



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 366 133**

51 Int. Cl.:

C21D 1/18 (2006.01)

C21D 7/13 (2006.01)

C21D 1/673 (2006.01)

C23C 2/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06808157 .9**

96 Fecha de presentación : **18.09.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1929053**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.06.2008**

54

Título: **Procedimiento de fabricación de un pieza de acero de microestructura multifásica.**

30

Prioridad: **21.09.2005 EP 05291958**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
17.10.2011

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
17.10.2011

73

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

72

Inventor/es: **Corquillet, Jacques;**
Devroc, Jacques;
Hochard, Jean-Louis;
Laurent, Jean-Pierre;
Moulin, Antoine y
Romanowski, Nathalie

74

Agente: **Lehmann Novo, María Isabel**

ES 2 366 133 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).

DESCRIPCION

Procedimiento de fabricación de una pieza de acero de microestructura multifásica

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de fabricación de una pieza de acero de microestructura multifásica homogénea en cada una de las zonas de la indicada pieza, y que presenta altas características mecánicas.

10 Con el fin de responder a las exigencias de aligeramiento de las estructuras de automóviles, es conocido utilizar bien sea los aceros TRIP (significando este término "transformation induced plasticity" (transformación inducida por deformación plástica), o los aceros de doble-fase que unen una resistencia mecánica muy elevada con posibilidades de deformación muy elevadas. Los aceros TRIP tienen una microestructura compuesta por ferrita, austenita residual y eventualmente bainita y martensita, que les permite alcanzar resistencias a la tracción que van de 600 a 1000 MPa. Los aceros de doble-fase tienen una microestructura compuesta por ferrita y martensita, que les permite alcanzar resistencias a la tracción que van de 400 MPa a más de 1200 MPa.

Estos tipos de aceros se utilizan ampliamente para la realización de piezas de absorción de energía, como por ejemplo piezas de estructura y seguridad tales como los largueros, los travesaños y los refuerzos.

20 Habitualmente para fabricar este tipo de piezas, se procede a la formación en frío, por ejemplo por embutición entre útiles, de una pieza cortada de una banda laminada en frío de acero de doble fase, o de acero TRIP. Los procedimientos típicos para la embutición se describen en los documentos FR 2671749, EP 1013785 o US2004/0163439.

25 Sin embargo, el desarrollo de piezas de acero de doble-fase o de acero TRIP está limitado debido a la dificultad de dominar el retorno elástico de la pieza conformada, retorno elástico que es tanto más importante cuanto más importante es la resistencia a la tracción R_m del acero. En efecto, para paliar el efecto del retorno elástico, los fabricantes de automóviles se han visto obligados a integrar este parámetro en la realización de nuevas piezas, lo cual por una parte, necesita numerosos desarrollos, y por otra parte, limita la extensión de las formas realizables.

30 Además, en caso de deformación importante, la microestructura del acero ya no es homogénea en cada una de las zonas de la pieza, y el comportamiento de la pieza en servicio resulta difícilmente previsible. Por ejemplo, en la conformación en frío de una chapa de acero TRIP, la austenita residual se transforma en martensita bajo el efecto de la deformación. La deformación al no ser homogénea en toda la pieza, algunas zonas de la pieza comprenderán aún austenita residual no transformada en martensita, presentando por consiguiente una ductilidad residual importante, mientras que otras zonas de la pieza que han experimentado una deformación importante presentarán una estructura ferrito-martensítica que comprende eventualmente bainita poco dúctil.

40 El fin de la presente invención es por consiguiente remediar los inconvenientes anteriormente citados, y proponer un procedimiento de fabricación de una pieza de acero que comprende ferrita y que presenta una microestructura multifásica homogénea en cada una de las zonas de la indicada pieza, y que no presenta retorno elástico después de la conformación de una pieza procedente de una banda de acero cuya composición es típica de la de los aceros de microestructura multifásica.

45 A este respecto, la invención definida según la reivindicación 1, tiene por primer objeto un procedimiento de fabricación de una pieza de acero que presenta una microestructura multifásica, comprendiendo la mencionada microestructura ferrita y siendo homogénea en cada una de las zonas de la indicada pieza, comprendiendo las etapas que consisten en:

- corta una pieza de una banda de acero cuya composición está constituida en % en peso:

$$0,01 \leq C \leq 0,50 \%$$

$$0,50 \leq Mn \leq 3,0 \%$$

$$0,001 \leq Si \leq 3,0 \%$$

$$0,005 \leq Al \leq 3,0 \%$$

$$Mo \leq 1,0 \%$$

$$Cr \leq 1,5 \%$$

$$P \leq 0,10 \%$$

$$Ti \leq 0,15 \%$$

$$V \leq 1,0 \%$$

a título opcional, uno o varios elementos tales como

$$Ni \leq 2,0 \%$$

$$Cu \leq 2,0 \%$$

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

$$Nb \leq 0,15 \%$$

- siendo el resto de la composición hierro e impurezas resultantes de la elaboración,
- eventualmente pre-deformar en frío la indicada pieza,
- 5
- calentar la indicada pieza hasta alcanzar una temperatura de mantenimiento T1 superior a Ac1 pero inferior a Ac3, y mantenerla a esta temperatura de mantenimiento T1 durante un tiempo de mantenimiento M ajustado de forma que el acero después del calentamiento de la pieza comprenda una proporción de austenita superior o igual al 25% superficial,
- 10
- transferir la indicada pieza calentada en el seno de un utillaje de conformación con el fin de formar en caliente la indicada pieza, y
 - refrigerar la pieza en el seno del utillaje con una velocidad de refrigeración V tal que la microestructura del acero después de la refrigeración de la pieza sea una microestructura multifásica, comprendiendo la indicada microestructura ferrita y siendo homogénea en cada una de las zonas de la mencionada pieza.
- 15
- Para determinar los % superficiales de las diferentes fases presentes en una microestructura (fase ferrítica, fase austenítica...), se mide el área de las diferentes fases en un corte realizado según un plano perpendicular al plano de la banda (este plano podrá ser paralelo a la dirección de laminado, o paralelo a la dirección transversal al laminado). Las diferentes fases buscadas se revelan mediante un ataque químico adaptado en función de su naturaleza.
- 20
- En el sentido de la presente invención, se entiende por útil de conformación, cualquier útil que permita obtener una pieza a partir de un recorte de chapa, como por ejemplo un útil de embutición. Ello excluye por consiguiente los útiles de laminado en frío, o en caliente.
- 25
- Los inventores han evidenciado que calentando la pieza a una temperatura de mantenimiento T1 comprendida entre Ac1 y Ac3, se obtiene, con la condición de que la velocidad de refrigeración sea suficiente, una microestructura multifásica que comprende ferrita que presenta propiedades mecánicas homogéneas sea cual fuere la velocidad de refrigeración de la pieza entre los útiles. La homogeneidad de las propiedades mecánicas está definida en el sentido de la invención por una dispersión de la resistencia a la tracción Rm en un ámbito de velocidades de refrigeración que varían de 10 a 100°C/s inferior al 25%. En efecto, los inventores han observado, que haciendo experimentar a la pieza un tratamiento térmico en el ámbito intercrítico, siendo entonces $R_m(100^\circ\text{C/s}) - R_m(10^\circ\text{C/s}) / R_m(100^\circ\text{C/s}) < 0,25$, Rm (100°C/s) la resistencia a la tracción de la pieza refrigerada a 100°C/s, y siendo Rm (10°C/s) la resistencia a la tracción de la pieza refrigerada a 10°C/s.
- 30
- La invención tiene por segundo objeto una pieza de acero que comprende ferrita y que presenta una microestructura multifásica homogénea en cada una de las zonas de la mencionada pieza, pudiendo ser obtenida por el indicado procedimiento.
- 35
- Por último la invención tiene por tercer objeto un vehículo terrestre a motor que comprende la indicada pieza.
- 40
- Las características y ventajas de la presente invención aparecerán mejor en el transcurso de la descripción que sigue, dada a título de ejemplo no limitativo, con referencia a la figura 1 adjunta en la cual:
- la figura 1 es una fotografía de una pieza obtenida por conformación en frío (referencia G) y una pieza obtenida por conformación en caliente (referencia A).
- 45
- El procedimiento según la invención consiste en conformar en caliente, a una cierta gama de temperaturas, una pieza previamente cortada de una banda de acero cuya composición es típica de la de los aceros de microestructura multifásica, pero que al comienzo no tiene forzosamente una estructura multifásica, para formar una pieza de acero que adquiera una microestructura multifásica en su refrigeración entre los útiles de conformación. Los inventores han puesto por otro lado en evidencia que con la condición de que la velocidad de refrigeración sea suficiente, una microestructura multifásica homogénea podía ser obtenida sea cual fuere la velocidad de refrigeración de la pieza entre los útiles.
- 50
- El interés de esta invención reside en el hecho de que no se está obligado a formar la microestructura multifásica en la fase de fabricación de la chapa en caliente, o de su revestimiento, y por el hecho de formarla en la fase de la fabricación de la pieza, por conformación en caliente, permite garantizar una microestructura multifásica final homogénea en cada una de las zonas de la pieza, lo cual es ventajoso en el caso de una utilización para piezas de absorción de energía, pues la microestructura no se altera como es el caso en la conformación en frío de piezas de acero de doble-fase o de acero TRIP.
- 55
- Los inventores han comprobado en efecto que la capacidad de absorción de energía de una pieza, determinada por la resistencia a la tracción multiplicada por el alargamiento (Rm x A), es más importante cuando la pieza ha sido obtenida según la invención que cuando la misma ha sido obtenida por formación en frío de una pieza de acero de doble-fase o de acero TRIP. En efecto, la formación en frío consume una parte de la capacidad de absorción de energía.
- 60
- Además, procediendo a una conformación en caliente, el retorno elástico de la pieza se vuelve despreciable,
- 65

mientras que es muy importante dentro del marco de una conformación en frío. Por otro lado es tanto más importante cuando la resistencia a la tracción R_m del acero aumenta, lo cual constituye un freno a la utilización de aceros de resistencia muy elevada.

