



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 356 186**

51 Int. Cl.:

**C21D 8/02** (2006.01)

**C21D 8/04** (2006.01)

**C22C 38/00** (2006.01)

**C22C 38/04** (2006.01)

**C22C 38/06** (2006.01)

**C21D 6/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08805524 .9**

96 Fecha de presentación : **29.04.2008**

97 Número de publicación de la solicitud: **2155916**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.02.2010**

54

Título: **Acero de baja densidad que presenta un buen comportamiento en la embutición.**

30

Prioridad: **16.05.2007 EP 07290624**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**05.04.2011**

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**05.04.2011**

73

Titular/es: **ARCELORMITTAL FRANCE**  
**1- 5, rue Luigi Cherubini**  
**93200 Saint Denis, FR**

72

Inventor/es: **Perlade, Astrid;**  
**Garat, Xavier;**  
**Uriarte, Jean-Louis;**  
**Bouaziz, Olivier y**  
**Drillet, José**

74

Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

**ES 2 356 186 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

Acero de baja densidad que presenta un buen comportamiento en la embutición.

5 La invención se refiere a una chapa ferrítica de acero laminada en caliente o en frío, con una resistencia superior a los 400 MPa y una densidad inferior a 7,3 aproximadamente, así como a su procedimiento de fabricación.

La disminución de la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida por los vehículos automóviles pasa particularmente por la disminución de peso de los vehículos automóviles. Esta disminución de peso puede ser realizada:

- gracias a un aumento de las características mecánicas de los aceros que constituyen las piezas estructurales o las piezas superficiales, o
- 10 - a características mecánicas dadas, gracias a una reducción de la densidad de los aceros.

- La primera vía es objeto de numerosas investigaciones, los aceros cuya resistencia mecánica va de 800 MPa a más de 1000 MPa han sido propuestos por la industria siderúrgica. La densidad de estos aceros permanece sin embargo próxima a 7,8, que es la densidad de los aceros convencionales.

15 - Una segunda vía pasa por la adición de elementos susceptibles de reducir la densidad de los aceros (como los aceros descritos en GB-A-1044801, JP-A-2001-271148 o JP-A-04-056748): La patente EP1485511 describe así aceros que comprenden adiciones de silicio (2-10%) y aluminio (1-10%) de microestructura ferrítica y que contienen igualmente fases carburadas.

Sin embargo, el contenido en silicio relativamente elevado de estos aceros puede plantear en algunos casos problemas de revestimiento y de ductilidad.

20 Se conocen por otro lado aceros que contienen una adición de aproximadamente un 8% de aluminio: se pueden sin embargo encontrar dificultades en la fabricación de estos aceros, en particular en el laminado en frío. Se pueden igualmente encontrar problemas de arrugado en la embutición de estos aceros. Cuando estos contienen más de un 0,010% C, una precipitación de fases carburadas puede aumentar la fragilidad. La utilización de tales aceros para la fabricación de piezas estructurales es entonces imposible.

25 El fin de la invención es proponer chapas de acero laminadas en caliente o en frío que presenten simultáneamente:

- una densidad inferior a 7,3 aproximadamente
- una resistencia R<sub>m</sub> superior a 400MPa
- un buen comportamiento en la deformación, en particular en el laminado y una excelente resistencia al arrugado,
- 30 - una buena soldabilidad y un buen revestimiento.

El fin de la invención es igualmente proponer un procedimiento de fabricación compatible con las instalaciones industriales usuales.

35 A este respecto, la invención tiene por objeto una chapa ferrítica laminada en caliente de acero cuya composición comprende, expresándose los contenidos en peso: 0,001 ≤ C ≤ 0,15%, Mn ≤ 1%, Si ≤ 1,5%, 6% ≤ Al ≤ 10%, 0,020% ≤ Ti ≤ 0,5%, S ≤ 0,050%, P ≤ 0,1% y, a título opcional, uno o varios elementos seleccionados entre: Cr ≤ 1%, Mo ≤ 1%, Ni ≤ 1%, Nb ≤ 0,1%, V ≤ 0,2%, B ≤ 0,01%, estando constituido el resto de la composición por hierro e impurezas inevitables resultantes de la elaboración, siendo el tamaño medio de grano de ferrita d<sub>V</sub> medido sobre una superficie perpendicular a la dirección transversal con relación al laminado inferior a 100 micrómetros.

40 La invención tiene igualmente por objeto una chapa ferrítica laminada en frío y recocida en acero con la composición indicada anteriormente, caracterizada porque su estructura está constituida por ferrita equiaxial cuyo tamaño medio de grano d<sub>α</sub> es inferior a 50 micrómetros, y porque la fracción lineal f de precipitados K intergranulares es inferior al 30%, estando definida la fracción lineal f por:

45 
$$f = \frac{\sum_{(S)} d_i}{\sum_{(S)} L_i},$$
 designando  $\sum_{(S)} d_i$  la longitud total de las juntas de grano que comprenden precipitados K con relación a una superficie (S) considerada, designando  $\sum_{(S)} L_i$  la longitud total de las juntas de granos con relación a la superficie (S) considerada.

50 Según un modo particular, la composición comprende: 0,001% ≤ C ≤ 0,010%, Mn ≤ 0,2%.

Según un modo preferido, la composición comprende: 0,010% < C ≤ 0,15%, 0,2% < Mn ≤ 1%.

Preferentemente, la composición comprende: 7,5 % ≤ Al ≤ 10%.

Muy preferentemente, la composición comprende: 7,5% ≤ Al ≤ 8,5%.

El contenido en carbono en solución sólida es preferentemente inferior al 0,005% en peso.

55 Según un modo preferido, la resistencia de la chapa es superior o igual a 400MPa.

A título preferencial, la resistencia de la chapa es superior o igual a 600MPa. La invención tiene igualmente por objeto un procedimiento de fabricación de una chapa de acero laminada en caliente según el cual se obtiene de un acero con una composición según unas de las composiciones indicadas anteriormente, se cuela el acero en forma de semiproducto que se lleva a una temperatura superior o igual a 1150°C. Se lamina en caliente el semiproducto para obtener una chapa, gracias a al menos dos etapas de laminado realizadas a temperaturas superiores a 1050°C, siendo el porcentaje de reducción de cada una de las etapas superior o igual al 30%, siendo el tiempo que pasa entre cada una de las etapas de laminado, y la etapa de laminado siguiente, superior o igual a 10 s. Se termina el laminado a una temperatura  $T_{FL}$  superior o igual a 900°C, se refrigera la chapa de tal forma que el intervalo de tiempo  $t_p$  que pasa entre los 850 y los 700°C sea superior a 3 s, para obtener una precipitación de precipitados K, luego se bobina la chapa a una temperatura  $T_{bob}$  comprendida entre los 500 y los 700°C.

Según un modo particular, la colada se realiza directamente en forma de desbastes finos o de bandas finas entre cilindros contra-rotativos.

