

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 803 599**

51 Int. Cl.:

C21D 7/13	(2006.01)	C22C 38/00	(2006.01)
C21D 8/02	(2006.01)	C22C 38/12	(2006.01)
C23C 2/04	(2006.01)	C22C 38/14	(2006.01)
C23C 2/06	(2006.01)	C22C 38/26	(2006.01)
C21D 9/46	(2006.01)	C22C 38/28	(2006.01)
C21D 1/18	(2006.01)	C22C 38/32	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)	C22C 38/34	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)	C23C 2/12	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)	C23C 2/28	(2006.01)
C22C 38/38	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.11.2015 PCT/IB2015/058887**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **26.05.2016 WO16079675**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.11.2015 E 15801261 (7)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2020 EP 3221476**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de un producto de acero de alta resistencia y producto de acero obtenido de este modo**

30 Prioridad:
18.11.2014 WO PCT/IB2014/066128

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.01.2021

73 Titular/es:
**ARCELORMITTAL (100.0%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:
**ARLAZAROV, ARTEM y
ZHU, KANGYING**

74 Agente/Representante:
SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 803 599 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 un producto de acero de alta resistencia y producto de acero obtenido de este modo

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento de fabricación de un producto de acero de alta resistencia y a un producto de acero de alta resistencia obtenido por este procedimiento.
- [0002]** Más específicamente, la presente invención se refiere a un procedimiento de fabricación de un producto de acero, por ejemplo, una lámina de acero o una pieza de acero, que combina buenas propiedades de alargamiento
10 y una alta resistencia a la tracción.
- [0003]** Las láminas de acero de alta resistencia fabricadas con aceros DP (fase dual) o aceros TRIP (plasticidad inducida por transformación) se utilizan actualmente para fabricar varias piezas en la industria automotriz, en coches y camiones.
15
- [0004]** Con el fin de reducir el peso de los equipos fabricados con estos aceros, es muy deseable aumentar la resistencia a la tracción y el límite elástico sin disminuir el alargamiento que es necesario para tener una buena facilidad de trabajo y sin reducir la soldabilidad.
- 20 **[0005]** Con este fin, en el documento WO 2012/153008 se propuso utilizar aceros CMnSi que contenían 0,15 % a 0,4 % de C, 1,5 % a 3 % de Mn, y 0,005 % a 2 % de Si, siendo dichos aceros tratados térmicamente con el fin de tener una estructura totalmente martensítica.
- [0006]** El documento WO 2012/153008 describe, por lo tanto, un procedimiento de fabricación de una lámina o
25 pieza de acero donde el acero se calienta a una temperatura entre 1050 °C y 1250 °C, a continuación se somete a una laminación en bruto a una temperatura entre 1150 °C y 900 °C, a continuación se enfría a una temperatura entre 380 °C y 600 °C, se somete a una laminación en caliente final a esta temperatura, y posteriormente se temple directamente a temperatura ambiente.
- 30 **[0007]** Este procedimiento de fabricación permite obtener una lámina o pieza de acero con una resistencia a la tracción mayor que la resistencia a la tracción de las láminas de acero que se fabrican por austenización del acero y a continuación templado para obtener un endurecimiento martensítico completo.
- [0008]** Sin embargo, aunque este procedimiento no deteriora las propiedades de alargamiento del acero,
35 tampoco mejora estas propiedades. El alargamiento total TE (por sus siglas en inglés) de las láminas de acero obtenidas mediante dicho procedimiento se limita generalmente a menos del 7 % para una resistencia a la tracción de aproximadamente 1600 MPa.
- [0009]** Por tanto, sigue siendo deseable poder producir una lámina o pieza de acero que tenga un límite elástico
40 YS (por sus siglas en inglés) de más de 1000 MPa hasta 1700 MPa, una resistencia a la tracción TS (por sus siglas en inglés) de más de 1300 MPa, hasta 2000 MPa, un alargamiento uniforme UE (por sus siglas en inglés) de más de 7 %, un alargamiento total TE (por sus siglas en inglés) de más de 10 %, una resistencia a la tracción x alargamiento total del producto (TS X TE) superior a 18.000 MPa % y una resistencia a la tracción x alargamiento uniforme del producto (TS x UE) superior a 13.000 MPa %. Estas propiedades se miden según la norma ISO, ISO 6892-1, publicada
45 en octubre de 2009. Se debe enfatizar que, debido a las diferencias en los procedimientos de medición, en particular debido a las diferencias en el tamaño del espécimen utilizado, los valores del alargamiento total según la norma ISO son muy diferentes, en particular, más bajos, que los valores del alargamiento total según la norma JIS Z 2201-05. El documento EP2660345 describe un producto de acero y su procedimiento de fabricación. Sin embargo, este documento no logra la combinación mejorada de resistencia y ductilidad de la presente invención.
50
- [0010]** Con este fin, la invención se refiere a un procedimiento de fabricación de un producto de acero como se describe en la reivindicación 1.
- [0011]** Según otros aspectos ventajosos de la invención, el procedimiento comprende una o más de las
55 siguientes características, consideradas individualmente o según cualquier combinación técnicamente posible:
- el procedimiento comprende además una etapa de enfriamiento del producto mantenido hasta temperatura ambiente a una tasa de enfriamiento superior a 0,005 °C/s para obtener martensita fresca;
 - el producto de partida de acero calentado es una lámina de acero laminada en caliente y el producto de acero es una
60 lámina de acero, y donde dicha etapa de conformación en caliente es una etapa de laminación;
 - la etapa de proporción de un producto de partida de acero calentado comprende:
 - calentar un semiproducto de acero, con una composición según la reivindicación 1, a una temperatura superior a la temperatura AC₃ del acero para obtener una estructura totalmente austenítica,
 - someter dicho semiproducto de acero a una etapa de laminación en bruto a una temperatura por encima de una
65

ES 2 803 599 T3

temperatura T₂ entre 1200 y 850 °C, con una deformación de reducción acumulada ϵ_a mayor que 1, para obtener dicho producto de partida de acero calentado;

- dicho producto de partida de acero calentado tiene un tamaño medio de grano austenítico inferior a 30 μm ;
- 5 - el producto de partida es una pieza en bruto de acero, el producto de acero es una pieza de acero, y la etapa de proporción de un producto de partida de acero calentado comprende calentar dicha pieza en bruto de acero a una temperatura superior a la temperatura AC₃ del acero para obtener una estructura totalmente austenítica;
 - dicha pieza en bruto de acero tiene un espesor entre 1,0 mm y 4,0 mm;
 - dicha etapa de conformación en caliente es una etapa de laminación en caliente;
- 10 - dicha etapa de conformación en caliente es una etapa de estampado en caliente;
 - dicha etapa de conformación en caliente es una etapa de embutición en caliente;
 - dicha etapa de conformación en caliente es una etapa de formación por rodillos;
 - dicha pieza en bruto de acero comprende al menos una capa de recubrimiento;
 - se aplica una capa de recubrimiento sobre dicho producto de partida antes del calentamiento, y la capa de
- 15 recubrimiento es un recubrimiento de aluminio o a base de aluminio, o un recubrimiento de zinc o a base de zinc.

[0012] La invención también se refiere a un producto de acero según la reivindicación 14. $0,15 \% \leq C \leq 0,40 \%$.

[0013] Según otros aspectos ventajosos de la invención, el producto de acero comprende una o más de las siguientes características, consideradas individualmente o según cualquier combinación técnicamente posible:

- el producto de la resistencia a la tracción TS del acero por el alargamiento uniforme UE del acero es mayor o igual a 13.000 MPa %;
- los listones de martensita tienen un tamaño medio inferior a 1 μm , la relación de aspecto de dichos listones de
- 25 martensita está comprendida entre 2 y 5;
 - el tamaño máximo de los islotes de dicha martensita fresca con una relación de aspecto inferior a 3, es inferior a 3 μm ;
 - el tamaño medio del grano austenítico anterior es inferior a 30 μm ;
 - la relación de aspecto del grano austenítico anterior es superior a 1,3;
- 30 - dicha austenita tiene forma de películas o islotes, la dimensión más pequeña de dichas películas o islotes tiene un valor inferior a 0,3 μm , la dimensión más grande de dichas películas o islotes tiene un valor medio inferior a 2 μm ;
- dicha martensita templada comprende, en porcentaje de superficie, menos de 0,5 % de carburos, en comparación con la superficie de dicha martensita templada, y dichos carburos tienen un tamaño medio inferior a 50 nm;
- dicho producto de acero es una lámina de acero, y la estructura de toda la lámina de acero consiste en:
- 35
 - martensita templada o listones de martensita sin carburos, con un porcentaje de superficie de al menos 40 %,
 - martensita fresca, en forma de islotes o películas, el porcentaje de superficie de dicha martensita fresca está comprendido entre 5 % y 30 %, y
 - austenita, con un porcentaje de superficie del 5 % al 35 %;
- 40 - dicho producto de acero es una pieza de acero estampada en caliente, y la estructura de al menos 20 % del volumen de dicha pieza estampada en caliente consiste en:
 - martensita templada o listones de martensita sin carburos, con un porcentaje de superficie de al menos 40 %,
 - 45 • martensita fresca, en forma de islotes o películas, el porcentaje de superficie de dicha martensita fresca está comprendido entre 5 % y 30 %, y
 - austenita, con un porcentaje de superficie del 5 % al 35 %;
- dicho producto de acero comprende al menos una capa de recubrimiento;
- 50 - dicha al menos una capa de recubrimiento es zinc o aleación a base de zinc, o aluminio o aleación a base de aluminio;
- dicha al menos una capa de recubrimiento se aplica antes del estampado en caliente.

[0014] La invención se describirá ahora con detalle sin introducir limitaciones y se ilustrará con ejemplos y las figuras adjuntas entre las que:

- 55 - La Figura 1 es una micrografía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) que ilustra la microestructura de un producto de acero según la invención.
- Las Figuras 2 y 3 son SEM que ilustran la microestructura de productos de acero obtenidos mediante procedimientos de fabricación que no son según la presente invención;
- 60 - Las Figuras 4, 5 y 6 son gráficas que comparan las propiedades mecánicas de los productos de acero obtenidos mediante procedimientos de fabricación que son según o no según la presente invención.

[0015] El producto de acero según la presente invención tiene la siguiente composición:

- 65 - $0,15 \% \leq C \leq 0,40 \%$ para garantizar una resistencia satisfactoria y mejorar la estabilidad de la austenita retenida. En

particular, con un contenido de carbono inferior al 0,15 %, la templabilidad del acero no es lo suficientemente buena, lo que no permite la formación de suficiente martensita con el procedimiento de fabricación utilizado. Con un contenido en C superior al 0,40 %, se reduce la soldabilidad del acero. De hecho, las juntas soldadas producidas a partir de las láminas tendrían una tenacidad insuficiente. Preferentemente, el contenido de carbono es superior o igual al 0,25 %.