- 5 Otra ventaja de la invención reside en el hecho de que la conformación en caliente conduce a un comportamiento en la conformación claramente más elevado que en frío. Se puede así acceder a una variedad de formas más amplias y considerar nuevas concepciones de piezas manteniendo composiciones de acero cuyas características, como por ejemplo la soldabilidad, son conocidas.
- 10 La pieza obtenida presenta una microestructura multifásica que comprende ferrita en una proporción de preferencia superior o igual al 25% superficial, y al menos una de las fases siguientes: martensita, bainita, austenita residual. En efecto, una proporción de al menos un 25% superficial de ferrita permite conferir al acero una ductibilidad suficiente para que las piezas formadas presenten una capacidad de absorción de energía importante.
- 15 La pieza de acero destinada para ser conformada, por ejemplo por embutición, se corta previamente bien sea de una banda de acero laminada en caliente, o de una banda de acero laminada en frío, estando el acero constituido por los elementos siguientes:
- carbono con un contenido comprendido entre 0,01 y 0,50% en peso. Este elemento es esencial para la obtención de buenas características mecánicas, pero no debe estar presente en cantidad demasiado importante para no perjudicar la soldabilidad. Para favorecer la templabilidad, y obtener un límite de elasticidad R_e suficiente, el contenido en carbono debe ser superior o igual al 0,01% en peso.
 - manganeso con un contenido comprendido entre un 0,50 y un 3,0% en peso. El manganeso favorece la templabilidad, lo cual permite alcanzar un límite de elasticidad R_e elevado. Sin embargo, hay que evitar que el acero comprenda demasiado manganeso, para evitar la segregación que puede producirse en los tratamientos térmicos que se mencionarán ulteriormente en la descripción. Además, un exceso de manganeso impide la soldadura por chispa si la cantidad de silicio es insuficiente, y deteriora el comportamiento en la galvanización del acero. El manganeso juega igualmente un papel en la inter-difusión del hierro y del aluminio, en caso de revestimiento del acero por aluminio o una aleación de aluminio.
 - silicio con un contenido comprendido entre 0,001 y 3,0% en peso. El silicio mejora el límite de elasticidad R_e del acero. Sin embargo más allá del 3,0% en peso, la galvanización al temple en caliente del acero se vuelve difícil, y el aspecto del revestimiento de zinc no es satisfactorio.
 - aluminio con un contenido comprendido entre 0,005 y 3,0% en peso. El aluminio estabiliza la ferrita. Su contenido debe permanecer inferior al 3,0% en peso para evitar deteriorar la soldabilidad debida a la presencia de óxido de aluminio en la zona soldada. Sin embargo, un mínimo de aluminio se requiere para desoxidar el acero.
 - molibdeno con un contenido inferior o igual al 1,0% en peso. El molibdeno favorece la formación de martensita y, aumenta la resistencia a la corrosión. Sin embargo, un exceso de molibdeno puede favorecer el fenómeno de fisuración en frío en las zonas soldadas, y reducir la tenacidad del acero.
 - cromo con un contenido inferior o igual al 1,5% en peso. El contenido en cromo debe limitarse para evitar los problemas de aspecto superficial en caso de galvanización del acero.
 - fósforo con un contenido inferior o igual al 0,10% en peso. El fósforo es añadido para permitir reducir la cantidad de carbono y mejorar la soldabilidad, manteniendo un nivel equivalente de límite de elasticidad R_e del acero. Sin embargo, más allá del 0,10% en peso, fragiliza el acero debido al aumento del riesgo de defectos de segregación, y la soldabilidad se deteriora.
 - titanio con un contenido inferior o igual al 0,20% en peso. El titanio mejora el límite de elasticidad R_e , sin embargo su contenido debe limitarse al 0,20% en peso para evitar la degradación de la tenacidad.
 - vanadio con un contenido inferior o igual al 1,0% en peso. El vanadio mejora el límite de elasticidad R_e por afinamiento del grano y favorece la soldabilidad del acero. Sin embargo, más allá del 1,0% en peso, la tenacidad del acero se deteriora y fisuras corren el riesgo de aparecer en las zonas soldadas.
 - a título opcional, níquel con un contenido inferior o igual al 2,0% en peso. El níquel aumenta el límite de elasticidad R_e . Se limita generalmente su contenido al 2,0% en peso debido a su coste elevado.
 - a título opcional, cobre con un contenido inferior o igual al 2,0% en peso. El cobre aumenta el límite de elasticidad R_e , sin embargo un exceso de cobre favorece la aparición de fisuras en el laminado en caliente, y degrada la formabilidad en caliente del acero.
 - a título opcional, azufre con un contenido inferior o igual al 0,05% en peso. El azufre es un elemento segregante cuyo contenido debe limitarse con el fin de evitar las fisuras en el laminado en caliente.
 - a título opcional, niobio con un contenido inferior o igual al 0,15% en peso. El niobio favorece la precipitación de carbonitruro, lo cual aumenta el límite de elasticidad R_e . Sin embargo, más allá del 0,15% en peso, la soldabilidad y la formabilidad en caliente se degradan.

60 El resto de la composición está constituido por hierro y otros elementos que se esperan habitualmente encontrar como impurezas resultantes de la elaboración del acero, en unas proporciones que no influyen en las propiedades buscadas.

65 Generalmente, antes de ser cortadas en forma de piezas, las bandas de acero se protegen contra la corrosión mediante un revestimiento metálico. Según el destino final de la pieza, este revestimiento metálico es elegido entre

los revestimientos de zinc o de aleación de zinc (zinc-aluminio por ejemplo), y si se desea además un buen comportamiento al calor, los revestimientos de aluminio o de aleación de aluminio (aluminio-silicio por ejemplo). Estos revestimientos se depositan de una forma clásica bien sea por templado en caliente en un baño de metal líquido, o por electrodeposición, o también bajo vacío.

5 Para poner en práctica el procedimiento de fabricación según la invención, se calienta la pieza de acero para llevarla a una temperatura de mantenimiento T1 superior a Ac1 pero inferior a Ac3, y se la mantiene a esta temperatura T1 durante un tiempo de mantenimiento M que se ajusta de forma que el acero, después del calentamiento de la pieza, comprenda una proporción de austenita superior o igual al 25% superficial.

10 Inmediatamente después de esta operación de calentamiento y de mantenimiento en temperatura de la pieza de acero, se transfiere la pieza calentada al seno de un utilaje de conformación para formar una pieza, y refrigerarla. La refrigeración de la pieza en el seno del útil de conformación se realiza con una velocidad de refrigeración V suficiente para evitar que la totalidad de la austenita se transforme en ferrita, y con el fin de que la microestructura del acero después de la refrigeración de la pieza sea una microestructura multifásica que comprenda ferrita, y que sea homogénea en cada una de las zonas de la pieza.

15 Se entiende por microestructura multifásica homogénea en cada una de las zonas de la pieza, una microestructura que presenta una constancia en términos de proporción y de morfología en cada una de las zonas de la pieza, y en la cual las diferentes fases están uniformemente repartidas.

20 Para que las velocidades de refrigeración V sean suficientes, los útiles de conformación pueden refrigerarse, por ejemplo por circulación de fluido.

25 Además, la fuerza de apriete del útil de conformación debe ser suficiente para asegurar un contacto íntimo entre la pieza y el útil, y asegurar una refrigeración eficaz y homogénea de la pieza.

30 De forma opcional, después de haber cortado la pieza de la banda de acero, y antes de calentarla, se puede eventualmente proceder a una pre-deformación en frío de la pieza.

35 Una pre-deformación en frío de la pieza, realizando por ejemplo un perfilado o una ligera embutición en frío de la pieza, antes de la conformación en caliente resulta ventajoso en la medida en que ello permite acceder a piezas que pueden presentar una geometría más compleja.

40 Por otro lado, la obtención de ciertas geometrías en una sola operación de conformación solo es posible si se unen entre si dos piezas. Una pre-deformación en frío puede así permitir obtener una pieza sin interrupción, es decir una pieza obtenida por conformación de una sola pieza.

45 En un primer modo de realización preferido de la invención, se realiza el procedimiento según la invención para fabricar una pieza de acero que presenta una microestructura multifásica que comprende bien sea ferrita y martensita, o ferrita y bainita, o también ferrita, martensita y bainita.