La invención tiene igualmente por objeto un procedimiento de fabricación de chapa de acero laminada en frío y recocida según el cual se obtiene una chapa de acero laminada en caliente fabricada según uno de los modos indicados anteriormente, luego se lamina en frío la chapa con un porcentaje de reducción comprendido entre un 30 y un 90%, con el fin de obtener una chapa laminada en frío. Se calienta seguidamente la chapa laminada en frío a una temperatura  $T'$  con una velocidad  $V_c$  superior a 3°C/s, luego se refrigera la chapa a una velocidad  $V_R$  inferior a 100°C/s, seleccionándose la temperatura  $T'$  y la velocidad  $V_R$  con el fin de obtener una recristalización completa, una fracción lineal  $f$  de precipitados intergranulares K inferior al 30% y un contenido en carbono en solución sólida inferior al 0,005% en peso.

Se calienta preferentemente la chapa laminada en frío a una temperatura  $T'$  comprendida entre 750 y 950°C.

Según un modo particular de fabricación de una chapa laminada en frío y recocida, se obtiene de una chapa de composición:  $0,010\% < C \leq 0,15\%$ ,  $0,2\% < Mn \leq 1\%$ ,  $Si \leq 1,5\%$ ,  $6\% \leq Al \leq 10\%$ ,  $0,020\% \leq Ti \leq 0,5\%$ ,  $S \leq 0,050\%$ ,  $P \leq 0,1\%$  y, a título opcional, uno o varios elementos seleccionados entre:  $Cr \leq 1\%$ ,  $Mo \leq 1\%$ ,  $Ni \leq 1\%$ ,  $Nb \leq 0,1\%$ ,  $V \leq 0,2\%$ ,  $B \leq 0,01\%$ , estando constituido el resto de la composición por hierro e impurezas inevitables resultantes de la elaboración, y se calienta la chapa laminada en frío a una temperatura  $T'$  seleccionada con el fin de evitar la disolución de precipitados K.

Según un modo particular, se obtiene una chapa con la composición anteriormente indicada y se calienta la chapa laminada en frío a una temperatura  $T'$  comprendida entre los 750 y los 800°C.

La invención tiene igualmente por objeto la utilización de chapas de acero según uno de los modos indicados anteriormente o fabricadas según uno de los modos indicados anteriormente para la fabricación de piezas superficiales o de piezas estructurales en el ámbito del automóvil.

Otras características y ventajas de la invención aparecerán en el transcurso de la descripción dada a continuación, facilitada a título de ejemplo y realizada con referencia a las figuras adjuntas según las cuales:

- La figura 1 define esquemáticamente la fracción lineal  $f$  de juntas de granos ferríticos que comprenden una precipitación intergranular.
- La figura 2 presenta la microestructura de una chapa de acero laminada en caliente según la invención.
- La figura 3 presenta la microestructura de una chapa de acero laminada en caliente fabricada según condiciones que no son las de la invención
- Las figuras 4 y 5 ilustran la microestructura de dos chapas laminadas en frío y recocidas según la invención.
- La figura 6 presenta la microestructura de una chapa de acero laminada en frío y recocida fabricada según condiciones que no están de acuerdo con la invención.

La presente invención se refiere a aceros que presentan una densidad reducida, inferior a 7,3 aproximadamente, manteniendo características de uso satisfactorias.

La invención se refiere particularmente a un procedimiento de fabricación que permite controlar la precipitación de carburos intermetálicos, la microestructura y la textura en aceros que comprenden particularmente combinaciones particulares de carbono, aluminio y titanio.

En lo que respecta a la composición química del acero, el carbono juega un papel importante en la formación de la microestructura y sobre las propiedades mecánicas:

- Según la invención, el contenido en carbono se encuentra comprendido entre un 0,001% y un 0,15%: por debajo de 0,001%, no se puede obtener un endurecimiento significativo. Cuando el contenido en carbono es superior al 0,15%, el comportamiento al laminado en frío de los aceros es bajo.

- Cuando el contenido en manganeso excede el 1%, existe un riesgo de estabilización de la austenita residual a temperatura ambiente debido al carácter gamágeno de este elemento. Los aceros según la invención tienen una microestructura ferrítica a temperatura ambiente. Diferentes modos particulares de la invención pueden ser utilizados, en función del contenido en carbono y en manganeso del acero.

5 - Cuando el contenido en carbono se encuentra comprendido entre 0,001 y 0,010% y cuando el contenido en manganeso es inferior o igual al 0,2%, la resistencia  $R_m$  mínima obtenida es de 400MPa.

10 - Cuando el contenido en carbono es superior al 0,010% e inferior o igual al 0,15%, y cuando el contenido en manganeso es superior al 0,2% e inferior o igual al 1%, la resistencia mínima obtenida es de 600 MPa. En de las gamas de contenidos en carbono presentadas anteriormente, los inventores han evidenciado que este elemento contribuía a un endurecimiento importante mediante una precipitación de carburos (TiC o precipitados kappa) y mediante un afinamiento del grano ferrítico. La adición de carbono solo conduce a una pequeña pérdida de ductilidad si la precipitación de carburos no es intergranular o si el carbono no se encuentra en solución sólida.

Dentro de estas gamas de composición, el acero tiene una matriz ferrítica a cualquier temperatura durante el ciclo de fabricación, es decir desde la solidificación a partir de la colada.

15 - Con el mismo grado que el aluminio, el silicio es un elemento que permite reducir la densidad del acero. Sin embargo, una adición excesiva de silicio más allá del 1,5%, provoca la formación de óxidos fuertemente adherentes y la aparición eventual de defectos de superficie, que conducen particularmente a una falta de humectabilidad en las operaciones de galvanización al temple. Además, esta adición excesiva disminuye la ductilidad.

20 - El aluminio es un elemento importante de la invención: cuando su contenido es inferior al 6% en peso, una reducción suficiente de la densidad no puede ser obtenida. Cuando su contenido es superior al 10%, existe un riesgo de formación de fases intermetálicas fragilizantes  $Fe_3Al$  y  $FeAl$ .

Preferentemente, el contenido en aluminio se encuentra comprendido entre un 7,5 y un 10%: dentro de esta gama, la densidad de la chapa es inferior a 7,1 aproximadamente.

25 - Preferentemente, el contenido en aluminio se encuentra comprendido entre un 7,5 y un 8,5%: dentro de esta gama, se obtiene un aligeramiento satisfactorio sin disminución de la ductilidad.

30 - El acero contiene igualmente un contenido mínimo en titanio del 0,020% que contribuye a limitar el contenido en carbono en solución sólida en cantidad inferior al 0,005% en peso, gracias a una precipitación de TiC. El carbono en solución sólida tiene un efecto nefasto sobre la ductilidad debido a que reduce la movilidad de las dislocaciones. Más allá del 0,5% de titanio, la precipitación de carburos de titanio interviene en cantidad demasiado importante, y la ductilidad es reducida.

- Una adición eventual de boro limitada al 0,010% contribuye igualmente a una reducción del carbono en solución sólida.

