recalentamiento permite obtener por tanto una austenitización completa del acero así como la disolución de eventuales carbonitruros de niobio que existen en el semi-producto. Esta etapa de recalentamiento permite realizar igualmente las diferentes operaciones posteriores de

laminado en caliente que se van a presentar: se efectúa un laminado, denominado de desbastado, del semi-producto a una temperatura T_2 comprendida entre 1.000 y 880 °C.

[0038] La tasa de reducción acumulada de las diferentes etapas de laminado en el desbastado se indica con ϵ_a . Si ϵ_{ia} designa el espesor del semi-producto antes del laminado en caliente de desbastado y ϵ_{fa} el espesor de la

$$\epsilon_a = \ln \frac{\epsilon_{ia}}{\epsilon_{fa}}.$$

chapa después de este laminado, se define la tasa de reducción acumulada por ϵ_a . Según la invención, la tasa de reducción acumulada ϵ_a durante el laminado de desbastado debe ser superior al 30%. En estas condiciones, la austenita obtenida se recrystaliza totalmente con un tamaño medio de grano inferior a 40 micrómetros, incluso a 5 micrómetros cuando la deformación ϵ_a es superior al 200% y cuando la temperatura T_2 está comprendida entre 950 y 880 °C. Se refrigera a continuación no completamente la chapa, es decir hasta una temperatura intermedia T_3 , de forma que se evite una transformación de la austenita, a una velocidad V_{R1} superior a 2 °C/s hasta una temperatura T_3 comprendida entre 600 °C y 400 °C, dominio de temperatura en el cual la austenita es metaestable, es decir en un dominio donde no debería estar presente en unas condiciones de equilibrio termodinámico. Se efectúa entonces un laminado en caliente de acabado a la temperatura T_3 , siendo la tasa de reducción acumulada ϵ_b superior al 30%. En estas condiciones, se obtiene una estructura austenítica deformada plásticamente en la cual no interviene la recrystalización. Se refrigera a continuación la chapa a una velocidad V_{R2} superior a la velocidad de temple crítico martensítico.

[0039] Aunque el procedimiento anterior describe la fabricación de productos planos (chapas) a partir especialmente de desbastes, la invención no está limitada a esta geometría y a este tipo de productos y puede ser aplicada para la fabricación de productos largos, de barras, de perfilados, por unas etapas sucesivas de deformación en caliente.

[0040] El procedimiento de fabricación de piezas embutidas o conformadas en caliente es el siguiente:

Se suministra en primer lugar un cuerpo de acero cuya composición contiene en peso: $0,15\% \leq C \leq 0,40\%$, $1,5\% \leq Mn \leq 3\%$, $0,005\% \leq Si \leq 2\%$, $0,005\% \leq Al \leq 0,1\%$, $1,8\% \leq Cr \leq 4\%$, $0\% \leq Mo \leq 2\%$, entendiéndose que $2,7\% \leq 0,5 (Mn) + (Cr) + 3(Mo) \leq 5,7\%$, $S \leq 0,05\%$, $P \leq 0,1\%$ y, opcionalmente: $0\% \leq Nb \leq 0,050\%$, $0,01\% \leq Ti \leq 0,1\%$, $0,0005\% \leq B \leq 0,005\%$, $0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%$.

[0041] Este cuerpo plano se obtiene por corte de una chapa o de una bobina según una forma en relación con la geometría final de la pieza contemplada. Este cuerpo puede no estar revestido u opcionalmente pre-revestido. El pre-revestimiento puede ser de aluminio o una aleación a base de aluminio. En este último caso, la chapa se puede obtener ventajosamente por pasaje al temple de forma continua en un baño de aleación aluminio-silicio que comprende en peso 5-11% de silicio, del 2 al 4% de hierro, opcionalmente entre 15 y 30 ppm de calcio, siendo el resto aluminio y unas impurezas inevitables que resultan de la elaboración.