50 Para formar esta microestructura, se adapta la composición del acero multifásica anteriormente descrita, y en particular el contenido en carbono, en silicio, en aluminio. Así el acero comprende los elementos siguientes:

- 45 - carbono con un contenido de preferencia comprendido entre 0,01 y 0,25% en peso, y más preferentemente comprendido entre 0,08 y 0,15%. El contenido en carbono está limitado a un 0,25% en peso para limitar la formación de martensita y evitar así el deterioro de la ductilidad y de la formabilidad.
- manganeso con un contenido comprendido de preferencia entre 0,50 y 2,50 % en peso, y más preferentemente comprendido entre 1,20 y 2,00% en peso.
- 50 - silicio con un contenido de preferencia comprendido entre 0,01 y 2,0% en peso, y más preferentemente comprendido entre 0,01 y 0,50% en peso.
- aluminio con un contenido de preferencia comprendido entre 0,005 y 1,5% en peso, y más preferentemente comprendido entre 0,005 y 1,0% en peso. Es preferible que el contenido en aluminio sea inferior al 1,5% en peso, con el fin de evitar la degradación de la soldabilidad por chispa debida a la formación de inclusiones de óxido de aluminio Al_2O_3 .
- 55 - molibdeno con un contenido comprendido de preferencia entre 0,001 y 0,50% en peso, y más preferentemente comprendido entre 0,001 y 0,10% en peso.
- cromo con un contenido de preferencia inferior o igual al 1,0% en peso, y más preferentemente inferior o igual al 0,50% en peso.
- 60 - fósforo con un contenido de preferencia inferior o igual al 0,10% en peso.
- titanio con un contenido de preferencia inferior o igual al 0,15% en peso.
- niobio con un contenido de preferencia inferior o igual al 0,15% en peso.
- vanadio con un contenido de preferencia inferior o igual al 0,25% en peso.

65 El resto de la composición está constituido por hierro y otros elementos que se esperan habitualmente encontrar como impurezas resultantes de la elaboración del acero, en unas proporciones que no influyen en las propiedades

buscadas.

Para formar una pieza de acero multifásica que comprende ferrita, y martensita y/o bainita según la invención, se calienta la pieza a una temperatura de mantenimiento T1 superior a Ac1 pero inferior a Ac3, con el fin de controlar la proporción de austenita formada durante el calentamiento de la pieza, y no sobrepasar el límite superior preferencial del 75% superficial de austenita.

Una proporción de austenita en el acero calentado a una temperatura de mantenimiento T1 durante un tiempo de mantenimiento M, comprendida entre un 25 y un 75% superficial ofrece un buen compromiso en términos de resistencia mecánica del acero después de la conformación y regularidad de las características mecánicas del acero gracias a la robustez del procedimiento. En efecto, más allá de un 25% superficial de austenita, se forman suficientemente fases endurecedoras, como por ejemplo la martensita y/o la bainita, en la refrigeración del acero, para que el límite de elasticidad Re del acero después de la conformación sea suficiente. Por el contrario, más allá del 75% superficial de austenita, se controla difícilmente la proporción de austenita en el acero, y se corre el riesgo de formar demasiadas fases endurecedoras durante la refrigeración del acero y por consiguiente, formar una pieza de acero que presenta un alargamiento a la ruptura A insuficiente, lo cual perjudicará a la capacidad de absorción de energía de la pieza.

El tiempo de mantenimiento de la pieza de acero a la temperatura de mantenimiento T1 depende esencialmente del espesor de la banda. En el marco de la presente invención, el espesor de la banda se encuentra típicamente comprendido entre 0,3 y 3 mm. Por consiguiente, para formar una proporción de austenita comprendida entre un 25 y un 75% superficial, el tiempo de mantenimiento M se encuentra de preferencia comprendido entre 10 y 1000 s. Si se mantiene la pieza de acero a una temperatura de mantenimiento T1 durante un tiempo de mantenimiento M superior a 1000 s, los granos de austenita aumentan y el límite de elasticidad Re del acero después de la conformación será limitado. Además, la templabilidad del acero se reduce y la superficie del acero se oxida. Por el contrario, si se mantiene la pieza durante un tiempo de mantenimiento M inferior a 10 s, la proporción de austenita formada será insuficiente, y la proporción de martensita y/o de bainita formada durante la refrigeración de la pieza entre útil, será insuficiente para que el límite de elasticidad Re del acero sea suficiente.

La velocidad de refrigeración V de la pieza de acero dentro del útil de conformación depende de la deformación y de la calidad del contacto entre el útil y la pieza de acero. Sin embargo, la velocidad de refrigeración V debe ser lo suficientemente elevada para que la microestructura multifásica deseada sea obtenida, y es preferentemente superior a 10°C/s. Con una velocidad de refrigeración V inferior o igual a 10°C/s, se corre el riesgo de formar carburos que contribuirán a degradar las características mecánicas de la pieza.

En estas condiciones, después de la refrigeración, se forma una pieza de acero multifásica que comprende más de un 25% superficial de ferrita, siendo el resto martensita y/o bainita, estando las diferentes fases homogéneamente repartidas en cada una de las zonas de la pieza. En un modo de realización preferido de la invención, se forma preferentemente de un 25 a un 75% superficial de ferrita y un 25 a un 75% superficial de martensita y/o de bainita.

En un segundo modo de realización preferido de la invención, se realiza el procedimiento según la invención para fabricar una pieza de acero TRIP. En el marco de la invención, se entiende acero TRIP, una microestructura multifásica que comprende ferrita, austenita residual, y eventualmente martensita y/o bainita.