- El contenido en azufre es inferior al 0,050% con el fin de limitar una precipitación eventual de TiS que disminuiría la ductilidad.

35 - Por razones de ductilidad en caliente, el contenido en fósforo se limita igualmente al 0,1%.

A título opcional, el acero puede igualmente contener, solos o en combinación:

- cromo, molibdeno o níquel en cantidad inferior o igual al 1%. Estos elementos aportan un endurecimiento complementario por solución sólida.

40 - Elementos de micro-aleación, como el niobio y el vanadio en cantidad respectivamente inferior al 0,1 y 0,2% en peso, pueden ser añadidos para obtener un endurecimiento complementario por precipitación.

El resto de la composición está constituido por hierro e impurezas inevitables que resultan de la elaboración.

45 - La estructura de los aceros según la invención comprende una distribución homogénea de granos ferríticos fuertemente desorientados: la desorientación fuerte entre granos próximos permite evitar el defecto de arrugado: este defecto se caracteriza, durante la conformación en frío de chapas, por la aparición localizada y prematura de franjas según el sentido de laminado, formando un relieve. Este fenómeno se debe a la presencia de grupos de granos recristalizados y débilmente desorientados, pues proceden de un mismo grano original antes de la recristalización. Una estructura sensible al arrugado se caracteriza por una distribución espacial de textura.

50 - Cuando el fenómeno de arrugado se encuentra presente, las propiedades mecánicas en sentido transversal (particularmente el alargamiento uniforme) y el comportamiento en la conformación se reducen fuertemente. Los aceros según la invención no presentan sensibilidad al arrugado en la conformación, debido a su textura favorable.

Según una forma de la invención, la microestructura a temperatura ambiente de los aceros está constituida por una matriz de ferrita equiaxial cuyo tamaño de grano medio es inferior a 50 micrómetros. El aluminio se encuentra mayoritariamente en solución sólida en esta matriz a base de hierro. Estos aceros contienen precipitados kappa (« K ») que son una fase intermetálica ternaria  $Fe_3AlC_x$ . La presencia de estos precipitados en la matriz ferrítica conduce a un endurecimiento importante. Estos precipitados K no deben sin embargo estar presentes en forma de una precipitación intergranular acusada so pena de una reducción importante de la ductilidad: los inventores han evidenciado que la ductilidad se reducía cuando la fracción lineal de juntas de granos ferríticos que presentan una precipitación K, era superior o igual al 30%. La definición de esta fracción lineal f se facilita en la figura 1: Si se considera un grano particular cuyo contorno está limitado por juntas de granos sucesivos de longitud  $L_1, L_2, \dots, L_i$ , las observaciones por microscopía muestran que este grano puede comprender precipitados K a lo largo de las juntas en una extensión  $d_1, \dots, d_i$ . Considerando una superficie (S) estadísticamente representativa de la microestructura, por ejemplo compuesta por más de 50 granos, se define la fracción lineal que comprende precipitados K por la expresión f:

$$f = \frac{\sum_{(S)} d_i}{\sum_{(S)} L_i}$$

15  $\sum_{(S)} d_i$  designa la longitud total de las juntas de granos que comprenden precipita-

dos K, en relación con la superficie (S) considerada.

$$\sum_{(S)} L_i$$

representa la longitud total de las juntas

de granos en relación con la superficie (S) considerada.

20 La expresión f traduce por consiguiente el porcentaje de recubrimiento de las juntas de granos ferríticos mediante una precipitación K.

Según otra forma de la invención, el grano ferrítico no es equiaxial pero su tamaño medio  $d_{IV}$  es inferior a 100 micrómetros.  $d_{IV}$  designa el tamaño de grano medido por el método de interceptos lineales en una superficie (S) representativa perpendicular a la dirección transversal con relación al laminado. La medición de  $d_{IV}$  se realiza según la dirección perpendicular al espesor de la chapa. Esta morfología de grano no equiaxial, que presenta un alargamiento en el sentido del laminado, puede estar por ejemplo presente en chapas de acero laminadas en caliente según la invención.

La realización del procedimiento de fabricación de una chapa laminada en caliente según la invención es la siguiente:

- Se obtiene de un acero con la composición según la invención.

30 - Se procede a la colada de un semiproducto a partir de este acero. Esta colada puede ser realizada en lingotes, o en continuo en forma de desbastes con espesor del orden de los 200 mm. Se puede igualmente realizar la colada en forma de desbastes delgados de algunas decenas de milímetros de espesor, o de bandas finas, entre cilindros de acero contra-rotativos. Este modo de fabricación en forma de productos delgados es particularmente ventajoso, pues permite obtener más fácilmente una estructura fina que favorece la realización de la invención como se verá más adelante. Por medio de sus conocimientos generales, el experto en la materia sabrá determinar las condiciones de colada que cumplan a la vez la necesidad de obtener una estructura fina y equiaxial después de la colada, y la de cumplir las exigencias usuales de una colada industrial.

40 Los semiproductos colados son primeramente llevados a una temperatura superior a los 1150°C para alcanzar en cualquier punto una temperatura favorable a las deformaciones elevadas que va a experimentar el acero en las diferentes etapas de laminado.

Naturalmente, en el caso de una colada directa de desbastes delgados o de bandas delgadas entre cilindros contra-rotativos, la etapa de laminado en caliente de estos semiproductos que comienza a más de 1150°C puede realizarse directamente después de la colada si bien una etapa de recalentamiento intermedia no es necesaria en este caso.

45 Como consecuencia de numerosos ensayos, los inventores han evidenciado que era posible evitar el problema de arrugado y obtener una embutibilidad muy buena y una buena ductilidad, por medio del procedimiento de fabricación que comprende las etapas siguientes:

50 - Se lamina en caliente el semiproducto para obtener una chapa, mediante una sucesión de etapas de laminado. Cada una de las etapas corresponde a una reducción del espesor del producto por el paso por el seno de los cilindros del laminador. En estas condiciones industriales, estas etapas se realizan en el desbastado del semiproducto en un tren de bandas. El porcentaje de reducción asociado en cada una de estas etapas está definido por:  $(\text{espesor del semiproducto después de la etapa de laminado} - \text{espesor antes del laminado}) / (\text{espesor antes del$

laminado). Según la invención, al menos dos de estas etapas se realizan a temperaturas superiores a los 1050°C, el porcentaje de reducción de cada una de ellas es superior o igual al 30%. El intervalo de tiempo  $t_i$  entre cada una de las deformaciones de porcentaje superior al 30% y la deformación ulterior es superior o igual a 10 s con el fin de obtener una recristalización total al inicio de este intervalo de tiempo  $t_i$ . Los inventores han evidenciado que esta combinación particular de condiciones conducía a un afinamiento muy importante de la estructura en caliente. Se promovió así una recristalización gracias a temperaturas de laminado superiores a la temperatura de no-recristalización  $T_{nr}$ .

Los inventores han evidenciado igualmente que una estructura inicial fina, tal como la obtenida después de una colada directa, era favorable para acelerar la recristalización.