[0042] El cuerpo puede estar pre-revestido igualmente de cinc o de una aleación a base de cinc. El pre-revestimiento puede ser especialmente del tipo galvanizado al temple de forma continua («GI») o galvanizado-aleado («GA»).

[0043] Se calienta el cuerpo a una temperatura T_1 comprendida entre A_{c3} y $A_{c3}+250$ °C. En el caso en que el cuerpo esté pre-revestido, se efectúa preferentemente el calentamiento en un horno bajo atmósfera ordinaria; se asiste durante esta etapa una aleación entre el acero y el pre-revestimiento. El revestimiento formado por aleación protege el acero subyacente de la oxidación y de la descarburación y demuestra ser apto para una deformación posterior en caliente. Se mantiene el cuerpo a la temperatura T_1 para garantizar la homogeneidad de la temperatura en su seno. Según el espesor del cuerpo, comprendido por ejemplo de 0,5 a 3 mm, la duración de mantenimiento a la temperatura T_1 varía de 30 segundos a 5 minutos.

[0044] En estas condiciones, la estructura del acero del cuerpo es completamente austenítica. La limitación de la temperatura a $A_{c3}+250$ °C tiene como efecto restringir el crecimiento del grano austenítico a un tamaño medio inferior a 40 micrómetros. Cuando la temperatura está comprendida entre A_{c3} y $A_{c3}+50$ °C, el tamaño medio de grano es preferentemente inferior a 5 micrómetros.

- se transfiere el cuerpo calentado así en el seno de una prensa de embutición en caliente o bien en el seno de un dispositivo de conformación en caliente: este último puede ser por ejemplo un dispositivo de «roll-forming» en el cual el cuerpo se deforma progresivamente por perfilado en

caliente en una serie de rodillos hasta alcanzar la geometría final de la pieza deseada. La transferencia del cuerpo hasta la prensa o hasta el dispositivo de conformación debe efectuarse lo suficientemente rápido para no provocar transformación de la austenita.

- se refrigera a continuación el cuerpo a una velocidad V_{R1} superior a 2 °C/s de forma que se evite la transformación de la austenita, hasta una temperatura T_3 comprendida entre 600 °C y 400 °C, dominio de temperatura en el cual la austenita es metaestable.

[0045] Según una variante, también es posible invertir el orden de estas dos últimas etapas, es decir refrigerar primero el cuerpo con una velocidad V_{R1} superior a 2 °C/s, transferir después este cuerpo en el seno de la prensa de embutición o del dispositivo de conformación en caliente, de tal modo que este pueda ser embutido o conformado en caliente de la siguiente forma.

[0046] Se embute o conforma en caliente el cuerpo a una temperatura T_3 comprendida entre 400 y 600 °C, pudiendo ser efectuada esta deformación en caliente en una sola etapa o en varias etapas sucesivas, como en el caso del roll-forming mencionado más arriba. A partir de un cuerpo inicial plano, la embutición permite obtener una pieza cuya forma no es desarrollable. Independientemente del modo de conformación en caliente, la deformación acumulada $\mathcal{E}_C$ debe ser superior al 30% de forma que se obtenga una austenita deformada no recrystalizada. Como los modos de deformación pueden variar de un lugar a otro debido a la geometría de la pieza y del modo local de tensión (expansión, contracción, tracción o compresión uniaxial), se designa por $\mathcal{E}_C$ la deformación equivalente

definida en cada punto de la pieza por
$$\overline{\mathcal{E}_c} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2^2)},$$
 donde ε_1 y ε_2 son las deformaciones principales acumuladas sobre el conjunto de las etapas de deformación a la temperatura T_3 . En una primera variante, el modo de formación en caliente se selecciona de tal modo que la condición $\mathcal{E}_C > 30\%$ sea satisfactoria en cualquier lugar de la pieza formada.