5 Preferentemente, el contenido de carbono no es superior al 0,33 %.

- $1,5 \% \leq \text{Mn} \leq 4,0 \%$. El manganeso disminuye las temperaturas A_{c1} , A_{c3} y M_s , es decir, respectivamente, la temperatura a la que la austenita comienza a formarse al calentarse (A_{c1}), la temperatura a la que se completa la transformación de austenita al calentarse (A_{c3}), y la temperatura a la que empieza la transformación de austenita a martensita al enfriarse (M_s). Por lo tanto, Mn mejora la estabilidad de la austenita retenida mediante un mayor

10 enriquecimiento químico de austenita en Mn y mediante la disminución del tamaño del grano de la austenita. El refinamiento del tamaño del grano de austenita conduce a una disminución en la distancia de difusión y, por lo tanto, acelera la difusión de C y Mn durante una etapa de mantenimiento de temperatura que se puede realizar durante el ciclo de enfriamiento del tratamiento térmico. Con el fin de obtener un efecto estabilizador suficiente para permitir la deformación del acero en el intervalo de temperatura de 700 a 380 °C durante el enfriamiento, el contenido de Mn no

15 debe ser inferior al 1,5 %. Además, cuando el contenido en Mn es superior al 4 %, aparecen zonas segregadas, que son perjudiciales para la capacidad de rebordeado por estiramiento y afectan a la implementación de la invención. Preferentemente, el contenido de Mn es superior al 1,8 %. Preferentemente, el contenido de Mn no es superior al 2,5 %.

- $0,5 \% \leq \text{Si} \leq 2,5 \%$ y $0,005 \% \leq \text{Al} \leq 1,5 \%$, los contenidos de silicio y aluminio satisfacen además la siguiente relación:

20 $0,8 \% \leq \text{Si} + \text{Al} \leq 2,5 \%$. Según la invención, Si y Al desempeñan entre sí un papel importante: El silicio retrasa la precipitación de cementita al enfriarse por debajo de la temperatura de transformación de equilibrio A_{e3} . Por lo tanto, una adición de Si ayuda a estabilizar una cantidad suficiente de austenita residual en forma de islotes. Si proporciona además un refuerzo de la solución sólida y retarda la formación de carburos durante la redistribución de carbono desde

25 una transformación martensítica parcial. Con un contenido demasiado alto, los óxidos de silicio se forman en la superficie, lo que perjudica la capacidad de recubrimiento del acero. Por lo tanto, el contenido de Si es preferentemente inferior o igual al 2,5 %.

[0016] El aluminio es un elemento muy efectivo para desoxidar el acero en la fase líquida durante la elaboración. El contenido de Al no es inferior al 0,005 % con el fin de obtener una desoxidación suficiente del acero en estado líquido. Además, al igual que Si, Al estabiliza la austenita residual. El contenido de Al no es superior al 1,5 % con el fin de evitar la ocurrencia de inclusiones, evitar problemas de oxidación y garantizar la endurecibilidad del material.

35 **[0017]** Los efectos de Si y Al sobre la estabilización de la austenita son similares. Cuando los contenidos de Si y Al son tales que $0,8 \% \leq \text{Si} + \text{Al} \leq 2,5 \%$, se obtiene una estabilización satisfactoria de la austenita, lo que hace posible de este modo formar las microestructuras deseadas.

40 - El azufre y el fósforo deben mantenerse a niveles bajos, es decir, $S \leq 0,05 \%$ y $P \leq 0,1 \%$, con el fin de no deteriorar demasiado la ductilidad y la tenacidad de las piezas. Dado que la obtención de un contenido de azufre extremadamente bajo es costoso, es preferible un contenido de azufre superior al 0,0005 % por razones económicas. De manera similar, es preferible un contenido de fósforo superior al 0,0005 %.

[0018] El acero según la invención contiene al menos un elemento seleccionado de entre molibdeno y cromo.

45 Cr y Mo son muy eficientes para retrasar la transformación de austenita y prevenir la formación de ferrita o bainita proeutectoide, y se pueden utilizar para implementar la invención. En particular, estos elementos tienen una influencia en el diagrama de transformación isotérmica por enfriamiento (también conocido como diagrama de Tiempo-Temperatura-Transformación (TTT)): las adiciones de Cr y Mo separan el dominio de transformación de ferrita-perlita, del dominio de transformación de bainita, la transformación de ferrita-perlita se produce a temperaturas más altas que

50 la transformación de bainita. Por lo tanto, estos dominios de transformación aparecen como dos "narices" distintas en el diagrama TTT, que abre una "bahía" que permite deformar el acero al enfriarse entre estas dos narices, sin causar una transformación no deseada de austenita a ferrita, perlita y/o bainita. Para las composiciones de la invención, este intervalo de temperatura para la deformación está comprendido entre 380 y 700 °C. La conformación en caliente de austenita metaestable en este intervalo se conoce como "ausformación".

55

[0019] Si la composición del acero comprende Cr, el contenido de Cr no debe ser superior al 4,0 %. De hecho, por encima de este valor, el efecto del Cr se satura y aumentar su contenido sería costoso, sin proporcionar ningún efecto beneficioso.

60 **[0020]** Si la composición del acero comprende Mo, el contenido de Mo no es superior al 0,5 %, debido a su alto coste.

[0021] Además, según la invención, los contenidos de Mn, Cr y Mo son tales como $2,7 \% \leq \text{Mn} + \text{Cr} + 3 \text{Mo} \leq 5,7 \%$. Los factores de Mn, Cr y Mo en esta relación reflejan sus respectivas capacidades para prevenir la transformación de austenita y proporcionar un endurecimiento para obtener suficientes propiedades mecánicas.

65

[0022] El acero según la invención contiene opcionalmente niobio y/o titanio.

[0023] Cuando Nb está presente en la composición, el contenido en Nb no debe ser superior al 0,1 %, y preferentemente será superior al 0,025 %. Cuando Ti está presente en la composición, el contenido en Ti no debe ser superior al 0,1 %, y preferentemente será superior al 0,01 %.

[0024] En estas cantidades, Nb tiene un fuerte efecto de sinergia con B para mejorar la endurecibilidad del acero, y Ti puede proteger B contra la formación de BN. Es más, la adición de Nb y Ti puede aumentar la resistencia al reblandecimiento de la martensita durante el templado.

[0025] Este efecto de Nb y Ti aparece notablemente con contenidos en Nb y Ti respectivamente superiores a 0,025 % y 0,01 %.

[0026] Cada uno de los contenidos de Nb y Ti no es superior al 0,1 % con el fin de limitar el endurecimiento del acero a altas temperaturas proporcionadas por estos elementos, lo que dificultaría la producción de chapas delgadas debido al aumento de las fuerzas de laminación en caliente.

[0027] Opcionalmente, la composición puede comprender níquel, en una cantidad inferior o igual al 3,0 %, y preferentemente superior al 0,001 %.

[0028] El acero puede contener opcionalmente boro en una cantidad comprendida entre 0,0005 % y 0,005 %, con el fin de aumentar la templabilidad del acero. De hecho, una deformación importante de la austenita podría resultar en la transformación acelerada de la austenita en ferrita durante el enfriamiento. Una adición de B, en una cantidad comprendida entre 0,0005 % y 0,005 %, ayuda a prevenir esta transformación ferrítica temprana.

[0029] Opcionalmente, el acero puede comprender calcio en una cantidad comprendida entre 0,0005 % y 0,005 %; al combinarse con O y S, Ca ayuda a evitar la formación de inclusiones de gran tamaño que afectan negativamente a la ductilidad de las láminas.

[0030] El resto de la composición del acero es hierro e impurezas resultantes de la fundición. Las impurezas pueden incluir nitrógeno, el contenido de N no es mayor que 0,010 %.

[0031] El procedimiento de fabricación de un producto de acero según la invención tiene como objetivo fabricar un producto de acero que tiene, en al menos una ubicación del producto, una microestructura que consiste en martensita templada o listones de martensita sin carburos, con un porcentaje de superficie de al menos 40 %, martensita fresca, presente como islotes o películas, siendo el porcentaje de superficie de dicha martensita fresca comprendido entre 5 % y 30 %, y austenita retenida con un porcentaje de superficie del 5 % al 35 %.

[0032] Estas características microestructurales pueden estar presentes en la totalidad del producto, o solo en algunas ubicaciones, para soportar tensiones localmente rigurosas. En este último caso, estas características microestructurales han de estar presentes en al menos 20 % del volumen del producto, con el fin de obtener una resistencia significativa a la tensión.

[0033] Ahora se describirá el procedimiento de fabricación. El procedimiento comprende una etapa que consiste en proporcionar un producto de partida de acero calentado, a una temperatura comprendida entre 380 °C y 700 °C, teniendo dicho producto de partida de acero calentado una estructura totalmente austenítica. Con referencia a este intervalo de temperatura y a la composición de acero a continuación, se entiende que esta estructura austenítica está en un estado metaestable, es decir, que este producto de partida de acero calentado se obtiene de una etapa de calentamiento en el intervalo austenítico, seguido de enfriamiento a una velocidad lo suficientemente alta como para que la austenita no tenga tiempo de transformarse.

[0034] Dicho producto de partida calentado tiene además una composición que consiste, en porcentaje en peso:

0,15 % ≤ C ≤ 0,40 %.

1,5 % ≤ Mn ≤ 4,0 %,

0,5 % ≤ Si ≤ 2,5 %,

0,005 % ≤ Al ≤ 1,5 %;

con 0,8 % ≤ Si+Al ≤ 2,5 %,

S ≤ 0,05 %,

P ≤ 0,1 %,.

al menos un elemento seleccionado de entre Cr y Mo, de modo que:

$$0 \% \leq \text{Cr} \leq 4 \%,$$

$$0 \% \leq \text{Mo} \leq 2 \%,$$

y

$$2,7 \% \leq \text{Mn} + \text{Cr} + 3 \text{ Mo} \leq 5,7 \%,$$

5 y opcionalmente uno o varios elementos seleccionados de entre:

$$\text{Nb} \leq 0,1 \%,$$

$$\text{Ni} \leq 3,0 \%,$$

10 $\text{Ti} \leq 0,1 \%,$

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

el resto de la composición consiste en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición.

15 **[0035]** Dicho producto de partida calentado es, por ejemplo, un semiproducto o una pieza en bruto.

[0036] Un semiproducto se define como una lámina que ha sido sometida a una etapa de laminación en caliente, pero cuyo espesor es mayor en esta etapa, que el espesor final deseado.

20 **[0037]** Una pieza en bruto se define como el resultado de cortar una lámina de acero o bobina en una forma relacionada con la geometría final deseada del producto a producir.

[0038] Según la invención, el producto de partida calentado se somete, en al menos una ubicación del producto de partida, a una etapa de conformación en caliente, a una temperatura comprendida entre 700 °C y 380 °C, con una deformación acumulada entre 0,1 y 0,7, la estructura del acero permanece completamente austenítica, es decir, se realiza ausformación.

[0039] La etapa de conformación en caliente puede realizarse en uno o varios pasos sucesivos. Dado que los modos de deformación pueden diferir de una ubicación del producto a otra debido a la geometría del producto y los modos de tensiones locales, una deformación acumulada equivalente ϵ_b se define en cada lugar del producto como

$$\epsilon_b = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\epsilon_1^2 + \epsilon_1 \epsilon_2 + \epsilon_2^2}$$

en el que ϵ_1 y ϵ_2 son las principales deformaciones acumuladas en todos los pasos de deformación.