10 - Se termina el laminado a una temperatura  $T_{FL}$  superior o igual a los 900°C, con el fin de obtener una recristalización completa.

15 - Se refrigera seguidamente la chapa obtenida: los inventores han evidenciado que una precipitación particularmente eficaz de precipitados K y de carburos TiC se obtenía cuando el intervalo de tiempo  $t_p$  que transcurría en la refrigeración entre 850 y 700°C era superior a 3 s. Se obtiene de este modo una precipitación intensa favorable para el endurecimiento.

- Se bobina seguidamente la chapa a una temperatura  $T_{bob}$  comprendida entre 500 y 700°C. Esta etapa consigue la precipitación de TiC.

20 En esta fase, se obtiene así una chapa laminada en caliente cuyo espesor va por ejemplo de 2 a 6 mm. Si se desea fabricar una chapa con espesor más bajo, por ejemplo de 0,6 a 1,5 mm, el procedimiento de fabricación es el siguiente:

- Se obtiene una chapa laminada en caliente, fabricada según el procedimiento descrito anteriormente. Naturalmente, si el estado superficial de la chapa lo exige, se realizará un decapado por medio de un procedimiento conocido en sí.

25 - Se realiza seguidamente un laminado en frío, estando comprendido el porcentaje de reducción entre un 30 y un 90%.

- Se calienta seguidamente la chapa laminada en frío con una velocidad de recalentamiento  $V_c$  superior a 3°C/s, esto con el fin de evitar una restauración que disminuiría la capacidad a la recristalización ulterior. El recalentamiento se realiza hasta una temperatura de recocido  $T'$  que se elegirá con el fin de obtener una recristalización completa de la estructura inicial fuertemente batida.

30 Se refrigera seguidamente la chapa a una velocidad  $V_R$  inferior a 100°C/s con el fin de no provocar una eventual fragilización por un exceso de carbono en solución sólida. Este resultado es particularmente sorprendente en la medida en que se podía pensar que una velocidad de refrigeración rápida sería favorable para reducir una precipitación fragilizante. Ahora bien, los inventores han evidenciado que una refrigeración lenta, a una velocidad de refrigeración inferior a los 100°C/s, conducía a una precipitación importante de carburos que reducía así el contenido en carbono en solución sólida: esta precipitación tiene por efecto aumentar la resistencia sin consecuencia nefasta en la ductilidad.

35 Se elegirá la temperatura de recocido  $T'$  y la velocidad  $V_R$  con el fin de obtener en el producto final:

- Una recristalización completa
- Una fracción lineal  $f$  de precipitados intergranulares K inferior al 30%.
- 40 - Un contenido en carbono en solución sólida inferior al 0,005%.

Se elegirá preferentemente una temperatura  $T'$  comprendida entre 750 y 950°C para obtener una recristalización completa.

45 Más particularmente, cuando el contenido en carbono es superior al 0,010 % e inferior o igual al 0,15% y cuando el contenido en manganeso es superior al 0,2% e inferior o igual al 1%, se elegirá la temperatura  $T'$  con el fin de evitar además la disolución de precipitados K presentes antes del recocido. En efecto, si estos precipitados se disuelven, la precipitación ulterior en la refrigeración lenta se producirá en forma intergranular fragilizante: una temperatura de recocido demasiado importante conduciría a la redisolución de los precipitados K formados en la fabricación de la chapa laminada en caliente y disminuiría la resistencia mecánica. Con este fin, se elegirá preferentemente una temperatura  $T'$  comprendida entre 750 y 800°C.

50 A título de ejemplo no limitativo, los resultados siguientes mostrarán las características ventajosas conferidas por la invención.

## Ejemplo 1: Chapas laminadas en caliente

Se elaboraron aceros por colada en forma de semiproductos con espesor de 50 mm aproximadamente. Sus composiciones, expresadas en porcentaje ponderal, figuran en la tabla 1 dada a continuación.

Referencia	C	Si	Mn	Al	Ti	Cr	Mo	Ni	S	P	Nb
I1	0,005	0,013	0,108	8,55	0,096	0,007	0,025	0,005	0,012	0,016	0,004
I2	0,009	0,013	0,108	8,5	0,097	0,008	0,027	0,005	0,013	0,016	0,005
I3	0,080	0,275	0,485	8,24	0,096	0,009	0,026	0,005	0,012	0,016	0,005
R1	0,010	0,170	0,09	6,8	<u>0,006</u>	0,032	-	0,005	0,001	0,009	-
R2	0,079	1,44	<u>1,21</u>	<u>3,25</u>	-	-	-	-	0,010	0,009	-
R3	0,005	0,010	0,010	<u>14,5</u>	0,104	-	-	-	0,010	0,009	-
R4	<u>0,19</u>	0,018	<u>1,45</u>	<u>12,6</u>	0,084	0,006	0,026	0,006	0,009	0,009	-
R5	<u>0,197</u>	0,010	<u>1,7</u>	<u>10,2</u>	-	-	-	-	0,010	0,009	-
R6	<u>0,19</u>	0,022	0,98	<u>12,2</u>	0,098	<u>2,2</u>	0,27	-	0,010	0,006	-

5

Tabla 1 Composiciones de aceros (% en peso). I= Según la invención. R=referencia  
Valores subrayados: No conformes a la invención

10 Los semiproductos se recalentaron a una temperatura de 1220°C y se laminaron en caliente para obtener una chapa con un espesor de 3,5 mm aproximadamente.

A partir de una misma composición, algunos aceros han sido objeto de diferentes condiciones de laminado en caliente. Las referencias I1-a, I1-b, I1-c, I1-d, I1-e designan por ejemplo cinco chapas de acero fabricadas según condiciones diferentes a partir de la composición I1.

15 Para los aceros I1 a I3, la tabla 2 detalla las condiciones de las etapas sucesivas de laminado en caliente:

- El número N de etapas de laminado realizadas a una temperatura de laminado en caliente superior a 1050°C.
- Entre estas, el número  $N_i$  de etapas de laminado cuyo porcentaje de reducción es superior al 30%
- El tiempo  $t_i$  que pasa entre cada una de las etapas  $N_i$  y la etapa de laminado se suceden inmediatamente en cada una de estas.
- La temperatura de final de laminado  $T_{FL}$
- El intervalo de tiempo  $t_p$  que pasa en la refrigeración entre 850 y 700°C
- La temperatura de bobinado  $T_{bob}$

20

Referencia		N	N <sub>i</sub>	t <sub>i</sub> (s)	TFL (°C)	t <sub>p</sub> (s)	T <sub>bob</sub> (°C)
I1a	I	4	3	14,5 20,6 26,8	900	21	700
I1b	R'	6	2	<u>2</u> <u>2</u>	900	21	700
I1c	R	4	1	<u>8</u>	900	<u>1,3</u>	700
I1d	I	5	3	26,5 23,5 20	900	21	700
I1e	R	7	5	<u>7,7</u> <u>5,2</u> <u>3,5</u> <u>3</u> <u>2,5</u>	1050	20	700
I3a	I	4	2	10 11	950	20	700
I3b	R	4	1	<u>5</u>	950	20	700

Tabla 2 : Condiciones de fabricación en el laminado en caliente

I = Según la invención. R= referencia

Valores subrayados: No conformes a la invención.