Para formar esta microestructura multifásica TRIP, se adapta la composición del acero multifásico anteriormente descrita, y en particular el contenido en carbono, en silicio, y en aluminio. Así, el acero comprende los elementos siguientes:

- carbono con un contenido comprendido de preferencia entre un 0,05 y un 0,50% en peso, y más preferentemente comprendido entre un 0,10 y un 0,30% en peso. Para formar austenita residual estabilizada, es preferible que este elemento esté presente en un contenido superior o igual al 0,05% en peso. En efecto, el carbono juega un papel muy importante en la formación de la microestructura y las propiedades mecánicas: según la invención, una transformación bainítica se produce a partir de una estructura austenítica formada a temperatura elevada, y se forman listones de ferrita bainítica. Habida cuenta de la solubilidad muy inferior del carbono en la ferrita con relación a la austenita, el carbono de la austenita es desechado entre los listones. Gracias a algunos elementos de aleación de la composición de acero según la invención, en particular el silicio y el manganeso, la precipitación de carburos, particularmente cementita, se produce muy poca. Así, la austenita interlistones se va enriqueciendo progresivamente con carbono sin que la precipitación de carburos se produzca. Este enriquecimiento es tal que la austenita se estabiliza, es decir que la transformación martensítica de esta austenita solo se produce en la refrigeración hasta la temperatura ambiente.
- manganeso con un contenido de preferencia comprendido entre 0,50 y 3,0 % en peso, y más preferentemente entre 0,60 y 2,0% en peso. El manganeso favorece la formación de austenita, contribuye a disminuir la temperatura de comienzo de transformación martensítica Ms y a estabilizar la austenita. Esta adición de manganeso participa igualmente en un endurecimiento eficaz en solución sólida y por consiguiente en la obtención de un límite de elasticidad Re elevado. Sin embargo, un exceso de manganeso no permite formar suficientemente ferrita en la refrigeración, la concentración de carbono en la

austenita residual es insuficiente para que sea estable. El contenido en manganeso se encuentra más preferentemente comprendido entre 0,60 y 2,0% en peso. De este modo, los efectos buscados anteriormente se obtienen sin riesgo de formación de una estructura en bandas nefasto que provendría de una segregación eventual del manganeso en la solidificación.

- 5 - silicio con un contenido de preferencia comprendido entre 0,001 y 3,0% en peso, y más preferentemente comprendido entre 0,01 y 2,0% en peso. El silicio estabiliza la ferrita y estabiliza la austenita residual a temperatura ambiente. El silicio inhibe la precipitación de la cementita en la refrigeración a partir de la austenita retrasando considerablemente el crecimiento de los carburos: esto proviene del hecho de que la solubilidad del silicio en la cementita es muy bajo y de que este elemento aumenta la actividad del carbono en la austenita. De este modo, un germen eventual de cementita que se forme estará circundado por una zona austenítica rica en silicio que habrá sido expulsado de la superficie intermedia precipitado-matriz. Esta austenita enriquecida con silicio es igualmente más rica en carbono y el crecimiento de la cementita se aminora debido a la difusión poco importante resultante del gradiente reducido de carbono entre la cementita y la zona austenítica próxima. Esta adición de silicio contribuye por consiguiente a estabilizar una cantidad suficiente de austenita residual para obtener un efecto TRIP. Además, esta adición de silicio permite aumentar el límite de elasticidad Re gracias a un endurecimiento en solución sólida. Sin embargo, una adición excesiva de silicio provoca la formación de óxidos fuertemente adherentes, difícilmente eliminables en una operación de decapado, y la aparición eventual de defectos superficiales debidos particularmente a una falta de humectabilidad en las operaciones de galvanización al temple. Con el fin de obtener la estabilización de una cantidad suficiente de austenita reduciendo el riesgo de defectos superficiales, el contenido en silicio se encuentra preferentemente comprendido entre el 0,01 y el 2,0% en peso.
- 10
- 15
- 20
- 25 - aluminio con un contenido de preferencia comprendido entre un 0,005 y un 3,0 % en peso. Como el silicio, el aluminio estabiliza la ferrita y aumenta la formación de ferrita en el enfriamiento de la pieza. Es muy poco soluble en la cementita y puede ser utilizado a este respecto para evitar la precipitación de cementita en un mantenimiento a una temperatura de transformación bainítica y estabilizar la austenita residual.
- 30 - molibdeno con un contenido de preferencia inferior o igual al 1,0% en peso, y más preferentemente inferior o igual al 0,60% en peso.
- 35 - cromo con un contenido de preferencia inferior o igual al 1,50% en peso. El contenido en cromo está limitado para evitar los problemas de aspecto superficial en caso de galvanización del acero.
- 40 - níquel con un contenido de preferencia inferior o igual al 2,0% en peso.
- 45 - cobre con un contenido de preferencia inferior o igual al 2,0% en peso.
- 50 - fósforo con un contenido de preferencia inferior o igual al 0,10% en peso. El fósforo en combinación con el silicio aumenta la estabilidad de la austenita residual suprimiendo la precipitación de los carburos.
- 55 - azufre con un contenido de preferencia inferior o igual al 0,05% en peso.
- 60 - titanio con un contenido de preferencia inferior o igual al 0,20% en peso.
- 65 - vanadio con un contenido de preferencia inferior o igual al 1,0% en peso, y más preferentemente inferior o igual al 0,60% en peso.

40 El resto de la composición está constituido por hierro y otros elementos que se esperan habitualmente encontrar como impurezas resultantes de la elaboración del acero, en proporciones que no influyen sobre las propiedades buscadas.

45 El tiempo de mantenimiento de la pieza de acero a una temperatura de mantenimiento T1 superior a Ac1 pero inferior a Ac3 depende esencialmente del espesor de la banda. En el marco de la presente invención, el espesor de la banda se encuentra típicamente comprendido entre 0,3 y 3 mm. Por consiguiente, para formar una proporción de austenita superior o igual al 25% superficial, el tiempo de mantenimiento M se encuentra de preferencia comprendido entre 10 y 1000 s. Si se mantiene la pieza de acero a una temperatura de mantenimiento T1 durante un tiempo de mantenimiento M superior a 1000 s, los granos austeníticos aumentan y el límite de elasticidad Re del acero después de la conformación se limitará. Además, la templabilidad del acero se reduce y la superficie del acero se oxida. Por el contrario, si se mantiene la pieza durante un tiempo de mantenimiento M inferior a 10 s, la proporción de austenita formada será insuficiente, y no se formará suficientemente austenita residual y bainita en la refrigeración de la pieza entre el útil.