[0040] Si la conformación en caliente se realiza a través de laminación en caliente, la deformación acumulada ϵ_b se define a partir del espesor inicial de la lámina t_i antes de la laminación en caliente, y el espesor final de la lámina

$$\epsilon_b = \ln \left(\frac{t_i}{t_f} \right)$$

t_f después de la laminación en caliente, mediante:

[0041] En estas condiciones, se obtiene una estructura de austenita deformada plásticamente, donde no se produce recristalización.

40 **[0042]** La etapa de conformación en caliente se lleva a cabo entre las temperaturas T_3 y T_3' , ambas comprendidas entre 380 °C y 700 °C, por ejemplo, entre 550 °C y 450 °C, con el fin de permitir el refinamiento de austenita, evitar la recristalización de la austenita deformada y evitar la transformación de la austenita durante la etapa de conformación en caliente. En particular, debido a la composición del acero, se evita la formación de ferrita, perlita

45 y/o bainita durante esta etapa de conformación en caliente.

[0043] De hecho, como se describió anteriormente, el Mn mejora la estabilidad de la austenita retenida.

[0044] Es más, Cr y Mo retrasan la transformación de austenita y previenen la formación de ferrita o bainita proeutectoide, al separar el dominio de transformación de ferrita-perlita del dominio de transformación de bainita. Estos dominios de transformación aparecen, así como dos "narices" distintas en un diagrama de transformación isotérmica (también conocido como diagrama de tiempo-temperatura-transformación (TTT)), abriendo así una "ventana" que permite deformar el acero al enfriarse entre estas dos narices sin formar ferrita, perlita y/o bainita. Por lo tanto, la etapa de conformación en caliente ("ausformación") se realiza preferentemente a una temperatura dentro de esta ventana.

55 **[0045]** La etapa de conformación en caliente conduce a un aumento en la resistencia a la tracción TS y el límite elástico YS del acero, en comparación con un acero no sometido a tal etapa de conformación en caliente. En particular, la etapa de conformación en caliente conduce a un aumento ΔTS en la resistencia a la tracción de al menos 150 MPa

y a un aumento ΔYS en el límite elástico de al menos 150 MPa.

[0046] En este punto, el producto conformado en caliente tiene una estructura que consiste en austenita deformada, la relación de deformación de la austenita está comprendida entre 0,1 y 0,7, y el tamaño medio de los granos de austenita es inferior a 30 μm , preferentemente inferior a 10 μm .

[0047] Según la invención, el producto conformado en caliente se temple a continuación enfriándolo, a una tasa de enfriamiento VR_2 superior a la tasa crítica de enfriamiento martensítico, a una temperatura de templado QT inferior a la temperatura Ms de inicio de martensita del acero, con el fin de obtener una estructura que contiene entre 40 % y 90 % de martensita, el resto de la estructura es austenita.

[0048] Como se desea tener una estructura final que contenga una cantidad significativa de austenita retenida, es decir, entre 5 % y 35 %, la temperatura QT no ha de ser demasiado baja y ha de seleccionarse según la cantidad deseada de austenita retenida, en cualquier caso, más alta que la temperatura de transformación Mf del acero y más baja que la temperatura a la que se completa la transformación de martensita. Más específicamente, es posible determinar para cada composición química del acero una temperatura de templado óptima QTop que logra el contenido de austenita residual deseado. Un experto en la materia sabe cómo determinar esta temperatura de templado teórica QTop.

[0049] Debido al hecho de que la transformación de martensita se produce a partir de un grano de austenita deformado y más fino, el refinamiento de los listones de martensita es mayor que en la técnica anterior, como se explicará a continuación.

[0050] Para garantizar de forma segura que la estructura contiene entre 40 % y 90 % de martensita para una composición según los intervalos indicados anteriormente, la temperatura de templado QT es preferentemente inferior a $Ms-20$ °C, y preferentemente comprendida entre 100 °C y 350 °C.

[0051] Sin enfriamiento adicional, el producto, cuya microestructura consiste esencialmente en este momento de austenita y martensita retenidas, entonces se mantiene inmediatamente o se recalienta hasta una temperatura de mantenimiento PT comprendida entre QT y 470 °C.

[0052] Por ejemplo, el producto se recalienta a una temperatura de mantenimiento PT superior a Ms.

[0053] A continuación, el producto se mantiene a la temperatura PT durante una duración Pt, estando Pt comprendida entre 5 s y 600 s.

[0054] Durante esta etapa de mantenimiento, las particiones de carbono entre la martensita y la austenita, es decir, se difunden de la martensita a la austenita, lo que conduce a una mejora de la ductilidad de la martensita y a un aumento en el contenido de carbono de la austenita sin aparición de una cantidad significativa de bainita y/o de carburos. La austenita enriquecida permite obtener un efecto TRIP ("plasticidad inducida por transformación") sobre el producto final.

[0055] El grado de partición aumenta con la duración de la etapa de mantenimiento. Por lo tanto, la duración de mantenimiento Pt se selecciona lo suficientemente larga como para proporcionar una partición lo más completa posible. La duración de mantenimiento Pt ha de ser superior a 5 s, y preferentemente superior a 20 s, con el fin de optimizar el enriquecimiento de la austenita en carbono.

[0056] Sin embargo, una duración demasiado larga puede causar la descomposición de la austenita y una partición demasiado alta de la martensita y, por ende, una reducción de las propiedades mecánicas. Por lo tanto, la duración es limitada para evitar tanto como sea posible la formación de ferrita. Por lo tanto, la duración de mantenimiento Pt debe ser inferior a 600 s. El producto se enfría finalmente a temperatura ambiente a una tasa de enfriamiento requerida para crear de 5 % a 30 % de martensita fresca, y para tener un porcentaje de superficie de austenita retenida del 5 % al 35 %. Preferentemente, la tasa de enfriamiento debe ser superior a 0,005 °C/s.

[0057] Las etapas de templado y mantenimiento se definen como una etapa de "templado y partición" ("Q-P").

[0058] El producto de acero así obtenido se caracteriza, en la ubicación sometida a la etapa de conformación en caliente, por una microestructura que consiste en martensita templada o listones de martensita sin carburos, con un porcentaje de superficie de al menos 40 %, martensita fresca, en forma de islotes o películas, siendo el porcentaje de superficie de dicha martensita fresca comprendido entre 5 % y 30 %, y austenita retenida, con un porcentaje de superficie de 5 % a 35 %.

[0059] Los listones de martensita son muy delgados. Preferentemente, estos listones de martensita, caracterizados por EBSD, tienen un tamaño medio de como máximo 1 μm .

[0060] Además, la relación de aspecto promedio de estos listones de martensita se comprende

preferentemente entre 2 y 5.

[0061] Estas características se determinan, por ejemplo, mediante la observación de la microestructura con un microscopio electrónico de barrido con una pistola de emisión de campo ("FEG-SEM", por sus siglas en inglés) a una ampliación superior a 1200x, acoplado a un dispositivo de difracción de electrones por retrodispersión ("EBSD", por sus siglas en inglés). Dos listones contiguos se definen como listones distintos cuando su desorientación es de al menos 5°. La morfología de los listones individualizados se determina entonces mediante análisis de imágenes con software convencional conocido por un experto en la materia. Por lo tanto, se determinan la dimensión más grande

l_{\max} , la dimensión más pequeña l_{\min} y la relación de aspecto $\frac{l_{\max}}{l_{\min}}$ de cada listón. Esta determinación se lleva a cabo

10 en una muestra de al menos 1000 listones. La relación de aspecto promedio $\frac{l_{\max}}{l_{\min}}$ que se determina a continuación para esta muestra, se comprende preferentemente entre 2 y 5.

[0062] La martensita templada y los listones de martensita comprenden menos de 0,5 % de carburos en porcentaje de superficie en comparación con la superficie de dicha martensita templada y los listones. Estos carburos tienen un tamaño medio inferior a 50 nm.

[0063] La dimensión más grande de los islotes de martensita fresca con una relación de aspecto inferior a 3, es inferior a 3 µm.

20 **[0064]** La austenita retenida es particularmente necesaria para mejorar la ductilidad. Como se ha visto anteriormente, la austenita retenida se deforma, con una relación de deformación comprendida entre 0,1 y 0,7.

[0065] Preferentemente, la austenita retenida tiene la forma de películas o islotes. La dimensión más pequeña de estas películas o islotes tiene un valor inferior a 0,3 µm y la dimensión más grande de estas películas o islotes tiene un valor medio inferior a 2 µm. El refinamiento de la austenita retenida mejora su estabilidad, de modo que, durante la deformación, la austenita retenida se transforma en martensita sobre un amplio intervalo de deformación. La austenita retenida también se estabiliza mediante la partición de carbono de martensita a austenita.

30 **[0066]** El tamaño medio del grano austenítico anterior, que es el tamaño medio de la austenita justo antes de su transformación al enfriarse, es decir, en el presente caso, el tamaño medio de la austenita después de la etapa de conformación en caliente, es inferior a 30 µm, preferentemente inferior a 10 µm. Además, la relación de aspecto del grano austenítico anterior es mayor que 1,3.

[0067] Para determinar esta relación de aspecto, los granos austeníticos anteriores se revelan en el producto final mediante un procedimiento adecuado, conocido por un experto en la materia, por ejemplo, mediante ataque químico con un reactivo de ataque químico con ácido pícrico. Los granos austeníticos anteriores se observan bajo un microscopio óptico o un microscopio electrónico de barrido. La relación de aspecto de los granos austeníticos anteriores se determina entonces mediante análisis de imágenes con software convencional conocido por un experto en la materia. En una muestra de al menos 300 granos, se determina la dimensión más grande y la dimensión más pequeña de los granos austeníticos anteriores, y la relación de aspecto de los granos se determina como la relación entre la dimensión más grande y la dimensión más pequeña. La relación de aspecto que se determina a continuación, como promedio de los valores obtenidos sobre las muestras, es superior a 1,3.

45 **[0068]** Con este procedimiento de fabricación, es posible obtener un producto de acero de alta resistencia que tiene un límite elástico YS de más de 1000 MPa hasta 1700 MPa y una resistencia a la tracción TS de más de 1300 MPa hasta 2000 MPa, junto con un alargamiento uniforme UE de al menos 7 % y un alargamiento total TE de al menos 10 %, siendo TS X TE del producto superior a 18.000 MPa % y siendo TS x UE del producto superior a 13.000 MPa %.

50 **[0069]** De hecho, incluso si el templado a temperatura QT, seguido de la etapa de mantenimiento a la temperatura PT, resulta en una disminución en el porcentaje de superficie de martensita en la microestructura del acero, lo que podría conducir a una disminución en la resistencia a la tracción TS, este tratamiento aumenta la ductilidad de la martensita a través del refinamiento de la estructura, asegura la ausencia de precipitados de carburo y conduce a la formación de austenita enriquecida en carbono, de modo que este tratamiento resulta en un aumento del límite elástico YS, de la resistencia a la tracción TS, y de los alargamientos uniforme y total.