5

La tabla 3 presenta la densidad medida en las chapas de la tabla 2 y algunas características mecánicas y microestructurales. Se midieron así, en sentido transversal con relación al laminado, la resistencia R<sub>m</sub>, el alargamiento uniforme A<sub>u</sub>, el alargamiento a la ruptura A<sub>t</sub>. Se midió igualmente el tamaño de granos d<sub>IV</sub> por el método de los interceptos lineales según la norma NF EN ISO 643 sobre una superficie perpendicular a la dirección transversal con relación al laminado. La medición de d<sub>IV</sub> se realizó según la dirección perpendicular al espesor de la chapa. Con el fin de obtener propiedades mecánicas incrementadas, se investigó más particularmente un tamaño de grano d<sub>IV</sub> inferior a 100 micrómetros.

10

Referencia		R <sub>m</sub> (MPa)	A <sub>u</sub> (%)	A <sub>t</sub> (%)	Densidad	D <sub>IV</sub>
I1a	I	505	10,7	25,4	7,05	75
I1b	R	507	n.d	n.d	7,05	<u>200</u>
I1c	R	474	n.d	n.d	7,05	<u>450</u>
I1d	I	524	n.d	n.d	7,05	40
I1e	R	504	n.d	n.d	7,05	<u>120</u>
I3a	I	645	n.d	n.d	7,07	70
I3b	R	628	n.d	n.d	7,07	<u>400</u>

Tabla 3: Propiedades de las chapas laminadas en caliente obtenidas a partir de los aceros I1 y I3. I = Según la invención- R = referencia n.d= no determinado

15

Valores subrayados: No conformes a la invención

Las chapas de acero según la invención, cuya microestructura se ilustra por ejemplo en la figura 2 para la chapa I1d, se caracterizan por un tamaño de grano d<sub>IV</sub> inferior a 100 micrómetros y presentan una resistencia mecánica que va de 505 a 645 MPa.

20

Las chapas I1b y I1e han sido laminadas con un tiempo de interpaso demasiado corto. Su estructura es entonces tosca y no recristalizada o insuficientemente recristalizada como lo muestra la figura 3 en relación con la



chapa I1e. Consecuentemente, la ductilidad se disminuyó y la chapa es más sensible al defecto de arrugado. Conclusiones similares pueden ser extraídas para la chapa I3b.

5 La chapa I1c fue laminada con un número insuficiente de etapas de laminado con un porcentaje superior al 30%, un tiempo de interpaso y un intervalo de tiempo  $t_p$  demasiado cortos. Las consecuencias son idénticas a las indicadas en las chapas I1b y I1e. El intervalo de tiempo  $t_p$  es demasiado bajo, una precipitación endurecedora de precipitados K y de carburos TiC solo se produce parcialmente, lo cual no permite sacar el pleno rendimiento de las posibilidades de endurecimiento.

10 Los semiproductos realizados a partir de los aceros de referencia R1 a R6 se laminaron para fabricar chapas laminadas en caliente en condiciones de fabricación idénticas a las del acero I3a de la tabla 2. Las propiedades obtenidas en estas chapas se indican en la tabla 4.

Referencia	Re (MPa)	Rm (MPa)	Au (%)	At (%)	Densidad
R1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7,2
R2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7,44
R3	n.d.	450	0,1	0,1	6,48
R4	725	786	0,6	0,6	6,67
R5	596	687	2,7	2,7	6,9
R6	853	891	0,7	0,7	6,7

Tabla 4: Propiedades mecánicas de las chapas laminadas en caliente obtenidas a partir de los aceros R1 a R6.

I= Según la invención. R= referencia n.d.= no determinado

Valores subrayados: No conformes a la invención.

15 El acero R1 presenta un contenido insuficiente en titanio lo cual conduce a un contenido en carbono en solución sólida demasiado importante: el comportamiento al plegado se reduce entonces.

El acero R2 presenta un contenido en aluminio insuficiente lo cual no permite obtener una densidad inferior a 7,3.

20 Los aceros R3, R4, R5 y R6 contienen un contenido demasiado importante en aluminio y eventualmente en carbono: su ductilidad se reduce debido a la precipitación excesiva de fases intermetálicas o de carburos.

Ejemplo 2: Chapas laminadas en frío y recocidas

25 A partir de las chapas de acero laminadas en caliente I1-a y I3-a (según la invención) y I1-c y I-3b (que no cumplen con las condiciones de la invención), se realizó un laminado en frío con una reducción del 75% para obtener chapas de 0,9 mm de espesor aproximadamente. El comportamiento en el laminado en frío se realizó durante esta etapa. Seguidamente se realizó un recocido caracterizado por una velocidad de calentamiento  $V_c=10^\circ\text{C/s}$ . Las temperaturas de recocido  $T'$  y las velocidades de refrigeración  $V_R$  han sido indicadas en la tabla 5. En estas condiciones, el recocido produce una recristalización completa.

30 A partir de una misma chapa laminada en caliente, algunos aceros han sido objeto de diferentes condiciones de laminado en frío y de recocido. Las referencia I3a1, I3a2, I3a3, I3a4, designan por ejemplo cuatro chapas de acero fabricadas según condiciones diferentes de laminado en frío y de recocido a partir de la chapa laminada en caliente I3a.

Referencia		Comportamiento al laminado en frío	T'	V <sub>R</sub>
I1a1	I	Satisfactorio	900°C	13°C/s
I1a2	R	Satisfactorio	900°C	<u>150°C/s</u>
<u>I1c1</u>	R	Satisfactorio	900°C	13°C/s
I3a1	I	Satisfactorio	800°C	13°C/s
<u>I3a2</u>	R	Satisfactorio	800°C	<u>150°C/s</u>
<u>I3a3</u>	R	Satisfactorio	<u>900°C</u>	13°C/s
<u>I3a4</u>	R	Satisfactorio	<u>900°C</u>	<u>150°C/s</u>
<u>I3b</u>	R	<u>No satisfactorio</u> (fisuras en sentido transversal)		

Tabla 5: Condiciones de fabricación de las chapas laminas en frío y recocidas

I = Según la invención. R= referencia

Valores subrayados: No conformes a la invención.

5

La tabla 6 presenta ciertas características mecánicas, químicas, microestructurales y de densidad de las chapas de la tabla 5. Se midieron así mediante ensayos de tracción en sentido transversal con relación al laminado, el límite de elasticidad Re, la resistencia Rm, el alargamiento uniforme A<sub>u</sub>, el alargamiento a la ruptura A<sub>t</sub>. Mediante observaciones por microscopia electrónica de barrido, se ha revelado la presencia eventual de facetas de escisión en las superficies de ruptura de las piezas de ensayo.