50

55 La velocidad de refrigeración V de la pieza de acero en el útil de conformación depende de la deformación y de la calidad del contracto entre el útil y la pieza de acero. Para obtener una pieza de acero que presente una microestructura multifásica TRIP, es preferible que la velocidad de refrigeración V se encuentre comprendida entre 10 °C/s y 200 °C/s. En efecto, por debajo de 10°C/s, se formará esencialmente ferrita y carburo, e insuficientemente austenita residual y martensita, y más allá de 200°C/s, se formará esencialmente martensita e insuficientemente austenita residual.

60

65 Es indispensable formar una proporción de austenita superior o igual al 25% superficial en el calentamiento de la pieza, para que en el enfriamiento del acero entre el útil de conformación, permanezca suficientemente austenita residual y que el efecto TRIP buscado pueda ser así obtenido.

En estas condiciones, después de la refrigeración, se forma una pieza de acero multifásica constituida, en

porcentaje superficial, por ferrita en una proporción superior o igual al 25%, del 3 al 30% de austenita residual, y eventualmente martensita y/o bainita.

5 El efecto TRIP puede ventajosamente ser aprovechado para absorber la energía en caso de choques a gran velocidad. En efecto, en una deformación importante de una pieza de acero TRIP, la austenita residual se transforma progresivamente en martensita seleccionando la orientación de la martensita. Ello tiene por efecto reducir las tensiones residuales en la martensita, reducir las tensiones internas en la pieza, y por último limitar el dañado de la pieza, pues la ruptura de ésta se producirá para un alargamiento A más importante que si la misma fuese de acero TRIP.

10 La invención se ilustrará ahora mediante ejemplos dados a título indicativo, no limitativo, y con referencia a la figura única adjunta que es una fotografía de una pieza obtenida por conformación en frío (referencia G) y por una pieza obtenida por conformación en caliente (referencia A).

15 Los inventores han realizado ensayos a la vez sobre aceros que presentan por una parte una composición típica a la de los aceros de microestructura multifásica que comprenden ferrita y martensita y/o bainita (punto 1), y por otra parte una composición típica a la de los aceros de microestructura multifásica TRIP (punto 2).

20 **1- Acero de composición típica a la de los aceros de microestructura multifásica que comprende ferrita y martensita**

1.1 Evaluación de la influencia de las velocidades de calentamiento y de refrigeración

25 Piezas de dimensión 400 x 600 mm se cortaron de una banda de acero cuya composición, indicada en la tabla I, es la de un acero clase DP780 (Dual Phase 780). La banda presenta un espesor de 1,2 mm. La temperatura Ac1 de este acero es de 705°C y la temperatura Ac3 es de 815 °C. Las piezas se llevaron a una temperatura de mantenimiento T1 variable, durante un tiempo de mantenimiento de 5 mn. Luego, se transfirieron inmediatamente a un útil de embutición en el cual son a la vez conformadas y refrigeradas con velocidades de refrigeración V variables, manteniéndolas en el útil durante un tiempo de 60 s. Las piezas embutidas se asemejan a una estructura en forma de Omega.

30 Después de la refrigeración completa de las piezas, se midió su límite de elasticidad Re, su resistencia a la tracción Rm, y su alargamiento a la ruptura A, y se determinó la microestructura del acero. En lo que respecta a la microestructura, F representa la ferrita, M la martensita, y B la bainita. Los resultados se presentan en la tabla II.

35 Tabla I: composición química del acero según la invención, expresada en % en peso, siendo el complemento hierro o impurezas.

C	Mn	Si	Al	Mo	Cr	P	Ti	Nb	V
0,15	1,91	0,21	0,37	0,005	0,19	0,01	0,03	0,001	-

40 Tabla II: características mecánicas y microestructura de las piezas embutidas.

T1 (°C)	V (°C/s)	Pieza	Re (Mpa)	Rm (MPa)	A (%)	Rm x A	Microestructura (% superficial)
*800	10	A	354	803	18,2	14615	86% F+14% M
	35	B	502	982	13,8	13552	72% F+28% M
	100	C	530	1046	13,3	13912	55% F+5% B + 40% M
900	10	D	441	723	14,3	10339	50% F+42% B + 8% M
	35	E	724	1100	8	8800	90% B+10% M
	100	F	890	1285	4,6	5911	100% M

* según la invención

45 Los resultados de este ensayo muestra bien que solamente un calentamiento del acero a una temperatura comprendida entre Ac1 y Ac3 permite obtener una microestructura multifásica que comprende ferrita, sea cual fuere la velocidad de enfriamiento del acero en el útil de conformación. En efecto, cuando el acero se calienta a una temperatura superior a Ac3, conviene entonces, controlar estrictamente la velocidad de enfriamiento V en la conformación, para obtener un acero de microestructura multifásica que comprende más de un 25% superficial de ferrita, y de preferencia entre un 25% y un 75% superficial de ferrita.

50 Además, una pequeña dispersión de las características mecánicas en función de la velocidad de refrigeración para las piezas obtenidas según la invención, su capacidad de absorción de energía es superior a la de las piezas obtenidas con un calentamiento a una temperatura superior a Ac3.

1.2 Evaluación del retorno elástico

5 El fin de este ensayo es mostrar el interés por una conformación en caliente con relación a una conformación en frío, y evaluar el retorno elástico.

10 A este respecto, se fabrica una pieza de acero clase DP780 realizando una embutición en frío de una pieza cortada de una banda de acero, con un espesor de 1,2 mm, cuya composición se indica en la tabla I, pero que contrariamente a la banda utilizada en el punto 1, presenta ya antes de la embutición una microestructura multifásica que comprende un 70% superficial de ferrita, un 15% superficial de martensita, y un 15% superficial de bainita. La figura 1 muestra bien la pieza formada por embutición en frío (señalada en la figura por la letra G) presenta un fuerte retorno elástico, con relación a la pieza A (ver tabla II) formada por embutición en caliente (señalada por la letra A).