[0047] Opcionalmente, es igualmente posible aplicar un procedimiento de formación en caliente donde esta condición solo se cumple en ciertos lugares particulares, que corresponden a las zonas más tensionadas de las piezas donde se desea obtener unas características mecánicas particularmente elevadas. Se obtiene en estas condiciones una pieza cuyas propiedades mecánicas son variables, que pueden resultar en ciertos lugares de un temple martensítico simple (caso de zonas eventuales no deformadas localmente durante la conformación en caliente) y resultar en otras zonas del procedimiento según la invención que conduce a una estructura martensítica con un tamaño de listones extremadamente reducido y unas propiedades mecánicas aumentadas.

[0048] Después de la deformación en caliente, se refrigera la pieza a una velocidad V_{R2} superior a la velocidad crítica de temple martensítico de forma que se obtenga una estructura totalmente martensítica. En el caso de la embutición en caliente, esta refrigeración se puede realizar por mantenimiento de la pieza en las herramientas con un contacto estrecho con este. Esta refrigeración por conducción térmica se puede acelerar por refrigeración de las herramientas de embutición, por ejemplo gracias a unos canales mecanizados en las herramientas que permiten la circulación de un fluido refrigerante.

[0049] Además por la composición de acero aplicada, el procedimiento de embutición en caliente de la invención difiere por tanto del procedimiento usual que consiste en comenzar la embutición en caliente en cuanto el cuerpo se ha posicionado en la prensa. Según este procedimiento usual, el límite de flujo del acero es el más educido a alta temperatura y los esfuerzos requeridos por la prensa con los menos elevados. Por comparación, el procedimiento según la invención consiste en observar un tiempo de espera de forma que el cuerpo alcance un dominio de temperatura adaptado para el ausforming, después en embutir en caliente el cuerpo a temperatura netamente más baja que en el procedimiento usual. Para un espesor de cuerpo dado, el esfuerzo de embutición requerido por la prensa es ligeramente más elevado pero la estructura final obtenida más fina que en el procedimiento usual conduce a unas propiedades mecánicas más importantes de límite de elasticidad, de resistencia y de ductilidad. Para satisfacer un pliego de condiciones correspondiente a un nivel de tensión dado, es por tanto posible disminuir el espesor de los cuerpos y de este modo disminuir el esfuerzo de embutición de las piezas según la invención.

[0050] Además, según el procedimiento de embutición en caliente usual, la deformación en caliente inmediatamente después de la embutición debe ser limitada, teniendo esta deformación a alta temperatura tendencia a favorecer la formación de ferrita en las zonas más deformadas, lo que se busca evitar. El procedimiento

según la invención no consta de esta limitación.

[0051] Independientemente de la variante del procedimiento según la invención, las chapas o las piezas de acero se pueden utilizar como tales o sometidas a un tratamiento térmico de revenido, efectuado a una temperatura T_4 comprendida entre 150 y 600 °C durante una duración comprendida entre 5 y 30 minutos. Este tratamiento de revenido tiene como efecto aumentar la ductilidad al precio de una disminución del límite de elasticidad y de la resistencia. Los inventores han puesto en evidencia no obstante que el procedimiento según la invención, que confiere una resistencia mecánica en tracción R_m de al menos 50 MPa más elevada que la obtenida después del temple convencional, conservaba esta ventaja, incluso después del tratamiento de revenido con unas temperaturas que van de 150 a 600 °C. Las características de finura de la microestructura se conservan por este tratamiento de revenido, siendo el tamaño medio de listones inferior a 1,2 micrómetros, estando comprendido el factor de alargamiento medio de los listones entre 2 y 5.

[0052] A título de ejemplo no limitativo, los resultados siguientes van a mostrar las características ventajosas conferidas por la invención.