10

El contenido en carbono C<sub>sol</sub> en solución sólida fue igualmente medido. El comportamiento al plegado y a la embutición fueron evaluados. Se reveló igualmente la presencia eventual de arrugado consecutivo en las deformaciones. La microestructura de estas chapas recristalizadas está constituida por ferrita equiaxial cuyo tamaño medio de grano d<sub>α</sub> se midió en el sentido transversal del laminado. Se midió igualmente el porcentaje de recubrimiento f de las juntas de granos ferríticos mediante una precipitación K, por medio del logicial de análisis de imágenes Aphelion™.

15

Ref.		Re (MPa)	Rm (MPa)	Au (%)	At(%)	Modo de ruptura	d <sub>a</sub>	C <sub>sol</sub> (%)	f (%)	Arrugado	Comportamiento al plegado y a la embutición	Densidad
I1a1	I	390	497	18	31	Dúctil	27	0,002	0	No	Si	7,05
<u>I1a2</u>	R	405	510	17	29	<u>Dúctil/</u> <u>frágil</u>	27	<u>0,005</u>	0	n.d.	Si	7,05
<u>I1c1</u>	R	437	552	13,8	25	Dúctil	<u>53</u>	n.d.	n.d.	<u>Si</u>	<u>No</u>	7,05
I3a1	I	531	633	16,5	28,8	Dúctil	11	0,003	2	No	Si	7,07
<u>I3a2</u>	R	532	627	13,8	19	<u>Dúctil/</u> <u>frágil</u>	11	<u>0,010</u>	0	No	n.d.	7,07
<u>I3a3</u>	R	513	612	13	14	<u>Dúctil/</u> <u>frágil</u>	12	n.d.	<u>60</u>	n.d.	<u>No</u>	7,07
<u>I3a4</u>	R	613	687	12,8	16	<u>Frágil</u>	12	<u>0,060</u>	17	n.d.	<u>No</u>	7,07

Tabla 6: Propiedades mecánicas de las chapas laminadas en frío y recocidas obtenidas a partir de aceros I1 y I3

I = Según la invención. R=referencia. N.d.: no determinado

Valores subrayados: No conformes a la invención.

- 5 Las chapas de aceros I1a1 y I3a1 presentan un contenido en carbono en solución sólida, un tamaño de grano equiaxial ferrítico y un porcentaje de recubrimiento  $f$  de las juntas de granos que cumplen con las condiciones de la invención. Consecuentemente, el comportamiento al plegado, a la embutición, a la resistencia al arrugado de estas chapas, es elevada.
- La figura 4 ilustra la microestructura de la chapa de acero I1a1 según la invención.
- 10 La figura 5 ilustra la microestructura de otra chapa de acero según la invención, I3a1: se aprecia la presencia de precipitados K de los cuales una pequeña cantidad solamente está presente en forma intergranular, lo cual permite mantener una ductilidad elevada.
- 15 Comparativamente, la chapa de acero I1a2 se refrigeró a una velocidad demasiado importante después del recocido: el carbono se encuentra entonces totalmente en solución sólida, lo cual lleva consigo una reducción de la ductilidad de la matriz que se traduce por la presencia local de zonas frágiles en las superficies de ruptura. De igual modo, la chapa I3a2 se refrigeró a una velocidad demasiado importante y condujo igualmente a un contenido excesivo en solución sólida.
- 20 La figura 6 ilustra la microestructura de la chapa I3a3: esta se recoció a una temperatura  $T'$  demasiado importante: los precipitados K presentes antes del recocido se disolvieron, su precipitación ulterior en la refrigeración se produjo en una forma intergranular en cantidad excesiva. Esto se traduce por la presencia local de zonas frágiles en las superficies de ruptura.
- La chapa I3a4 se recoció igualmente a una temperatura que produce una disolución parcial de los precipitados K. El contenido en carbono en solución sólida es excesivo.
- 25 La chapa de acero I1c1 se fabricó a partir de una chapa laminada en caliente que no cumple con las condiciones de la invención: el tamaño de grano equiaxial es demasiado importante, la resistencia al arrugado y el comportamiento en la embutición son insuficientes.
- La chapa I3b laminada en caliente, que no cumple con los criterios de la invención, no es apta para la deformación ya que aparecen fisuras transversales durante el laminado en frío.
- 30 Ensayos de soldabilidad por resistencia por puntos fueron efectuados en la chapa de acero I1a1, bien sea en soldadura homogénea (soldadura de dos chapas de la misma composición) o en soldadura heterogénea (soldadura con una chapa de acero sin intersticial de composición, expresada en porcentaje ponderal: 0,002%C, 0,01%Si, 0,15%Mn, 0,04%Al, 0,015%Nb, 0,026%Ti). Los exámenes muestran que las juntas soldadas están exentas de defectos.
- 35 En el caso de tratamiento térmico ulterior de las juntas soldadas, la adición de 0,096%Ti garantiza la ausencia de carbono en solución sólida en la zona afectada por el calor.
- Los aceros según la invención presentan un buen comportamiento en la galvanización en continuo, en particular, durante un ciclo de recocido a 800°C con una temperatura de punto de condensación superior a -20°C.
- 40 Los aceros según la invención presentan por consiguiente una combinación de propiedades (densidad, una resistencia mecánica, comportamiento a la deformación, soldabilidad, revestibilidad) particularmente interesantes. Estas chapas de acero se utilizan ventajosamente para la fabricación de piezas de superficie o de estructura en el ámbito automovil.

**REIVINDICACIONES**

1. Chapa ferrítica laminada en caliente de acero cuya composición comprende, expresándose los contenidos en peso:

5

$$0,001 \leq C \leq 0,15\%$$

$$Mn \leq 1\%$$

$$Si \leq 1,5\%$$

$$6\% \leq Al \leq 10\%$$

$$0,020\% \leq Ti \leq 0,5\%$$

$$S \leq 0,050\%$$

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

10

y, a título opcional, uno o varios elementos seleccionados entre:

$$Cr \leq 1\%$$

$$Mo \leq 1\%$$

$$Ni \leq 1\%$$

$$Nb \leq 0,1\%$$

15

$$V \leq 0,2\%$$

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

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

20

siendo el tamaño medio de grano de ferrita  $d_{IV}$  medido en una superficie perpendicular a la dirección transversal con relación al laminado inferior a 100 micrómetros, comprendiendo la indicada chapa una precipitación de precipitados kappa y de carburos TiC.

2. Chapa ferrítica laminada en frío y recocida en acero de composición según la reivindicación 1, caracterizada porque su estructura está constituida por ferrita equiaxial cuyo tamaño medio de grano  $d_{\alpha}$  es inferior a 50 micrómetros, y porque la fracción lineal f de precipitado K intergranulares es inferior al 30%, estando la indi-

cada fracción lineal f definida por:  $f = \frac{\sum_{(S)} di}{\sum_{(S)} Li}$ , designando  $\sum_{(S)} di$  la longitud

25

total de las juntas de granos que comprenden precipitados K con relación a una superficie (S) considerada,

designando  $\sum_{(S)} Li$  la longitud total de las juntas de granos con relación a la indicada superficie (S) considerada.