[0070] Según una primera realización de la invención, el procedimiento de fabricación se realiza para fabricar

una lámina de acero.

[0071] Según esta primera realización, el producto de partida calentado es una lámina de acero laminada en caliente con una composición según la invención, y la etapa de conformación en caliente es una etapa de laminación en caliente.

[0072] La etapa de proporción de un producto de partida calentado con una estructura totalmente austenítica comprende proporcionar un semiproducto con una composición según la invención, calentar el semiproducto a una temperatura T_1 superior a la temperatura AC_3 del acero para obtener una estructura totalmente austenítica y someter el semiproducto a una etapa de laminación en bruto, con una deformación de reducción acumulada ϵ_a mayor que 1, para obtener dicha lámina de acero laminada en caliente.

[0073] El semiproducto se obtiene colando un acero con una composición según la invención. La colada puede realizarse en forma de lingotes o desbastes colados de manera continua, con un espesor aproximado de 200 mm. La colada también puede llevarse a cabo para obtener desbastes delgados con un espesor de unas pocas decenas de milímetros, por ejemplo, de entre 50 mm y 80 mm.

[0074] El semiproducto se somete a una austenización completa mediante calentamiento a una temperatura T_1 comprendida entre 1050 y 1250 °C, durante una duración t_1 suficiente para permitir una austenización completa. La temperatura T_1 está, por lo tanto, por encima de la temperatura AC_3 a la que se completa la transformación de ferrita en austenita tras el calentamiento. Por lo tanto, este calentamiento resulta en una austenización completa del acero y en la disolución de carbonitruros de Nb que pueden estar presentes en el producto de partida. Es más, la temperatura T_1 es lo suficientemente alta como para permitir realizar una etapa de laminación en bruto posterior por encima de A_{r3} .

[0075] A continuación, el semiproducto se somete a una laminación en bruto a una temperatura comprendida entre 1200 °C y 850 °C, con una temperatura de laminación final T_2 por encima de A_{r3} , de modo que la estructura de acero permanece totalmente austenítica en ese paso.

[0076] La deformación acumulada ϵ_a de la laminación en bruto es mayor que 1. Al designarse por t_i el espesor del semiproducto antes de la laminación en bruto, y por t_f el espesor del semiproducto después de la terminación de

$$\epsilon_a = \ln \left(\frac{t_i}{t_f} \right)$$

la laminación en bruto, ϵ_a se calcula a través de:

[0077] El tamaño medio de grano austenítico así obtenido es inferior a 30 μm . En este paso, este tamaño medio de grano austenítico se puede medir mediante ensayos donde el espécimen de acero se temple directamente después de la etapa de laminación en bruto. La muestra se corta a continuación a lo largo de una dirección paralela a una dirección de laminación para obtener una superficie de corte. La superficie cortada se pule y se ataca químicamente con un reactivo conocido por un experto en la materia, por ejemplo, un reactivo Béchet-Beaujard, que revela los límites del grano austenítico previos.

[0078] La lámina laminada en caliente se enfría a continuación a una temperatura T_3 comprendida entre 380 °C y 700 °C, a una tasa de enfriamiento VR_1 mayor que 2 °C/s, con el fin de evitar la transformación de austenita.

[0079] La lámina laminada en caliente se somete a continuación a una etapa de laminación en caliente final con una deformación de reducción acumulada ϵ_b comprendida entre 0,1 y 0,7. La laminación en caliente final se realiza en el intervalo de temperatura entre 380 °C y 700 °C.

[0080] La lámina de acero laminada en caliente así obtenida tiene una estructura que aún consiste en austenita, con un tamaño de grano austenítico inferior a 30 μm , preferentemente inferior a 10 μm . Por lo tanto, la lámina laminada en caliente se somete a ausformación.

[0081] La lámina de acero laminada en caliente se enfría a continuación a una tasa de enfriamiento VR_2 mayor que la tasa crítica de enfriamiento martensítico, hasta una temperatura de templado QT para obtener un porcentaje de superficie de martensita comprendido entre 40 % y 90 %, el resto es austenita no transformada. La temperatura QT está preferentemente por debajo de $Ms-20$ °C y por encima de Mf , por ejemplo, comprendida entre 100 °C y 350 °C. Sin enfriamiento adicional, la lámina entonces se mantiene inmediatamente a, o se recalienta desde la temperatura QT hasta una temperatura de mantenimiento PT comprendida entre QT y 470 °C, y se mantiene a la temperatura PT durante una duración Pt, siendo Pt comprendida entre 5 s y 600 s. Durante esta etapa de mantenimiento, las particiones de carbono entre la martensita y la austenita, es decir, se difunden de la martensita a la austenita sin crear carburos. El grado de partición aumenta con la duración de la etapa de mantenimiento. Por lo tanto, la duración se selecciona para ser lo suficientemente larga como para proporcionar la partición más completa posible. Sin embargo, una duración demasiado larga puede causar la descomposición de la austenita y una partición demasiado alta de la

martensita y, por ende, una reducción de las propiedades mecánicas. Por lo tanto, la duración es limitada para evitar tanto como sea posible la formación de ferrita. La lámina se enfría finalmente a temperatura ambiente a una tasa de enfriamiento superior a 0,005 °C/s para obtener del 5 % al 30 % de martensita fresca, y para obtener un porcentaje de superficie de austenita retenida del 5 % al 35 %.

5 **[0082]** Según una segunda realización de la invención, el procedimiento de fabricación se realiza para fabricar una pieza de acero.

10 **[0083]** Según esta segunda realización, el producto de partida es una pieza en bruto de acero con una composición según la invención.

[0084] La etapa de proporción de un producto de partida calentado comprende proporcionar una pieza en bruto de acero con una composición según la invención, y calentar la pieza en bruto de acero a una temperatura superior a la temperatura AC₃ del acero para obtener una estructura totalmente austenítica.

15 **[0085]** La pieza en bruto de acero tiene un espesor entre 1,0 mm y 4,0 mm, por ejemplo.

[0086] Esta pieza en bruto de acero se obtiene cortando una lámina de acero o bobina en una forma relacionada con la geometría final deseada de la pieza a producir.

20 **[0087]** Esta pieza en bruto de acero puede no estar recubierta u opcionalmente estar pre-recubierta. El pre-recubrimiento puede ser aluminio o una aleación a base de aluminio. En este último caso, el pre-recubrimiento puede obtenerse sumergiendo la chapa en un baño de aleación de Si-Al, que comprende, en peso, del 5 % al 11 % de Si, del 2 % al 4 % de Fe, opcionalmente de 15 ppm a 30 ppm de Ca, el resto consiste en Al e impurezas resultantes de la fundición.

25 **[0088]** El pre-recubrimiento también puede ser zinc o una aleación a base de zinc. El pre-recubrimiento puede obtenerse mediante galvanización por inmersión en caliente continua o mediante recocido después de la galvanización.

30 **[0089]** La pieza en bruto de acero se calienta en primer lugar a una temperatura T₁ por encima de la temperatura Ac₃ del acero, preferentemente de entre 900 °C y 950 °C, a una tasa de calentamiento, por ejemplo, superior a 2 °C/s, para obtener una estructura totalmente austenítica. La pieza en bruto se mantiene a la temperatura T₁ con el fin de obtener una temperatura homogénea dentro de la pieza en bruto. Dependiendo del espesor de la pieza en bruto, comprendido entre 1,0 mm y 4,0 mm, el tiempo de mantenimiento a temperatura T₁ es de 3 minutos a 10 minutos.

35 **[0090]** Esta etapa de calentamiento, que preferentemente se realiza en un horno, resulta en una austenización completa del acero.

40 **[0091]** La pieza en bruto de acero calentada se extrae a continuación del horno, se transfiere a un dispositivo de conformación en caliente, por ejemplo, una prensa de estampado en caliente, y se enfría a una temperatura T₃ comprendida entre 380 °C y 700 °C, a una tasa de enfriamiento VR₁ mayor que 2 °C/s, con el fin de evitar una transformación de austenita. La transferencia de la pieza en bruto puede llevarse a cabo antes o después del enfriamiento de la pieza en bruto a la temperatura T₃. En cualquier caso, esta transferencia ha de ser lo suficientemente

45 rápida para evitar la transformación de austenita. La pieza en bruto de acero se somete a continuación a una etapa de conformación en caliente en el intervalo de temperatura comprendido entre 380 °C y 700 °C, por ejemplo, comprendido entre 450 °C y 550 °C, con el fin de permitir el endurecimiento de la austenita, evitar la recristalización de la austenita deformada y evitar la transformación de la austenita durante la etapa de conformación en caliente. Por lo tanto, esta etapa de conformación en caliente se realiza mediante ausformación.

50 **[0092]** La deformación se puede realizar mediante procedimientos tales como laminación en caliente o estampado en caliente en una prensa, formación por rodillos o embutición en caliente.

55 **[0093]** La etapa de conformación en caliente puede llevarse a cabo en uno o varios pasos. La pieza en bruto se deforma con una deformación ε_b comprendida entre 0,1 y 0,7 en al menos una ubicación de la pieza en bruto.

[0094] Según una realización, el modo de deformación se selecciona de modo que la deformación acumulada ε_b esté comprendida entre 0,1 y 0,7 en toda la pieza en bruto.

60 **[0095]** Opcionalmente, la deformación se lleva a cabo de modo que esta condición solo se satisfaga en algunas ubicaciones particulares de la pieza en bruto, que corresponden a las ubicaciones más tensas, donde se desean propiedades mecánicas particularmente altas. La ubicación de la pieza en bruto deformada de este modo representa al menos el 20 % del volumen de la pieza en bruto, para obtener un aumento significativo de las propiedades mecánicas en la pieza final.

65

[0096] Según esta realización, se obtiene un producto con propiedades mecánicas diferentes de una ubicación de la pieza a otra.

[0097] La pieza de acero así obtenida, en las ubicaciones sometidas a la etapa de conformación en caliente, tiene una estructura que consiste en austenita, con un tamaño de grano austenítico inferior a 30 μm , preferentemente inferior a 10 μm .

[0098] La pieza de acero así obtenida se enfría a continuación a una tasa de enfriamiento VR_2 superior a la tasa crítica de enfriamiento martensítico, a una temperatura de templado QT, preferentemente por debajo de M_s-20 °C, por ejemplo, comprendida entre 100 °C y 350 °C, con el fin de obtener un porcentaje de superficie de martensita comprendido entre 40 % y 90 %, el resto es austenita.

[0099] La pieza de acero entonces se recalienta o se mantiene a una temperatura de mantenimiento PT comprendida entre QT y 470 °C, y se mantiene a la temperatura PT durante una duración Pt, siendo Pt comprendida entre 5 s y 600 s.

[0100] La pieza se enfría finalmente a temperatura ambiente a una tasa de enfriamiento superior a 0,005 °C/s para obtener del 5 % al 30 % de martensita fresca y para tener del 5 % al 35 % de austenita retenida.

[0101] A modo de ejemplo y comparación, las láminas fabricadas de aceros que tienen las composiciones que se notifican en la tabla I se produjeron mediante diversos procedimientos de fabricación.