Ejemplo 1:

[0053] Se han suministrado unos semi-productos de acero cuyas composiciones, expresadas en contenidos ponderales (%), son las siguientes:

Acero	C	Mn	Si	Cr	Mo	Al	S	P	Nb	Ti	B	0,5Mn+Cr+3 Mo
A	0,195	1,945	0,01	1,909	0,05	0,03	0,003	0,02	0,01	0,012	0,0014	3,03
B	0,24	1,99	0,01	1,86	0,008	0,027	0,003	0,02	0,008	-	-	2,88

[0054] Unos semi-productos de 31 mm de espesor se han recalentado y mantenido 30 minutos a una temperatura T_1 de 1.050 °C, sometidos después a un laminado de desbastado en 5 pases a una temperatura T_2 de 910 °C hasta un espesor de 6 mm, o una tasa de reducción acumulada ϵ_a del 164%. En este estado, la estructura es totalmente austenítica y completamente recrystalizada con un tamaño medio de grano de 30 micrómetros. Las chapas obtenidas así se han refrigerado a continuación a la velocidad de 25 °C/s hasta la temperatura T_3 de 550 °C donde se han laminado en 5 pases con una tasa de reducción acumulada ϵ_b del 60%, refrigeradas después a continuación hasta la temperatura ambiente con una velocidad de 80 °C/s de forma que se obtenga una microestructura completamente martensítica. Por comparación, unas chapas de aceros de composición posterior se han calentado y mantenido 30 minutos a 1.250 °C, refrigeradas después por temple al agua de forma que se obtenga una microestructura completamente martensítica (tratamiento de referencia).

[0055] Por medio de ensayos de tracción, se ha determinado el límite de elasticidad R_e , la resistencia a la ruptura R_m , y el alargamiento total A de las chapas obtenidas por estos modos de fabricación diferentes. Se ha hecho figurar igualmente el valor estimado de la resistencia después del temple martensítico simple (3220%(C)+908) (MPa) así como la diferencia ΔR_m entre este valor estimado y la resistencia efectivamente medida.

[0056] Se ha observado igualmente la microestructura de las chapas obtenidas por Microscopía Electrónica de Barrido por medio de un cañón de efecto de campo (técnica «MEB-FEG») y detector EBSD y cuantificado el tamaño medio de los listones de la estructura martensítica así como su factor de alargamiento medio $\frac{l_{\max}}{l_{\min}}$.

[0057] Los resultados de estas diferentes caracterizaciones se presentan a continuación. Los ensayos A1 y A2 designan unos ensayos realizados sobre la composición de acero A en dos condiciones diferentes, el ensayo B1 se ha realizado a partir de la composición de acero B.

Condiciones de ensayos y resultados mecánicos obtenidos

	Ensayo	Temperatura T_3 (°C)	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%)	3220 %C+908 (MPa)	ΔR_m (MPa)	Tamaño medio de listones (μm)	$\frac{l_{max}}{l_{min}}$
Invención	A1	550	1588	1889	5,9	1536	353	0,9	3
	B1	550	1572	1986	6,5	1681	306	0,8	4
Referencia	A2	Sin	1223	1576	6,9	1536	40	2	7

Valores subrayados: no conformes a la invención

[0058] La figura 1 presenta la microestructura obtenida en el caso del ensayo A1. Por comparación, la figura 2 presenta la microestructura del mismo acero simplemente calentado a 1.250 °C, mantenido 30 minutos a esta temperatura y templado a continuación al agua (ensayo A2). El procedimiento según la invención permite obtener una martensita con un tamaño medio de listones netamente más fino y menos alargados que en la estructura de referencia.

[0059] En el caso del ensayo A2 (temple martensítico simple), se observa que el valor de la resistencia estimado (1.536 MPa) a partir de la expresión (1) es próximo al determinado experimentalmente (1.576 MPa).

[0060] En los ensayos A1 y B1 según la invención, los valores de ΔR_m son de 353 y de 306 MPa respectivamente. El procedimiento según la invención permite obtener por tanto unos valores de resistencia mecánica netamente superiores a los que se obtendrían por un temple martensítico simple. Este aumento de resistencia (353 ó 306 MPa) es equivalente al que se obtendría, se acuerdo con la relación (1) por un temple martensítico simple aplicado a unos aceros en los cuales se habría realizado una adición suplementaria del 0,11% o del 0,09% aproximadamente. Tal aumento del contenido en carbono tendría no obstante unas consecuencias nefastas con respecto a la soldabilidad y la tenacidad, mientras que el procedimiento según la invención permite alcanzar unos valores muy altos de resistencia mecánica sin estos inconvenientes.