15 **2 – Acero de composición típica a la de los aceros TRIP**

20 Se cortaron piezas de dimensión 200 x 500 mm de una banda de acero cuya composición, indicada en la tabla III, es la de un acero clase TRIP 800. La banda presenta un espesor de 1,2 mm. La temperatura Ac1 de este acero es de 751°C y la temperatura Ac3 es de 875°C. Las piezas se llevaron a una temperatura de mantenimiento T1 variable, durante un tiempo de mantenimiento de 5 mn, luego se transfirieron inmediatamente a un útil de embutición en el cual son a la vez conformadas y refrigeradas con una velocidad de enfriamiento V de 45 °C/s, manteniéndolas en el útil durante un tiempo de 60 s. Las piezas embutidas se asemejan a una estructura en forma de Omega.

25 Después de la refrigeración completa de las piezas, se midió su límite de elasticidad Re, su resistencia a la tracción Rm, y su alargamiento a la ruptura A, y se determinó la microestructura del acero. En lo que respecta a la microestructura, F representa la ferrita, A la austenita residual, M la martensita, y B la bainita. Los resultados se presentan en la tabla IV.

30 Tabla III: composición química del acero según la invención, expresada en % en peso, siendo el complemento hierro o impurezas.

C	Mn	Si	Al	Mo	Cr	P	Ti	Nb	V
0,2	1,5	1,5	0,05	0,007	0,01	0,011	0,005	-	-

35 Tabla IV: características mecánicas y microestructura de las piezas embutidas.

T1 (°C)	Pieza	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%)	Rm x A	Microestructura (% superficial)
*760	H	541	1174	12,4	14558	35%F + 17%A + 48% M
*800	I	485	1171	12,8	14989	45% F + 11% A + 44% M
*840	J	454	1110	14,3	15873	45% F + 15% A + 38% M + 2% B

* según la invención

40 Los ensayos realizados muestran bien que la embutición de las piezas realizadas según la invención permite obtener piezas que presentan características mecánicas muy elevadas, así como una pequeña variación de las características mecánicas sea cual fuere la temperatura de refrigeración.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de fabricación de una pieza de acero que presenta una microestructura multifásica, comprendiendo la indicada microestructura ferrita y siendo homogénea en cada una de las zonas de la indicada pieza, que comprende las etapas que consisten en:

- corta una pieza de una banda de acero cuya composición está constituida en % en peso:

$$0,01 \leq C \leq 0,50 \%$$

$$0,50 \leq Mn \leq 3,0 \%$$

$$0,001 \leq Si \leq 3,0 \%$$

$$0,005 \leq Al \leq 3,0 \%$$

$$Mo \leq 1,0 \%$$

$$Cr \leq 1,5 \%$$

$$P \leq 0,10 \%$$

$$Ti \leq 0,20 \%$$

$$V \leq 1,0 \%$$

a título opcional, uno o varios elementos tales como

$$Ni \leq 2,0 \%$$

$$Cu \leq 2,0 \%$$

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

$$Nb \leq 0,15 \%$$

siendo el resto de la composición hierro e impurezas resultantes de la elaboración,

- eventualmente pre-deformar en frío la indicada pieza,
- calentar la indicada pieza hasta alcanzar una temperatura de mantenimiento T1 superior a Ac1 pero inferior a Ac3, y mantenerla a esta temperatura de mantenimiento T1 durante un tiempo de mantenimiento M ajustado de forma que el acero después del calentamiento de la pieza comprenda una proporción de austenita superior o igual al 25% superficial,
- transferir la indicada pieza calentada en el seno de un utillaje de embutición con el fin de embutir en caliente la indicada pieza, y
- refrigerar la pieza en el seno del utillaje con una velocidad de refrigeración V tal que la microestructura del acero después de la refrigeración de la pieza sea una microestructura multifásica, comprendiendo la indicada microestructura ferrita en una proporción superficial superior o igual al 25% y siendo homogénea en cada una de las zonas de la mencionada pieza.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el cual la composición del acero comprende en % en peso:

$$0,01 \leq C \leq 0,25 \%$$

$$0,50 \leq Mn \leq 2,50 \%$$

$$0,01 \leq Si \leq 2,0 \%$$

$$0,005 \leq Al \leq 1,5 \%$$

$$0,001 \leq Mo \leq 0,50 \%$$

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

$$P \leq 0,10 \%$$

$$Ti \leq 0,15 \%$$

$$Nb \leq 0,15 \%$$

$$V \leq 0,25 \%$$

siendo el resto de la composición hierro e impurezas resultantes de la elaboración, la pieza se mantiene a la temperatura de mantenimiento T1 durante un tiempo de mantenimiento M ajustado de forma que el acero después del calentamiento comprenda una proporción de austenita comprendida entre un 25 y un 75% superficial, y la microestructura del acero después de la refrigeración de la pieza es una microestructura multifásica que comprende ferrita, y o martensita, o bainita, o también martensita y bainita.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado además porque el acero comprende en % en peso:

$$0,08 \leq C \leq 0,15 \%$$

$$1,20 \leq Mn \leq 2,00 \%$$

$$0,01 \leq Si \leq 0,50 \%$$

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

$$0,001 \leq Mo \leq 0,10 \%$$

$$Cr \leq 0,50 \%$$

$$P \leq 0,10 \%$$

$$\begin{aligned} Ti &\leq 0,15 \% \\ Nb &\leq 0,15 \% \\ V &\leq 0,25 \%, \end{aligned}$$

5 siendo el resto de la composición hierro e impurezas resultantes de la elaboración.

4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 2 ó 3, caracterizado porque el tiempo de mantenimiento M se encuentra comprendido entre 10 y 1000 s.

10 5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, caracterizado porque la velocidad de refrigeración V es superior a 10°C/s.

15 6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, caracterizado además porque la microestructura multifásica del acero, después de la refrigeración de la indicada pieza, comprende de un 25 a un 75% superficial de ferrita, y de un 25 a un 75% superficial de martensita y/o de bainita.