Ejemplos

[0102]

Tabla I Composiciones de acero

Referencia de composición	C (%)	Mn (%)	Cr (%)	Mo (%)	Mn + Cr + 3Mo (%)	Si (%)	Al (%)	Si + Al (%)	P (%)	S (%)	N (%)	Ti (%)	Nb (%)	B (%)	Ms (°C)
2618A	0,200	2,0	1,02	-	3,03	1,49	0,026	1,516	0,014	0,020	0,004	0,013	0,026	0,0015	336
2618B	0,251	2,0	1,02	-	3,03	1,5	0,021	1,521	0,014	0,020	0,004	0,013	0,027	0,0015	313
2618C	0,247	2,0	1,01	-	3,01	1,48	0,021	1,501	0,014	0,020	0,004	0,013	0,026	0,0014	316
2618D	0,305	2,0	1,01	-	3,01	1,5	0,018	1,518	0,014	0,020	0,004	0,013	0,026	0,0015	292
2623A	0,198	2,0	-	0,149	2,45	1,5	0,022	1,522	0,016	0,020	0,003	0,013	0,019	0,0017	346
2623B	0,195	3,0	-	0,148	3,44	1,48	0,019	1,499	0,017	0,020	0,003	0,013	0,019	0,0018	313
2623C	0,307	3,0	-	0,146	3,44	1,49	0,018	1,508	0,017	0,020	0,003	0,013	0,019	0,0019	265
2623D	0,307	2,44	-	0,146	2,88	1,48	0,018	1,498	0,017	0,020	0,003	0,013	0,024	0,0019	283
2293D	0,247	1,95	1,51	-	3,46	1,55	0,019	1,574	0,019	0,020	0,003	0,014	0,026	0,0015	312

- [0103]** Se produjo una primera serie de láminas (Pruebas 1 a 7 en las Tablas II y III) según la primera realización de la invención, calentando semiproductos con las composiciones anteriores a una temperatura T_1 durante una duración t_1 , a continuación, sometiendo el semiproducto calentado a una laminación en bruto a una temperatura T_2 entre 1200 °C y 850 °C, con una deformación de reducción acumulada de 2.
- [0104]** Las láminas se enfriaron a continuación a una temperatura T_3 , a una tasa de enfriamiento VR_1 mayor que 20 °C/s, a continuación, se sometieron a una etapa final de laminación en caliente, comenzando a dicha temperatura T_3 , y terminando a una temperatura T_3' , con una deformación de reducción acumulada ϵ_b .
- 10 **[0105]** Las láminas se enfriaron a continuación a una temperatura QT, a continuación, se recalentaron inmediatamente a una temperatura de mantenimiento PT y se mantuvieron a temperatura PT durante una duración Pt (Pruebas 3 a 6 en la siguiente Tabla II).
- [0106]** Las láminas se enfriaron finalmente a temperatura ambiente a una tasa de enfriamiento superior a
15 0,1 °C/s.
- [0107]** Se produjo una segunda serie de láminas (Pruebas 8-14 en las Tablas II y III) según la segunda realización.
- 20 **[0108]** Las piezas en bruto de acero con las composiciones dadas, en este caso láminas de acero con un espesor de 3 mm, se calentaron a una temperatura T_1 , a una tasa de calentamiento superior a 2 °C/s, y se mantuvieron a temperatura T_1 durante una duración t_1 .
- [0109]** Las piezas en bruto de acero calentadas se enfriaron a continuación a una temperatura T_3 a una tasa de enfriamiento VR_1 mayor que 2 °C/s, a continuación, se sometieron a una etapa de conformación en caliente, comenzando a dicha temperatura T_3 , y terminando a una temperatura T_3' , con una deformación de reducción acumulada ϵ_b . En las condiciones de la invención, las láminas conformadas en caliente todavía eran totalmente austeníticas después de esta etapa de conformación en caliente.
- 25 **[0110]** Las láminas se enfriaron a continuación a una temperatura QT, a continuación, se recalentaron a una temperatura de mantenimiento PT y se mantuvieron a temperatura PT durante una duración Pt.
- [0111]** Las láminas se enfriaron finalmente a temperatura ambiente a una tasa de enfriamiento superior a
35 0,1 °C/s.
- [0112]** A efectos comparativos, se fabricó una tercera serie de láminas mediante procedimientos de fabricación no según la invención (Pruebas 15 a 18 en las Tablas II y III).
- [0113]** Los procedimientos de fabricación de las Pruebas 15 y 17 difieren de los procedimientos de fabricación utilizados para las primera y segunda series de ejemplos en que no incluyen una etapa de conformación en caliente a una temperatura comprendida entre 700 °C y 380 °C.
- 40 **[0114]** Los procedimientos de fabricación de las Pruebas 16 y 18 difieren de los procedimientos de fabricación utilizados para las primera y segunda series de ejemplos en que las láminas se enfriaron a temperatura ambiente inmediatamente después de la etapa de laminación final, sin ninguna etapa de mantenimiento, es decir, sin ninguna etapa de "templado y partición".
- 45 **[0115]** Los parámetros de fabricación para las primera, segunda y tercera series de láminas se notifican en la Tabla II, y las estructuras y propiedades mecánicas obtenidas se notifican en la Tabla III.
- 50

Tabla II Condiciones de fabricación.

N.º de lámina	Molde	T1 (°C)/t1 (mn)	T2 (°C)	T3 (°C)	T3' (°C)	ϵ_b	QT (°C)	Ms-20 (°C)	PT (°C)	Pt (s)
1	2618A	1200/30	1058	500	480	0,42	305	316	410	160
2	2618B	1200/30	1013	522	470	0,41	287	293	418	180
3	2618C	1200/30	965	590	410	0,4	265	296	430	200
4	2618D	1200/30	950	465	430	0,37	240	272	392	150
5	2623B	1050/15	900	540	420	0,45	280	293	412	160
6	2623C	1200/30	950	560	440	0,35	225	245	430	260
7	2293D	1150/30	950	478	450	0,45	284	292	400	90

ES 2 803 599 T3

(continuación)

N.º de lámina	Molde	T1 (°C)/t1 (mn)	T2 (°C)	T3 (°C)	T3' (°C)	ε _b	QT (°C)	Ms-20 (°C)	PT (°C)	Pt (s)
8	2618B	850/15	-	500	410	0,38	292	418	415	180
9	2618C	850/15	-	525	410	0,25	270	430	418	180
10	2618D	1200/30	-	500	410	0,44	225	392	404	230
11	2623C	950/15	-	540	460	0,60	200	245	430	420
12	2623D	950/15	-	600	450	0,32	230	263	415	420
13	2293D	900/10	-	550	385	0,35	236	292	370	90
14	<u>2623A</u>	950/15	-	565	505	0,6	235	326	400	160
15	2618C	950/10	-	1	1	0	275	296	410	160
16	2618C	1150/30	850	550	450	0,45				1
17	2623C	950/15	-	1	1	0	200	245	430	420
18	<u>2623C</u>	950/15	-	540	460	0,60	1		1	1

Valores subrayados: fuera de la invención

Tabla III Propiedades mecánicas e infraestructuras obtenidas

N.º de lámina	Estructura	Fración de austenita (%)	Presencia de martensita fresca entre 5 y 30 %	¿Presencia de islotes de martensita fresca con un tamaño máximo < 3 µm y una relación de aspecto < 3?	YS (MPa)	TS (MPa)	UE (%)	TE (%)	TS*TE (MPa %)	TS*UE (MPa %)
1	M+A	18,6	Sí	Sí	1006	1368	10,8	15,0	20525	14774
2	M+A	18,7	Sí	Sí	1096	1468	11,8	15,8	23145	17322
3	M+A	9	Sí	Sí	1218	1528	10,0	14,5	22110	15280
4	M+A	13,6	Sí	Sí	1296	1637	10,5	14,5	23687	17188
5	M+A	10,8	Sí	Sí	1147	1385	9,9	13,3	18374	13711
6	M+A	17,7	Sí	Sí	1004	1617	10,9	13,8	22261	17625
7	M+A	11	Sí	Sí	1038	1666	8,0	13,2	21991	13328
8	M+A	11,6	Sí	Sí	1098	1506	10,7	14,8	22344	16114
9	M+A	14,7	Sí	Sí	1282	1512	10,0	14,4	21722	15120
10	M+A	17,9	Sí	Sí	1197	1565	13,5	17,4	27144	21127
11	M+A	15,3	Sí	Sí	1380	1495	14,8	18,2	27259	22126
12	M+A	13,8	Sí	Sí	1128	1552	10,4	13,4	20849	16141
13	M+A	9,2	Sí	Sí	1254	1643	9,0	11,5	18836	14787
14	M+A	9,7	Sí	Sí	1041	1116	11,9	16,2	18085	13280
15	M+A	11	Sí	No	1016	1344	8,1	12,7	17109	10886
16	M+A	n.d.	No	Sí	1572	1986	3,3	6,5	12909	6553
17	M+A	n.d.	Sí	No	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
18	M+A	1	No	Sí	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Valores subrayados: fuera de la invención n.d.: no determinado

[0116] Las microestructuras del acero según los ejemplos 1-13 comprenden más del 40 % de martensita templada o listones de ferrita sin carburos, 5-30 % de islotes o película de martensita fresca y austenita entre 5 y 35 %. Las microestructuras del acero según los ejemplos 1-13 son tales que los listones de martensita tienen un tamaño medio de menos de 1 µm, y la relación de aspecto de los listones de martensita está comprendida entre 2 y 5. Además, la relación de aspecto del grano austenítico anterior es mayor que 1,3 para los ejemplos 1-13.

[0117] Estos ejemplos tienen un límite elástico YS comprendido entre 1000 MPa y 1700 MPa, una resistencia a la tracción TS comprendida entre 1300 MPa y 2000 MPa, un alargamiento uniforme superior al 7 %, un alargamiento total superior al 10 %, un producto (resistencia a la tracción x alargamiento total) superior a 18.000 MPa % y un producto (resistencia a la tracción x alargamiento uniforme) superior a 13.000 MPa %.

[0118] Las Pruebas 11, 17 y 18 tienen la misma composición. La Prueba 11 se obtuvo mediante un procedimiento de fabricación según la invención, que comprende tanto una etapa de conformación en caliente a una temperatura comprendida entre 700 °C y 380 °C como una etapa de mantenimiento, mientras que la Prueba 17 se obtuvo con un procedimiento de fabricación que no comprende ninguna etapa de conformación en caliente a una temperatura comprendida entre 700 °C y 380 °C, y la Prueba 18 se obtuvo con un procedimiento de fabricación que no comprende ninguna etapa de mantenimiento que permita la partición de carbono en martensita.

[0119] En otras palabras:

- La Prueba 11, según la invención, comprende una etapa de ausformación y una etapa de "templado y partición";
- La Prueba 17, no según la invención, comprende solo una etapa de "templado y partición", sin ausformación;
- La Prueba 18, no según la invención, comprende solo una etapa de ausformación, sin una etapa de "templado y partición".