[0061] Las chapas fabricadas según la invención debido a su contenido en carbono más reducido, presentan una buena capacidad para la soldadura por los procedimientos usuales, en particular para la soldadura por resistencia por puntos.

[0062] Unos tratamientos térmicos de revenido e han realizado a continuación en diferentes condiciones de temperatura y de duración sobre el acero en la condición B1 anterior: para una temperatura que va hasta 600 °C y una duración que va hasta 30 minutos, el tamaño medio de listones martensíticos permanece inferior a 1,2 micrómetros.

30 Ejemplo 2:

[0063] Se han suministrado unos cuerpos de acero de espesor 3 mm de composición siguiente, expresada en contenidos ponderales (%):

Acero	C	Mn	Si	Cr	Mo	Al	S	P	Nb	0,5Mn+Cr+3 Mo
B	0,24	1,99	0,01	1,86	0,008	0,027	0,003	0,02	0,008	2,88

[0064] Los cuerpos se han sometido a un calentamiento a 1.000 °C (o Ac_3+210 °C aproximadamente) durante 5 minutos. Estos han sido a continuación:

- o refrigerados a 50 °C/s hasta la temperatura T_3 de 525 °C, embutidos después a esta temperatura con una deformación equivalente $\mathcal{E}_C$ superior al 50% y, por último, refrigerados a una velocidad superior a la velocidad crítica de temple martensítico (ensayo B2)
- o refrigerados a 50 °C/s hasta la temperatura de 525 °C, refrigerados después a una velocidad superior a la velocidad crítica de temple martensítico (ensayo B3).

[0065] La tabla a continuación presenta las propiedades mecánicas obtenidas:

Condiciones de ensayos y resultados mecánicos obtenidos

	Ensayo	Temperatura T ₃ (°C)	Re (MPa)	Rm (MPa)	3220 %C+908 (MPa)	\u0394Rm (MPa)	Tamaño medio de listones (\u00b5m)	$\frac{\text{max}}{\text{min}}$
Invencci3n	B2	525	1531	1912	1681	299	0,9	3
Referencia	B3	-	1320	1652	1681	29	1,8	5
Valores subrayados: no conformes a la invenci3n								

[0066] La figura 3 presenta la microestructura obtenida en la condici3n B3 seg3n la invenci3n, caracterizada por un tama1o medio de listones muy fino (0,9 micr3metros) y un factor reducido de alargamiento.

5

[0067] As3, la invenci3n permite la fabricaci3n de chapas o de piezas desnudas o revestidas, de muy altas caracter3sticas mec3nicas, en unas condiciones econ3micas muy satisfactorias.

[0068] Estas chapas o estas piezas se utilizar3n con beneficio para la fabricaci3n de piezas de seguridad y, especialmente, de piezas anti-intrusi3n o de basamento, de barras de refuerzo, de montantes, para la construcci3n de veh3culos autom3viles.

10

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fabricación de una chapa de acero de estructura totalmente martensítica, que presenta un tamaño medio de listones inferior a 1 micrómetro, estando comprendido el factor de alargamiento medio de dichos listones entre 2 y 5, entendiéndose que el factor de alargamiento de un listón de dimensión máxima l_{max} y mínima l_{min} está definido por $\frac{l_{max}}{l_{min}}$, con límite de elasticidad superior a 1.300 MPa, de resistencia mecánica superior a (3220(C)+958) megapascals, entendiéndose que (C) designa el contenido en carbono en porcentaje ponderal de dicho acero, comprendiendo las etapas sucesivas y en este orden según las cuales:

10 - se suministra un semi-producto de acero cuya composición comprende, estando expresados los contenidos en peso,

$$\begin{aligned} 0,15\% \leq C \leq 0,40\% \\ 1,5\% \leq Mn \leq 3\% \\ 0,005\% \leq Si \leq 2\% \\ 0,005\% \leq Al \leq 0,1\%, \\ 1,8\% \leq Cr \leq 4\% \\ 0\% \leq Mo \leq 2\% \end{aligned}$$

20 entendiéndose que

$$\begin{aligned} 2,7\% \leq 0,5 (Mn) + (Cr) + 3(Mo) \leq 5,7\% \\ S \leq 0,05\% \\ P \leq 0,1\%, \end{aligned}$$

25 y opcionalmente:

$$\begin{aligned} 0\% \leq Nb \leq 0,050\% \\ 0,01\% \leq Ti \leq 0,1\% \\ 0,0005\% \leq B \leq 0,005\%, \\ 0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%, \end{aligned}$$

estando constituido el resto de la composición de hierro y de impurezas inevitables que resultan de la elaboración,

35 - se recalienta dicho semi-producto a una temperatura T_1 comprendida entre 1.050 °C y 1.250 °C, a continuación
- se efectúa un laminado de desbastado de dicho semi-producto recalientado, a una temperatura T_2 comprendida entre 1.000 y 880 °C, con una tasa de reducción ϵ_a acumulada superior al 30% de forma que se obtenga una chapa con una estructura austenítica completamente recrystalizada de tamaño medio de grano inferior a 40 micrómetros y, preferentemente, a 5 micrómetros, entendiéndose que dicha tasa de

40 reducción acumulada ϵ_a se define por: $Ln \frac{e_{ia}}{e_{fa}}$, designando e_{ia} el espesor del semi-producto antes de dicho laminado en caliente de desbastado y e_{fa} el espesor de la chapa después de dicho laminado de desbastado, a continuación

- se refrigera no completamente dicha chapa hasta una temperatura T_3 comprendida entre 600 °C y 400 °C en el dominio austenítico metaestable, a una velocidad V_{R1} superior a 2 °C/s, a continuación
- se efectúa un laminado en caliente de acabado a dicha temperatura T_3 , de dicha chapa no completamente refrigerada, con una tasa de reducción acumulada ϵ_b superior al 30% de forma que se obtenga una chapa,

$$\ln \frac{e_{ib}}{e_{fb}},$$

- 5 entendiéndose que dicha tasa de reducción acumulada ϵ_b se define por:
- se refrigera dicha chapa a una velocidad V_{R2} superior a la velocidad crítica de temple martensítico.

- 10 2. Procedimiento de fabricación de una pieza de acero de estructura totalmente martensítica, que presenta un tamaño medio de listones inferior a 1 micrómetro, estando comprendido el factor de alargamiento medio de dichos listones entre 2 y 5, entendiéndose que el factor de alargamiento de un listón de dimensión máxima l_{max} y

mínima l_{min} está definido por $\frac{l_{max}}{l_{min}}$, comprendiendo las etapas sucesivas y en este orden según las cuales:

- 15 - se suministra un cuerpo de acero cuya composición comprende, estando expresados los contenidos en peso,

$$0,15\% \leq C \leq 0,40\%$$

$$1,5\% \leq Mn \leq 3\%$$

20 $0,005\% \leq Si \leq 2\%$

$$0,005\% \leq Al \leq 0,1\%,$$

$$1,8\% \leq Cr \leq 4\%$$

$$0\% \leq Mo \leq 2\%$$

entendiéndose que

25 $2,7\% \leq 0,5 (Mn) + (Cr) + 3(Mo) \leq 5,7\%$

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

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

30 opcionalmente:

$$0\% \leq Nb \leq 0,050\%$$

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

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

35 $0,0005\% \leq Ca \leq 0,005\%,$

estando constituido el resto de la composición de hierro y de impurezas inevitables que resultan de la elaboración,

- se calienta dicho cuerpo a una temperatura T_1 comprendida entre A_{C3} y $A_{C3}+250$ °C de tal modo que el tamaño medio de grano austenítico sea inferior a 40 micrómetros y, preferentemente, a 5 micrómetros, a