3. Chapa de acero según la reivindicación 1 ó 2, caracterizada porque su composición comprende, expresándose los contenidos en peso

30

$$0,001\% \leq C \leq 0,010\%$$

$$Mn \leq 0,2\%$$

4. Chapa de acero según la reivindicación 1 ó 2, caracterizada porque su composición comprende, expresándose los contenidos en peso

35

$$0,010\% < C \leq 0,15\%$$

$$0,2\% < Mn \leq 1\%$$

5. Chapa de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizada porque su composición comprende, expresándose los contenidos en peso:

$$7,5\% \leq Al \leq 10\%$$

6. Chapa de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizada porque su composición comprende, expresándose los contenidos en peso:

$$7,5\% \leq Al \leq 8,5\%$$

5 7. Chapa de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizada porque el contenido en carbono en solución sólida es inferior al 0,005% en peso.

8. Chapa de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizada porque su resistencia  $R_m$  es superior o igual a 400MPa.

10 9. Chapa de acero según la reivindicación 4, caracterizada porque su resistencia  $R_m$  es superior o igual a 600 MPa.

10. Procedimiento de fabricación de una chapa de acero laminada en caliente según el cual:

- Se obtiene un acero con la composición según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6

- Se realiza la colada del indicado acero en forma de semiproducto, luego

- Se lleva el indicado semiproducto a una temperatura superior o igual a 1150°C, luego

15 - Se lamina en caliente el indicado semiproducto para obtener una chapa, gracias a al menos dos etapas de laminado realizadas a temperaturas superiores a 1050°C. siendo el porcentaje de reducción de cada una de las indicadas al menos dos etapas superior o igual al 30%, siendo el tiempo que pasa entre cada una de las indicadas al menos dos etapas de laminado, y la etapa de laminado siguiente, superior o igual a 10 s, luego

- se termina el laminado a una temperatura  $T_{FL}$  superior o igual a 900°C, luego

20 - se refrigera la indicada chapa de tal forma que el intervalo de tiempo  $t_p$  que pasa entre 850 y 700°C sea superior a 3 s, para obtener un precipitación de precipitados K, y luego

- se bobina la indicada chapa a una temperatura  $T_{bob}$  comprendida entre 500 y 700°C.

25 11. Procedimiento de fabricación de una chapa laminada en caliente según la reivindicación 10, caracterizado porque la indicada colada se realiza directamente en forma de colada de desbastes delgados o de bandas delgadas entre cilindros contra-rotativos.

12. Procedimiento de fabricación de una chapa de acero laminada en frío y recocida según el cual:

- Se obtiene una chapa de acero laminada en caliente fabricada según la reivindicación 10 u 11, luego

- Se lamina en frío la indicada chapa con un porcentaje de reducción comprendido entre un 30 y un 90%, con el fin de obtener una chapa laminada en frío, luego

30 - Se calienta la indicada chapa laminada en frío a una temperatura  $T'$  con una velocidad  $V_c$  superior a 3°C/s, luego

- Se refrigera la indicada chapa a una velocidad  $V_R$  inferior a 100°C/s

- eligiéndose la indicada temperatura  $T'$  y la mencionada velocidad  $V_R$  con el fin de obtener una recristalización completa, una fracción lineal  $f$  de precipitados K intergranulares inferior al 30% y un contenido en carbono en solución sólida inferior a 0,005% en peso.

35 13. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 12, caracterizado porque se calienta la indicada chapa laminada en frío a una temperatura  $T'$  comprendida entre los 750 y 950°C.

14. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 12, caracterizado porque se obtiene una chapa de composición según la reivindicación 4 y porque se calienta la indicada chapa laminada en frío a una temperatura  $T'$  seleccionada con el fin de evitar la disolución de precipitados K.

40 15. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 12, caracterizado porque se obtiene una chapa de composición según la reivindicación 4, y porque se calienta la indicada chapa laminada en frío a una temperatura  $T'$  comprendida entre 750 y 800°C.

45 16. Utilización de chapas de acero según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, o fabricadas según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 15 para la fabricación de piezas superficiales o de piezas estructurales en el ámbito del automóvil.