[0120] Las Figuras 1, 2 y 3 muestran una comparación de la estructura de las Pruebas 11, 17 y 18, respectivamente. En estas Figuras, la austenita (A) aparece como zonas completamente gris claro o blancas, la martensita fresca (M) aparece como zonas de gris claro y la martensita templada (Mt) aparece como zonas de gris oscuro con o sin partículas blancas pequeñas que representan carburos. MA se refiere a los islotes de austenita/martensita.

[0121] La comparación de la estructura de la Prueba 11 (ilustrada en la Figura 1) con la estructura de la Prueba 17 (ilustrada en la Figura 2) muestra que la combinación de una etapa de conformación en caliente a una temperatura comprendida entre 700 °C y 380 °C y una etapa de mantenimiento a una temperatura PT entre QT y 470 °C según la invención proporciona una estructura mucho más fina y más homogénea que un procedimiento que comprende una etapa de mantenimiento pero ninguna etapa de conformación en caliente a una temperatura comprendida entre 700 °C y 380 °C.

[0122] La estructura de la Prueba 18, ilustrada en la Figura 3, comprende esencialmente martensita fresca. Este resultado muestra que en ausencia de una etapa de mantenimiento que permita la partición de carbono en martensita, la austenita se transforma casi totalmente en martensita fresca al enfriarse.

[0123] Las consecuencias de estas diferencias en las estructuras sobre las propiedades mecánicas de las láminas se enfatizan por la comparación de las propiedades mecánicas de las Pruebas 3, 9, 15 y 16.

[0124] De manera similar a las Pruebas 11, 17 y 18, las Pruebas 3, 9, 15 y 16 tienen la misma composición y se obtuvieron mediante diversos procedimientos de fabricación.

[0125] Las Pruebas 3 y 9 se obtuvieron mediante un procedimiento de fabricación según la invención, que comprende tanto una etapa de conformación en caliente a una temperatura comprendida entre 700 °C y 380 °C como una etapa de mantenimiento. Las Pruebas 3 y 9 tienen un límite elástico superior a 100 MPa, una resistencia a la tracción superior a 1600 MPa, un alargamiento uniforme superior a 7 %, un alargamiento total superior a 10 % y una resistencia a la tracción x alargamiento total del producto superior a 18.000 MPa %.

[0126] Por el contrario, la Prueba 15 se obtuvo con un procedimiento de fabricación que no comprendía ninguna etapa de conformación en caliente a una temperatura comprendida entre 380 °C y 700 °C. La Prueba 15, aunque tiene buenas propiedades de alargamiento, tiene una resistencia a la tracción insuficiente, que es muy inferior a 1600 MPa, de modo que su resistencia a la tracción x alargamiento total del producto es inferior a 18.000 MPa %, y su resistencia a la tracción x alargamiento uniforme del producto es inferior a 13.000 MPa %. En particular, debido a la ausencia de una etapa de conformación en caliente a una temperatura comprendida entre 380 °C y 700 °C durante la fabricación de la Prueba 15, la microestructura de la Prueba 15 no tiene listones de martensita que tengan un tamaño medio inferior a 1 µm y una relación de aspecto entre 2 y 5.

[0127] Además, la Prueba 16, obtenida con un procedimiento de fabricación que no comprendía ninguna etapa de mantenimiento que permitiera la partición de carbono en martensita, aunque tiene un alto límite elástico y resistencia

a la tracción, tiene alargamientos uniforme y total insuficientes, por lo que su resistencia a la tracción x alargamiento total del producto es mucho menor que 18.000 MPa % y su resistencia a la tracción x alargamiento uniforme del producto es mucho menor que 13.000 MPa %.

- 5 **[0128]** Estos ejemplos muestran que sorprendentemente, aplicar tanto una etapa de conformación en caliente a una temperatura comprendida entre 700 °C y 380 °C como una etapa de mantenimiento conduce a un mejor par de propiedades de ductilidad y resistencia que los alargamientos y resistencias promedio obtenidas con una etapa de conformación en caliente a una temperatura comprendida entre 380 °C y 700 °C o una etapa de mantenimiento.
- 10 **[0129]** Este efecto se ilustra en las Figuras 4, 5 y 6.
- [0130]** La Figura 4 es una gráfica que representa el alargamiento total TE de las Pruebas 3, 9, 15 y 16 como una función de su resistencia a la tracción TS. El dominio de la invención está delimitado por las líneas L1 (TS = 1300 MPa), L2 (TS = 2000 MPa), L3 (TE = 10 %) y L4 (TS x TE = 18.000 MPa %).
- 15 **[0131]** La Figura 4 muestra que el par alargamiento total/resistencia a la tracción obtenido mediante un procedimiento de fabricación según la invención, que comprende tanto una etapa de conformación en caliente a una temperatura comprendida entre 700 °C y 380 °C como una etapa de mantenimiento, es mucho mejor que el par
- 20 **[0132]** Además, estos resultados muestran que sorprendentemente, el procedimiento según la invención proporciona una resistencia a la tracción x alargamiento total del producto superior a 18.000 MPa %, mientras que tal valor alto no se obtiene a lo largo de la línea l1.
- 25 **[0133]** La Figura 5 es una gráfica que representa el alargamiento uniforme UE de las Pruebas 3, 9, 15 y 16 como una función de su límite elástico YS. El dominio de la invención está delimitado por las líneas L5 (YS = 1000 MPa), L6 (YS = 1700 MPa) y L7 (UE = 7 %).
- 30 **[0134]** De manera similar a la Figura 4, la Figura 5 muestra que el alargamiento uniforme y el límite elástico obtenidos mediante un procedimiento de fabricación según la invención es mucho mejor que el alargamiento
- 35 **[0135]** La Figura 6 es una gráfica que representa el alargamiento uniforme UE de las Pruebas 3, 9, 15 y 16 como una función de su resistencia a la tracción TS. El dominio de la invención está delimitado por las líneas L8 (TS = 1300 MPa), L9 (TS = 2000 MPa), L10 (UE = 7 %) y L11 (TS x UE = 13.000 MPa %).
- 40 **[0136]** La Figura 6 muestra que el par alargamiento uniforme/resistencia a la tracción obtenido mediante un procedimiento de fabricación según la invención, que comprende tanto una etapa de conformación en caliente a una temperatura comprendida entre 700 °C y 380 °C como una etapa de mantenimiento, es mucho mejor que el par
- 45 **[0137]** Además, estos resultados muestran que sorprendentemente, el procedimiento según la invención proporciona una resistencia a la tracción x alargamiento uniforme del producto superior a 13.000 MPa %, mientras que tal valor alto no se obtiene a lo largo de la línea 12.
- 50 **[0138]** Las láminas o piezas producidas de este modo se pueden utilizar para fabricar piezas de automoción tales como rieles delanteros o traseros, montantes, refuerzos de parachoques.
- 55

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de fabricación de un producto de acero, que comprende las etapas sucesivas que consisten en:

5

- proporcionar un producto de partida de acero calentado a una temperatura comprendida entre 380 °C y 700 °C, teniendo dicho producto de partida de acero calentado una estructura totalmente austenítica metaestable, teniendo dicho producto de partida de acero calentado una composición que consiste, en porcentaje en peso:

10

0,15 % ≤ C ≤ 0,40 %,
 1,5 % ≤ Mn ≤ 4,0 %,
 0,5 % ≤ Si ≤ 2,5 %,
 0,005 % ≤ Al ≤ 1,5 %, con 0,8 % ≤ Si+Al ≤ 2,5 %,

15

S ≤ 0,05 %,

al menos un elemento seleccionado de entre Cr y Mo, de modo que:

20

0 % ≤ Cr ≤ 4,0%,
 0 % ≤ Mo ≤ 0,5%,
 y
 2,7 % ≤ Mn + Cr + 3 Mo ≤ 5,7 %,

y opcionalmente uno o varios elementos seleccionados de entre:

25

Nb ≤ 0,1 %,
 Ti ≤ 0,1 %,
 Ni ≤ 3,0 %,
 0,0005 % ≤ B ≤ 0,005 %, 0,0005 % ≤ Ca ≤ 0,005 %,

30

el resto de la composición consiste en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición;

- someter dicho producto de partida de acero calentado a una etapa de conformación en caliente a una temperatura comprendida entre 700 °C y 380 °C, con una deformación acumulada ϵ_b entre 0,1 y 0,7, en al menos una ubicación de dicho producto de partida de acero calentado, para obtener un producto de acero conformado en caliente, la estructura del acero permanece totalmente austenítica, a continuación

35

- templar el producto de acero conformado en caliente al enfriarlo, a una tasa de enfriamiento VR_2 superior a la tasa crítica de enfriamiento martensítico, a una temperatura de templado QT inferior a la temperatura de inicio de la martensita M_s del acero con el fin de obtener una estructura que contiene entre 40 % y 90 % de martensita, el resto de la estructura es austenita, a continuación

40

- mantener o recalentar el producto hasta una temperatura de mantenimiento PT entre QT y 470 °C y mantener el producto a dicha temperatura PT durante una duración P_t entre 5 s y 600s.

2. Un procedimiento según la reivindicación 1, que comprende además una etapa de enfriamiento del producto mantenido a temperatura ambiente a una tasa de enfriamiento superior a 0,005 °C/s para obtener martensita fresca.

45

3. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, donde el producto de partida de acero calentado es una lámina de acero laminada en caliente y el producto de acero es una lámina de acero, y donde dicha etapa de conformación en caliente es una etapa de laminación.

50

4. Un procedimiento según la reivindicación 3, donde la etapa de proporción de un producto de partida de acero calentado comprende:

55

- calentar un semiproducto de acero, con una composición según la reivindicación 1, a una temperatura superior a la temperatura AC_3 del acero para obtener una estructura totalmente austenítica,
 - someter dicho semiproducto de acero a una etapa de laminación en bruto a una temperatura por encima de una temperatura T_2 entre 1200 y 850 °C, con una deformación de reducción acumulada ϵ_a mayor que 1, para obtener dicho producto de partida de acero calentado.

60

5. Un procedimiento según la reivindicación 4, donde dicho producto de partida de acero calentado tiene un tamaño medio de grano austenítico inferior a 30 μm .

6.

Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, donde el producto de partida es una pieza en bruto de acero, el producto de acero es una pieza de acero, y la etapa de proporción de un producto de partida de acero calentado comprende calentar dicha pieza en bruto de acero a una temperatura superior a la

65

temperatura AC₃ del acero para obtener una estructura totalmente austenítica.