7. Procedimiento según de la reivindicación 1, en el cual el acero comprende en % en peso:

$$\begin{aligned} 0,05 &\leq C \leq 0,50 \% \\ 0,50 &\leq Mn \leq 3,0 \% \\ 0,001 &\leq Si \leq 3,0 \% \\ 0,005 &\leq Al \leq 3,0 \% \\ Mo &\leq 1,0 \% \\ Cr &\leq 1,50 \% \\ 25 \quad Ni &\leq 2,0 \% \\ Cu &\leq 2,0\% \\ P &\leq 0,10 \% \\ S &\leq 0,05 \% \\ 30 \quad Ti &\leq 0,20 \% \\ V &\leq 1,0 \%, \end{aligned}$$

siendo el resto de la composición hierro e impurezas resultantes de la fabricación, la microestructura del acero después de la refrigeración de la pieza es una microestructura multifásica TRIP que comprende ferrita, austenita residual, y eventualmente martensita y/o bainita.

35 8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado además porque el acero comprende en % en peso:

$$\begin{aligned} 0,10 &\leq C \leq 0,30 \% \\ 0,60 &\leq Mn \leq 2,0 \% \\ 40 \quad 0,01 &\leq Si \leq 2,0 \% \\ 0,005 &\leq Al \leq 3,0 \% \\ Mo &\leq 0,60 \% \\ Cr &\leq 1,50 \% \\ 45 \quad Ni &\leq 0,20 \% \\ Cu &\leq 0,20\% \\ P &\leq 0,10 \% \\ S &\leq 0,05 \% \\ Ti &\leq 0,20 \% \\ 50 \quad V &\leq 0,60 \%, \end{aligned}$$

siendo el resto de la composición hierro e impurezas resultantes de la fabricación.

9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 7 ó 8, caracterizado porque el tiempo de mantenimiento M se encuentra comprendido entre 10 y 1000 s.

55 10. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, caracterizado porque la velocidad de refrigeración V está comprendida entre 10 y 200 °C/s.

60 11. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, caracterizado además porque, después del enfriamiento de la pieza, la microestructura multifásica del acero TRIP está constituida, en % superficial, por ferrita en una proporción superior o igual al 25 %, por un 3 a un 30% de austenita residual, y eventualmente martensita y/o bainita.

65 12. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado porque la banda de acero se reviste previamente mediante un revestimiento metálico, antes de ser cortada para formar una pieza.

13. Procedimiento según la reivindicación 12, caracterizado porque el revestimiento metálico es un revestimiento a base de zinc o de aleación de zinc.

5 14. Procedimiento según la reivindicación 12, caracterizado porque el revestimiento metálico es un revestimiento a base de aluminio o de aleación de aluminio.

10 15. Pieza embutida en caliente de acero que presenta una microestructura multifásica homogénea en cada una de las zonas de la indicada pieza, comprendiendo la indicada microestructura ferrita en una proporción superficial superior o igual al 25% obtenida por el procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14.

16. Utilización de la pieza de acero según la reivindicación 15, para absorber la energía.

17. Vehículo terrestre a motor que comprende la pieza de acero según la reivindicación 15.

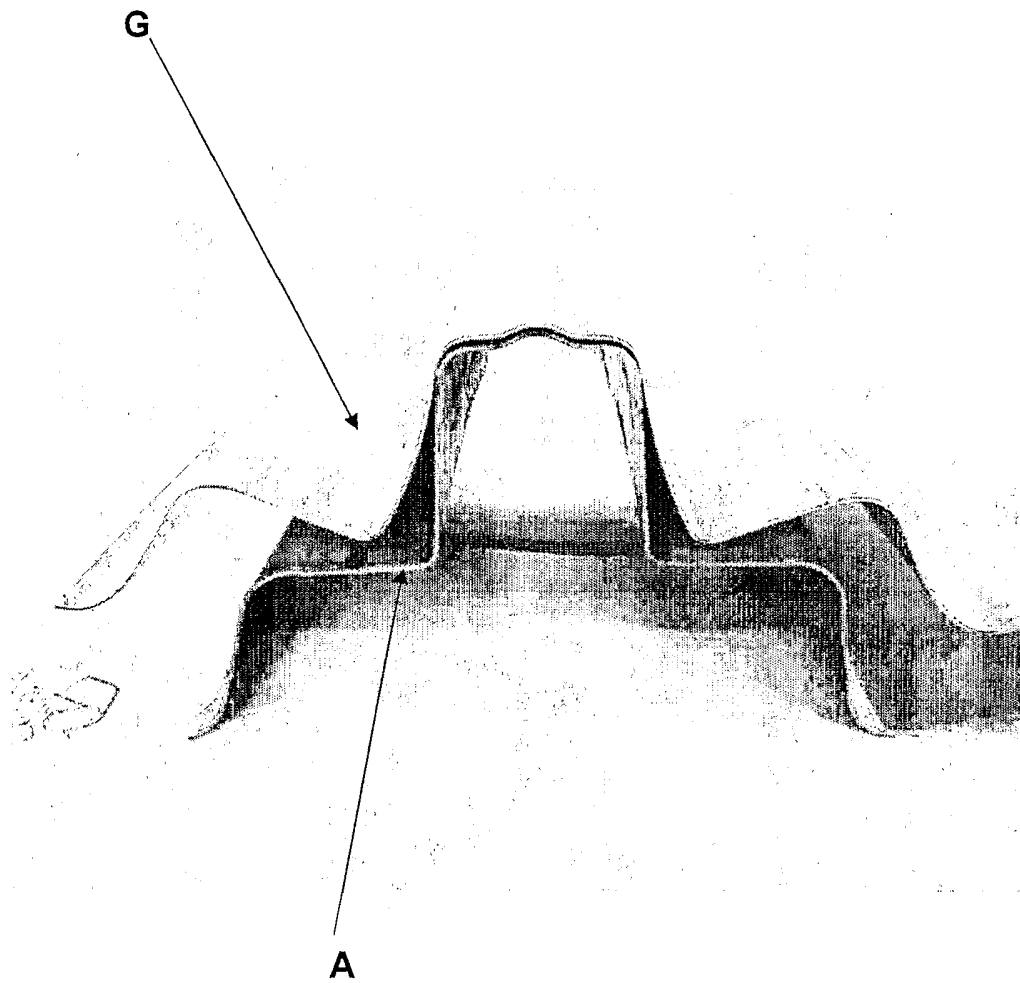


Figura única.