- continuación
- se transfiere dicho cuerpo calentado en el seno de una prensa de embutición en caliente o de un dispositivo de conformación en caliente, a continuación
 - se refrigera dicho cuerpo hasta una temperatura T_3 comprendida entre 600 °C y 400 °C, a una velocidad V_{R1} superior a 2 °C/s de forma que se evite una transformación de la austenita,
 - pudiendo ser intercambiado el orden de las dos últimas etapas, a continuación
 - se embute o se conforma en caliente a dicha temperatura T_3 dicho cuerpo refrigerado, de una cantidad $\overline{\epsilon_C}$ superior al 30% en al menos una zona, para obtener una pieza, entendiéndose que dicha cantidad $\overline{\epsilon_C}$ está definida por $\overline{\epsilon_C} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{(\epsilon_1^2 + \epsilon_1 \epsilon_2 + \epsilon_2^2)}$, donde ϵ_1 y ϵ_2 son las deformaciones principales acumuladas sobre el conjunto de las etapas de deformación a la temperatura T_3 , a continuación
 - se refrigera dicha pieza a una velocidad V_{R2} superior a la velocidad crítica de temple martensítico.
- 5
- 10
3. Procedimiento de fabricación de una pieza según la reivindicación 2, **caracterizado porque** dicho cuerpo está embutido en caliente de forma que se obtenga una pieza, después dicha pieza se mantiene en el seno de las herramientas de embutición de forma que se refrigere dicha pieza a una velocidad V_{R2} superior a la velocidad crítica de temple martensítico.
- 15
4. Procedimiento de fabricación de una pieza de acero según cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 3, **caracterizado porque** dicho cuerpo está pre-revestido de aluminio o de una aleación a base de aluminio.
- 20
5. Procedimiento de fabricación de una pieza de acero según cualquiera de las reivindicaciones de 2 a 4, **caracterizado porque** dicho cuerpo está pre-revestido de cinc o de una aleación a base de cinc.
- 25
6. Procedimiento de fabricación de una chapa o de una pieza de acero según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 5, **caracterizado porque** se somete dicha chapa o dicha pieza a un tratamiento térmico posterior de revenido a una temperatura T_4 comprendida entre 150 y 600 °C durante una duración comprendida entre 5 y 30 minutos.
- 30
7. Chapa de límite de elasticidad superior a 1.300 MPa de acero, de resistencia mecánica superior a (3220(C)+958) megapascuales, entendiéndose que (C) designa el contenido en carbono en porcentaje ponderal de dicho acero, obtenido por un procedimiento según la reivindicación 1, de estructura totalmente martensítica, que presenta un tamaño medio de listones inferior a 1 micrómetro, estando comprendido el factor de alargamiento medio de dichos listones entre 2 y 5.
- 35
8. Pieza de acero obtenida por un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones de 2 a 5, que consta al menos de una zona de estructura totalmente martensítica que presenta un tamaño medio de listones inferior a 1 micrómetro, estando comprendido el factor de alargamiento medio de dichos listones entre 2 y 5, siendo el límite de elasticidad en al menos una de dichas zonas superior a 1.300 MPa y siendo la resistencia mecánica superior a (3220(C)+958) megapascuales, entendiéndose que (C) designa el contenido en carbono en porcentaje ponderal de dicho acero.
- 40
9. Chapa o pieza de acero obtenida por un procedimiento según la reivindicación 6, de estructura totalmente martensítica, que presenta en al menos una zona un tamaño medio de listones inferior a 1,2 micrómetros, estando comprendido el factor de alargamiento medio de dichos listones entre 2 y 5.
- 45