7. Un procedimiento según la reivindicación 6, donde dicha pieza en bruto de acero tiene un espesor entre 1,0 mm y 4,0 mm.
- 5 8. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, donde dicha etapa de conformación en caliente es una etapa de laminación en caliente.
9. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, donde dicha etapa de conformación en caliente es una etapa de estampado en caliente.
- 10 10. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, donde dicha etapa de conformación en caliente es una etapa de embutición en caliente.
- 15 11. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, donde dicha etapa de conformación en caliente es una etapa de formación por rodillos.
12. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11, donde dicha pieza en bruto de acero comprende al menos una capa de recubrimiento.
- 20 13. Un procedimiento según la reivindicación 9, donde se aplica una capa de recubrimiento sobre dicho producto de partida antes del calentamiento, y donde la capa de recubrimiento es un recubrimiento de aluminio o a base de aluminio, o un recubrimiento de zinc o a base de zinc.
- 25 14. Un producto de acero que tiene una composición que consiste, en porcentaje en peso:
- 0,15 % ≤ C ≤ 0,40 %,
 1,5 % ≤ Mn ≤ 4,0 %,
 0,5 % ≤ Si ≤ 2,5 %,
- 30 0,005 % ≤ Al ≤ 1,5 %, con 0,8 % ≤ Si+Al ≤ 2,5 %,
 S ≤ 0,05 %,
 P ≤ 0,1 %,
- al menos un elemento seleccionado de entre Cr y Mo, de modo que:
- 35 0 % ≤ Cr ≤ 4,0%,
 0 % ≤ Mo ≤ 0,5%,
 y
 40 2,7 % ≤ Mn + Cr + 3 Mo ≤ 5,7 %,
- y opcionalmente uno o varios elementos seleccionados de entre:
- 45 Nb ≤ 0,1 %
 Ti ≤ 0,1 %,
 Ni ≤ 3,0 %;
 0,0005 % ≤ B ≤ 0,005 % 0,0005 % ≤ Ca ≤ 0,005 %,
- el resto de la composición consiste en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición, la estructura de al menos una ubicación del producto de acero consiste en:
- 50 - martensita templada o listones de martensita sin carburos, con un porcentaje de superficie de al menos 40 %, siendo los listones de martensita de tamaño medio inferior a 1 μm, la relación de aspecto de dichos listones de martensita está comprendida entre 2 y 5,
 - martensita fresca, en forma de islotes o películas, estando el porcentaje de superficie de dicha martensita fresca comprendido entre 5 % y 30 %, y
 55 - austenita, con un porcentaje de superficie de 5 % a 35 %.
15. Un producto de acero según la reivindicación 14, donde el producto de la resistencia a la tracción TS del acero por el alargamiento uniforme UE del acero es superior o igual a 13.000 MPa %.
- 60 16. Un producto de acero según cualquiera de las reivindicaciones 14 o 15, donde el tamaño máximo de los islotes de dicha martensita fresca con una relación de aspecto inferior a 3 es inferior a 3 μm.
17. Un producto de acero según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 16, donde el tamaño medio del grano austenítico anterior es inferior a 30 μm.
- 65

ES 2 803 599 T3

18. Un producto de acero según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 17, donde la relación de aspecto del grano austenítico anterior es mayor que 1,3.
- 5 19. Un producto de acero según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 18, donde dicha austenita tiene forma de películas o islotes, la dimensión más pequeña de dichas películas o islotes tiene un valor inferior a 0,3 μm , la dimensión más grande de dichas películas o islotes tiene un valor medio inferior a 2 μm .
- 10 20. Un producto de acero según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 19, donde dicha martensita templada comprende, en porcentaje de superficie, menos del 0,5 % de carburos, en comparación con la superficie de dicha martensita templada, y donde dichos carburos tienen un tamaño medio inferior a 50 nm.
- 15 21. Un producto de acero según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 20, donde dicho producto de acero es una lámina de acero y la estructura de toda la lámina de acero consiste en:
- martensita templada o listones de martensita sin carburos, con un porcentaje de superficie de al menos 40 %,
 - martensita fresca, en forma de islotes o películas, estando el porcentaje de superficie de dicha martensita fresca comprendido entre 5 % y 30 %, y
 - austenita, con un porcentaje de superficie de 5 % a 35 %.
- 20 22. Un producto de acero según cualquiera de las reivindicaciones 14 a 20, donde dicho producto de acero es una pieza de acero estampada en caliente, y la estructura de al menos 20 % del volumen de dicha pieza estampada en caliente consiste en:
- martensita templada o listones de martensita sin carburos, con un porcentaje de superficie de al menos 40 %,
 - martensita fresca, en forma de islotes o películas, estando el porcentaje de superficie de dicha martensita fresca comprendido entre 5 % y 30 %, y - austenita, con un porcentaje de superficie de 5 % a 35 %.
- 25 23. Un producto de acero según la reivindicación 22, donde dicho producto de acero comprende al menos una capa de recubrimiento
- 30 24. Un producto de acero según la reivindicación 23, donde dicha al menos una capa de recubrimiento es zinc o aleación a base de zinc, o aluminio o aleación a base de aluminio.
- 35 25. Un producto de acero según la reivindicación 24, donde dicha al menos una capa de recubrimiento se aplica antes del estampado en caliente.