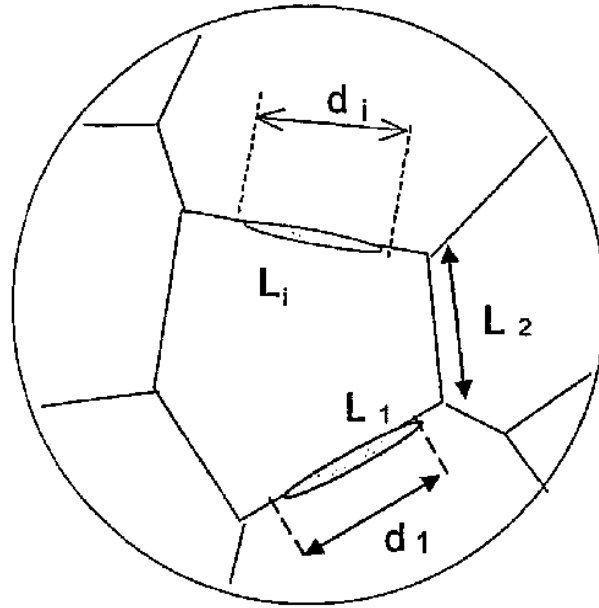


Figura 1

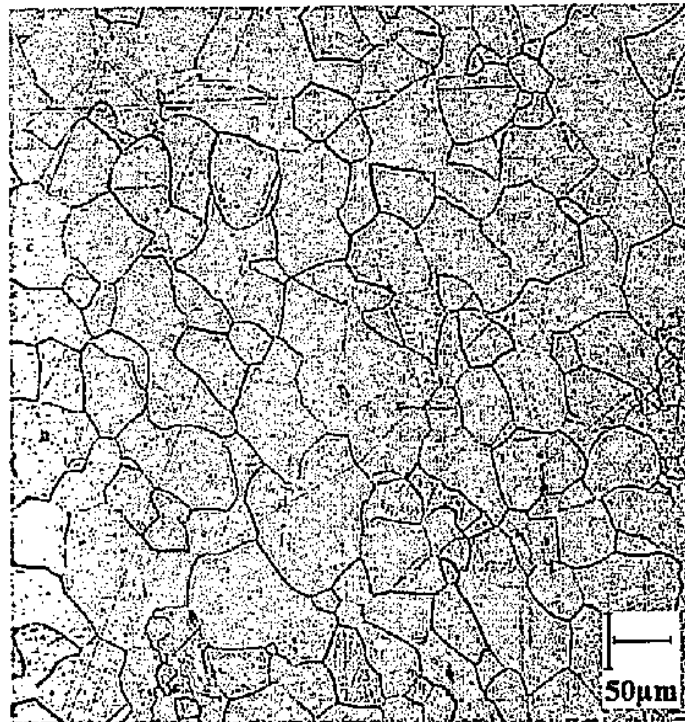


Figura 2

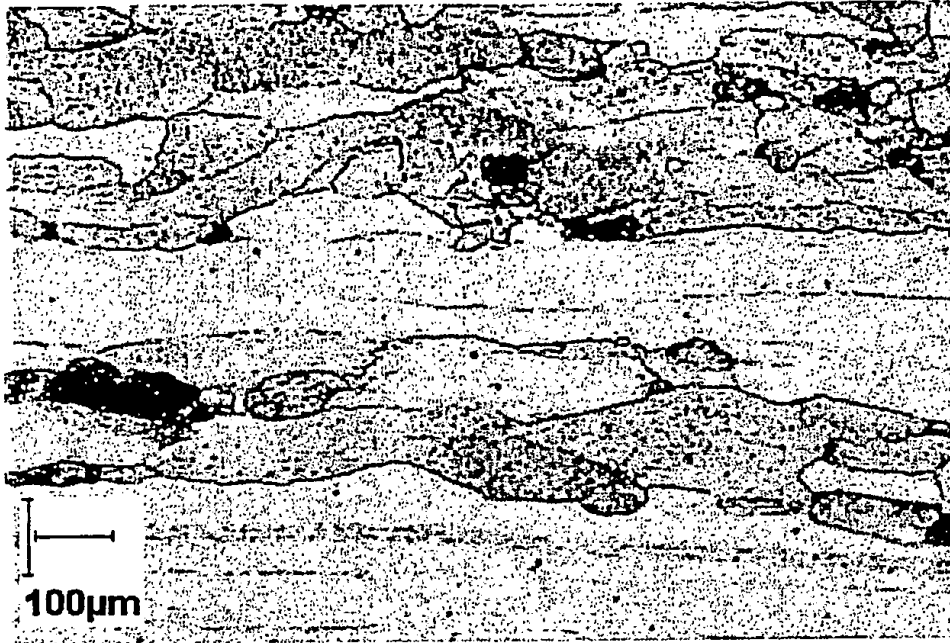


Figura 3

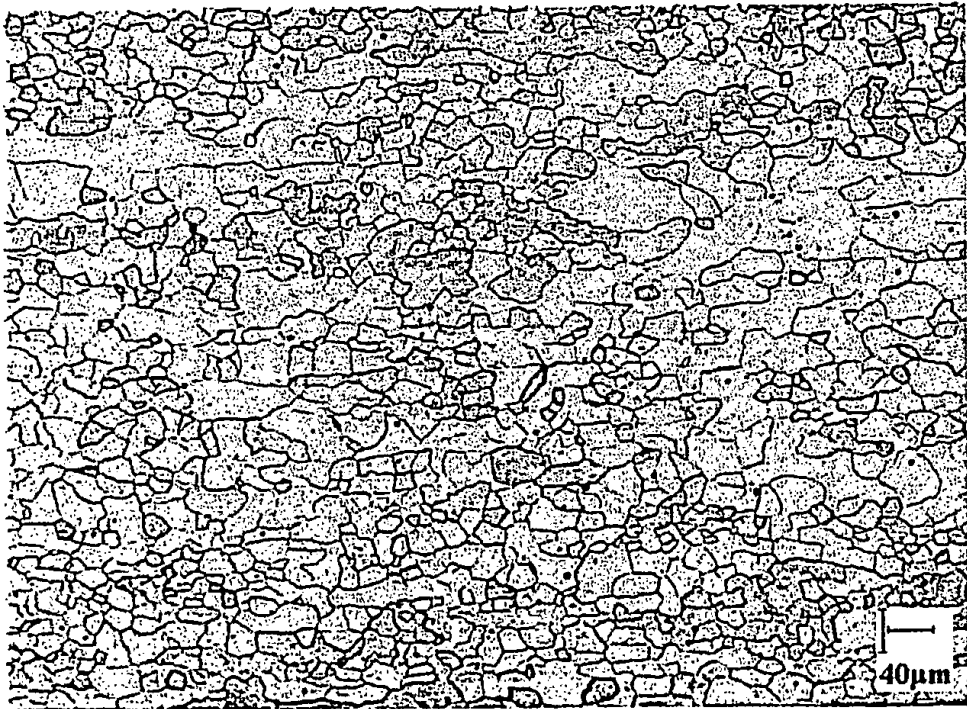


Figura 4

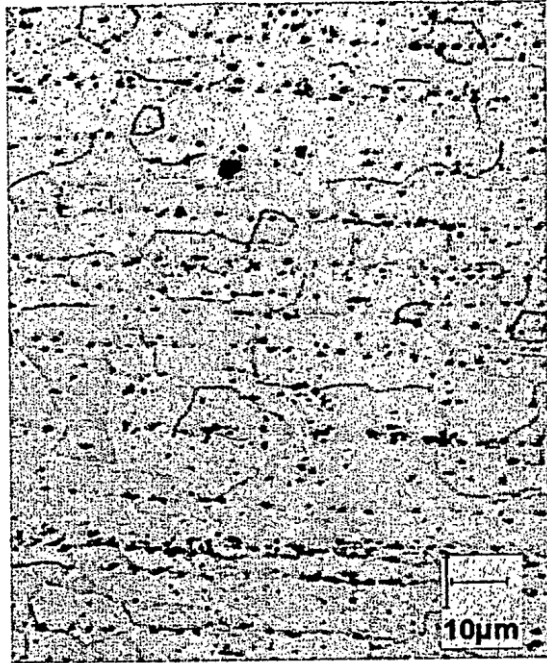


Figura 5

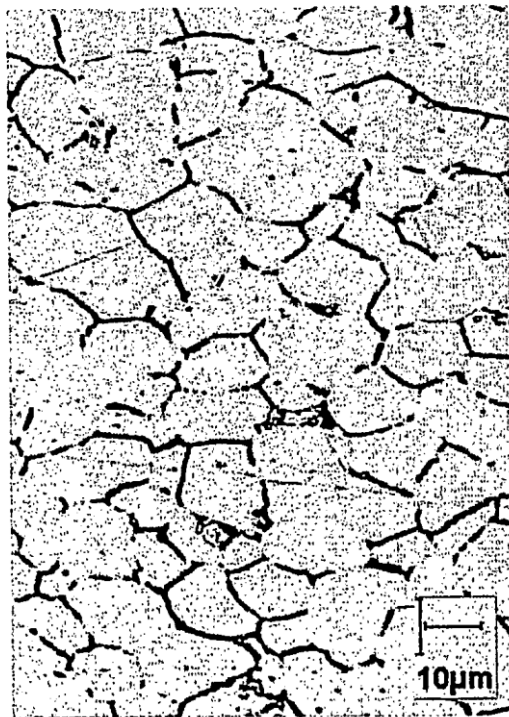


Figura 6