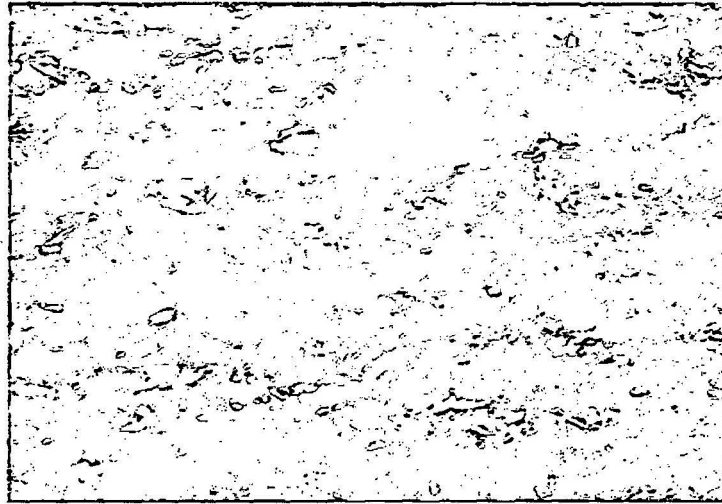


Fig. 1

20 μ m

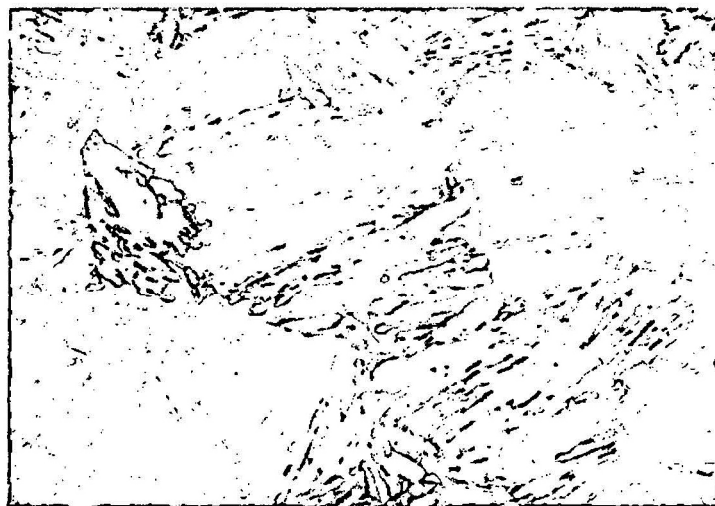


Fig. 2

20 μ m

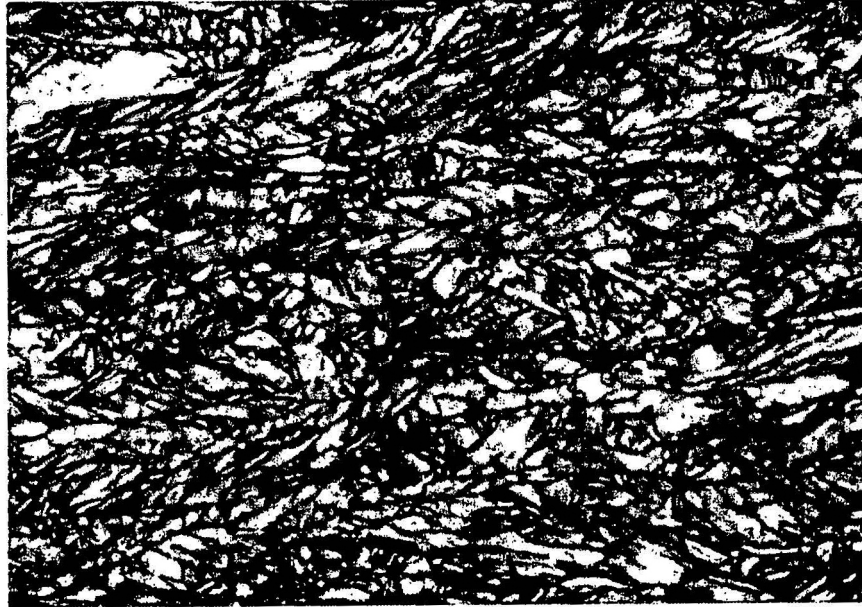


Fig. 3

10 μm