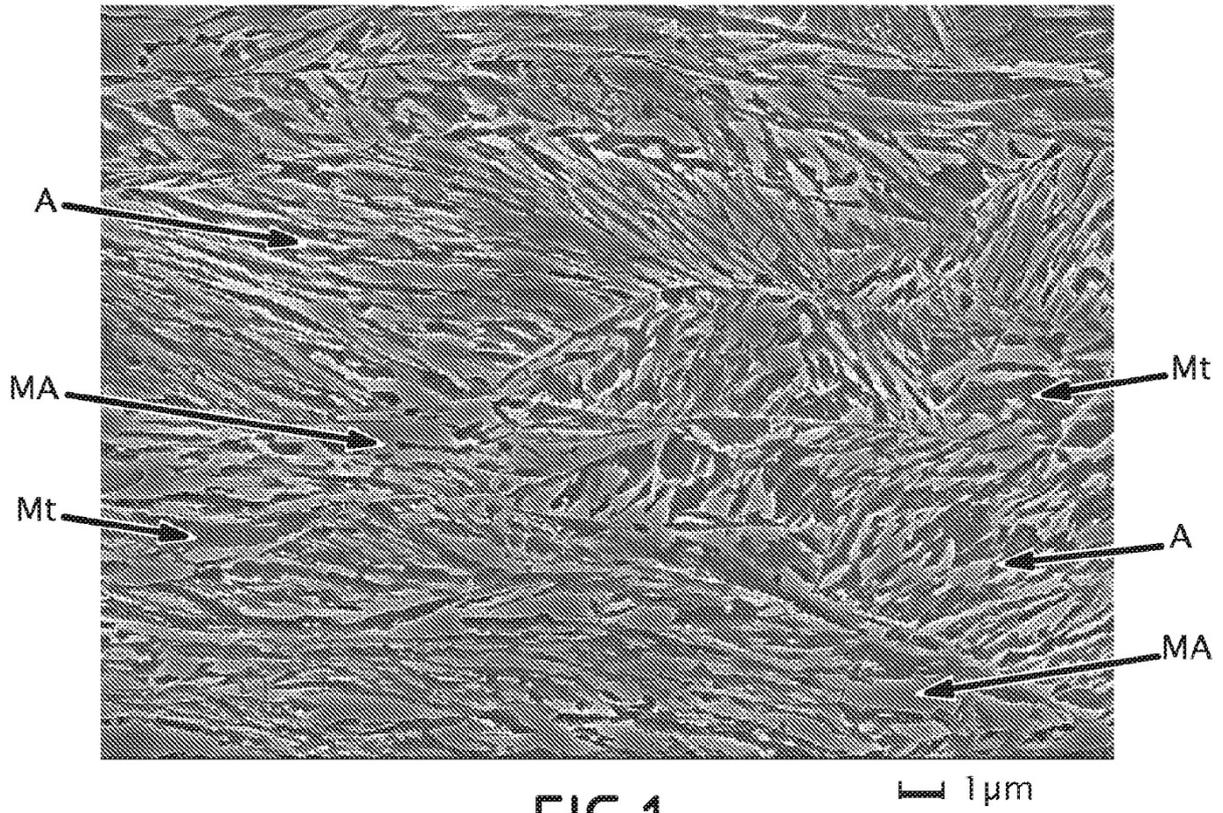


FIG.1

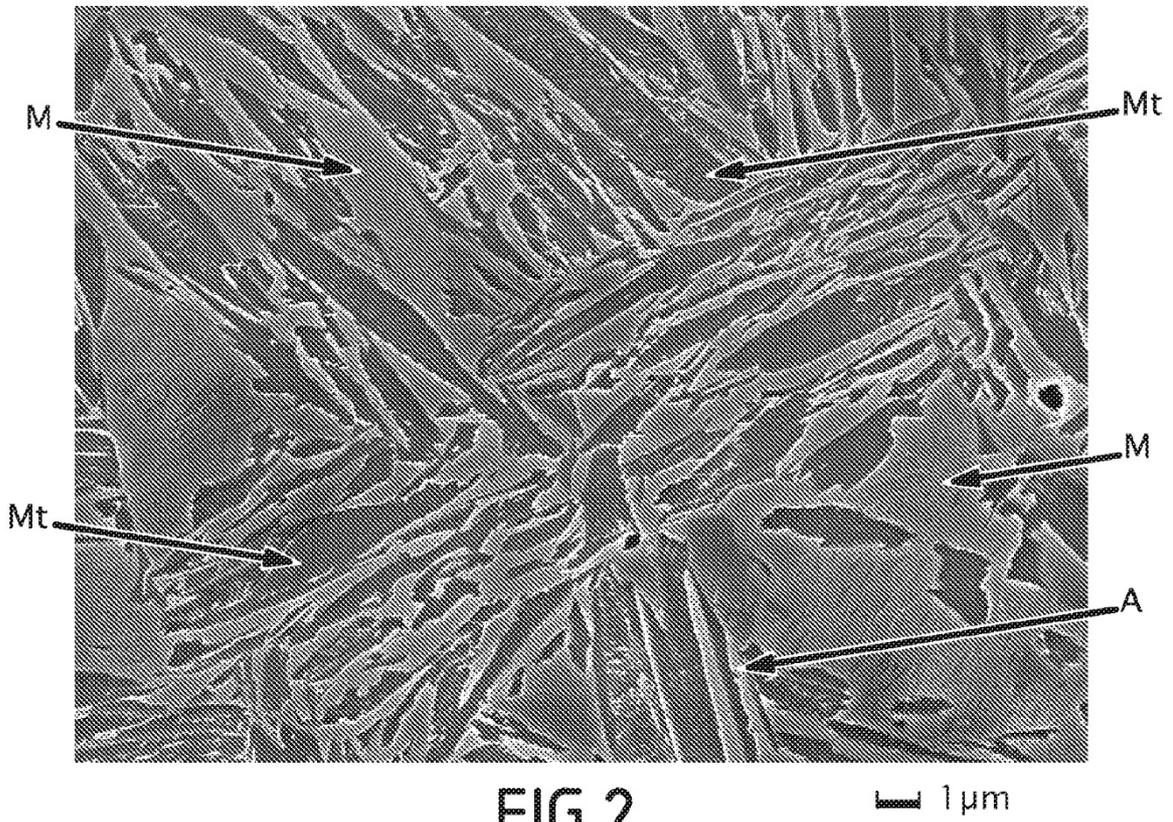


FIG.2

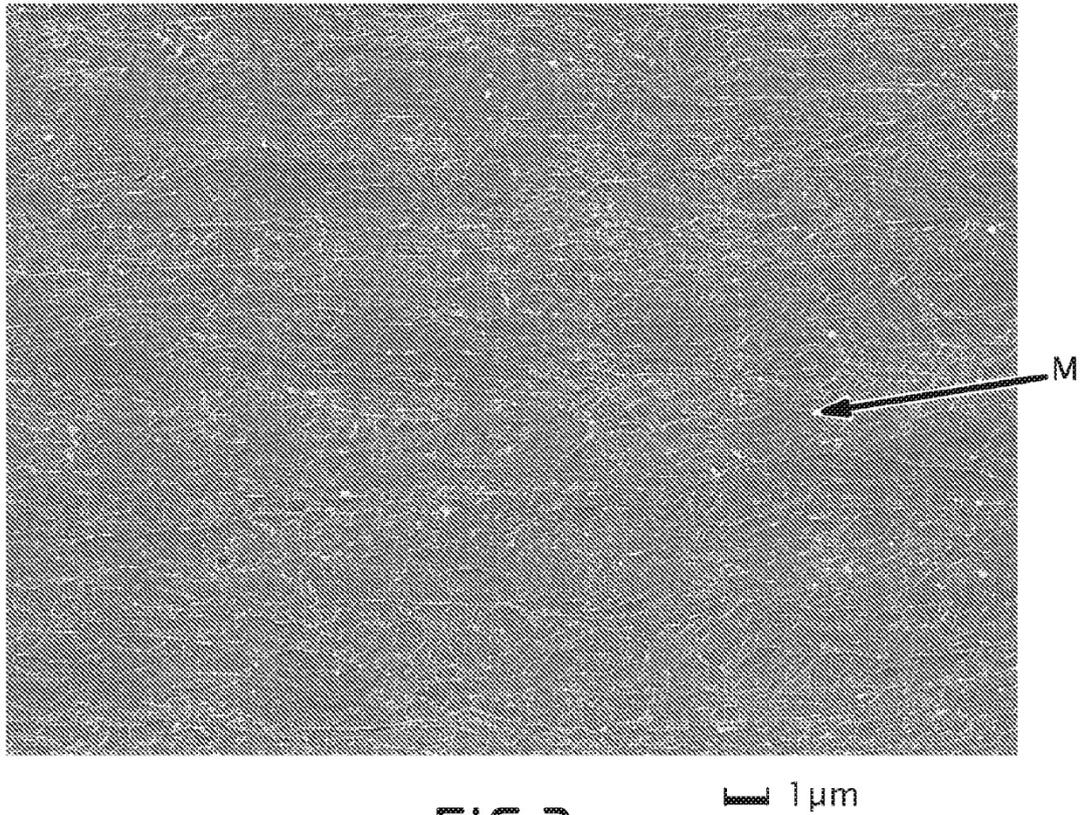


FIG.3

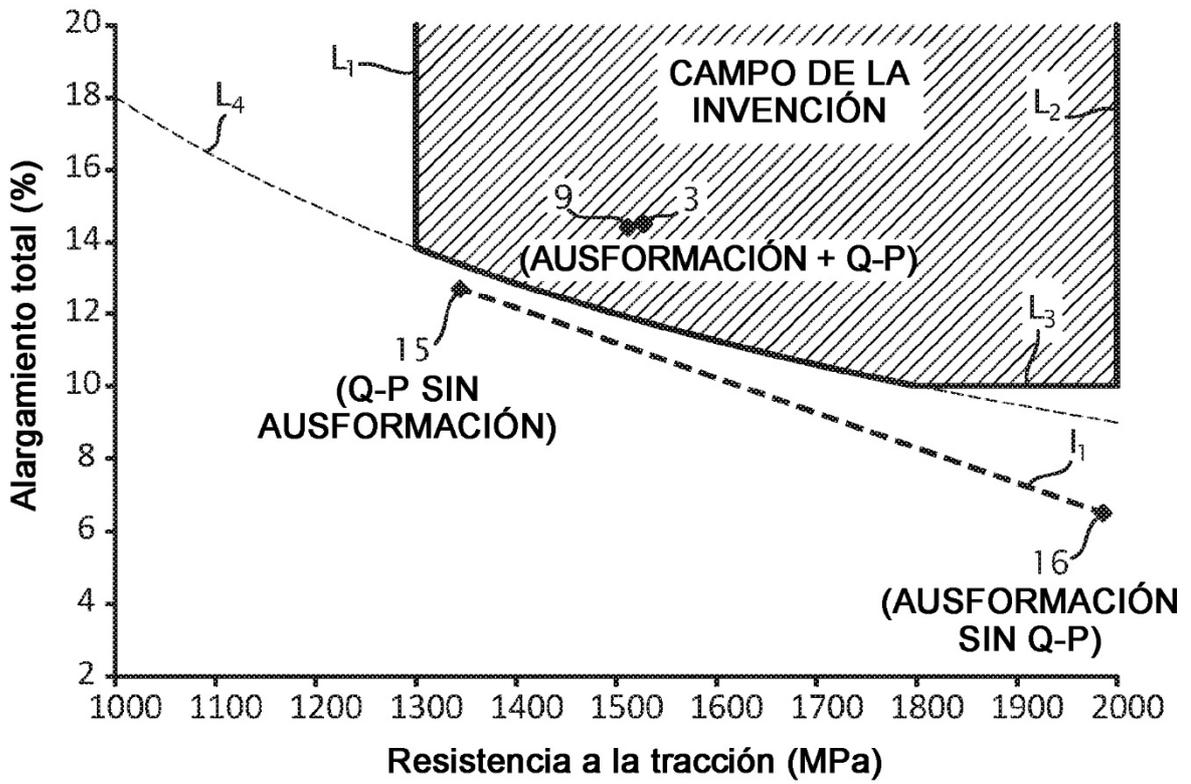


FIG.4

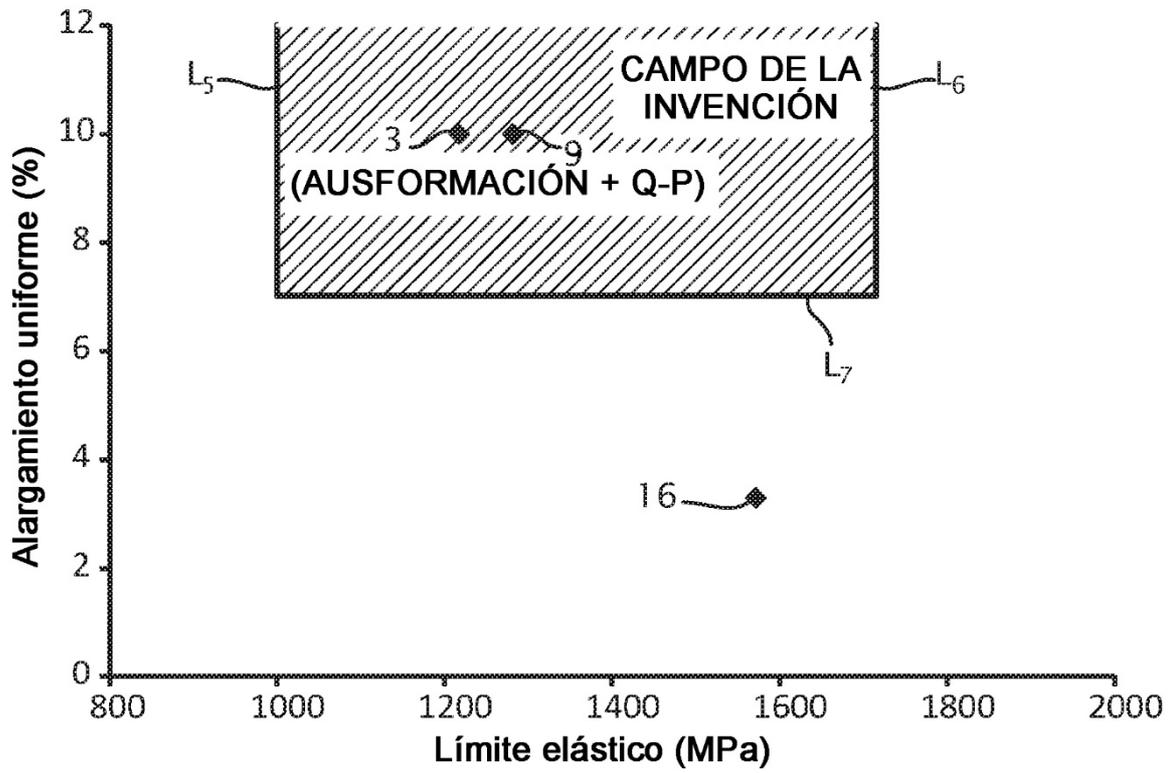


FIG.5

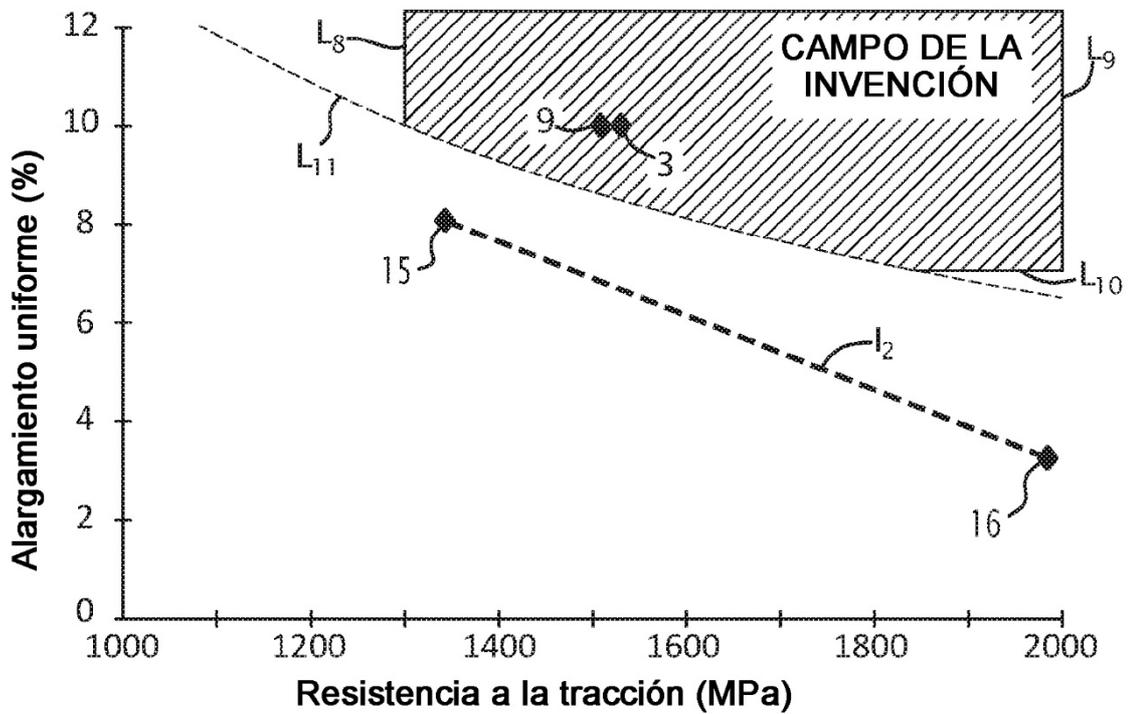


FIG.6