

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 558 110**

51 Int. Cl.:

C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/08 (2006.01)
C22C 38/14 (2006.01)
C21D 6/00 (2006.01)
C21D 6/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.09.2011 E 11764796 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.11.2015 EP 2753723**

54 Título: **Acero laminado endurecido por precipitación tras su tratamiento térmico o templado con una herramienta de resistencia y ductilidad muy altas y su proceso de fabricación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.02.2016

73 Titular/es:

**ARCELORMITTAL INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO SL (100.0%)
C/ Chavarri, 6
48910 Sestao, Bizkaia, ES**

72 Inventor/es:

**BOUAZIZ, OLIVIER;
BARBIER, DAVID y
JUNG, CORALIE**

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 558 110 T3

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

DESCRIPCIÓN

Acero laminado endurecido por precipitación tras su tratamiento térmico o templado con una herramienta de resistencia y ductilidad muy altas y su proceso de fabricación.

5

[0001] La presente invención se refiere a la fabricación de piezas de acero laminado con altas propiedades mecánicas de resistencia y ductilidad, en especial tras el prensado térmico o templado en herramienta seguido por un tratamiento térmico de endurecimiento.

10 **[0002]** Esta oferta de material resistente responde a la gran demanda de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero combinada con el aumento de las exigencias de seguridad automovilística y del precio del combustible. Estas tres restricciones obligan a los fabricantes de vehículos terrestres de motor a utilizar aceros de resistencia mecánica cada vez mayor en las carrocerías con el fin de reducir el grosor de las piezas y, en consecuencia, el peso de los vehículos pero manteniendo e incluso mejorando las propiedades de resistencia
15 mecánica de las estructuras. Pilares centrales, barras transversales de parachoques, piezas antintrusión y otras piezas de seguridad son ejemplos de partes que requieren una resistencia mecánica elevada para cumplir su función principal y suficiente ductilidad para darles forma.

[0003] La formación de aceros de alto nivel de resistencia mecánica requiere una secuencia bien conocida
20 que consiste en generar una fase primaria, la austenita, en transformarla en bainita o martensita y, en su caso, en ajustar las propiedades mecánicas y en particular la dureza de esta última por medio de diversos tratamientos térmicos o termomecánicos dependiendo del comportamiento funcional previsto para la pieza final.

[0004] El comportamiento mecánico de la martensita está directamente relacionado con su contenido de
25 carbono. Cuanto mayor concentración de carbono tenga, más dura será la martensita.

[0005] El artículo titulado «Martensite in steel: strength and structure» de G. Krauss, publicado en «Materials Science and Engineering» A273-275 (1999) páginas 40 a 57, ilustra bien la relación entre el contenido de carbono y la dureza de la martensita, una relación casi lineal con la raíz cuadrada del contenido de carbono en porcentaje del
30 peso. Se pueden alcanzar resistencias mecánicas muy superiores a 1500 MPa mediante la combinación de un aumento del contenido de carbono y la adición de diversos elementos de endurecimiento mediante solución sólida o de endurecimiento por precipitación. Sin embargo, la ductilidad de un material con una resistencia tan elevada impide formar una pieza estructural, por lo que la combinación óptima actualmente conocida consiste en obtener el alto nivel de resistencia después de moldear la pieza, un moldeado que se puede hacer en caliente. Es altamente
35 ventajoso tener una baja resistencia antes de dar forma a la pieza porque mejora la ductilidad y facilita el moldeado.

[0006] El proceso mencionado anteriormente se describe en la solicitud de patente WO2009145563, que se refiere a una plancha de acero de alta resistencia con excelentes propiedades de tratamiento térmico y que contiene,
40 en %, C: 0,2 a 0,5 %, Si: 0,01 a 1,5 %, Mn: 0,5 a 2,0 %, P: 0,1 % o menos (pero no 0 %), S: 0,03 % o menos (pero no 0 %), Al soluble: 0,1 % o menos (pero no 0 %), N: 0,01 a 0,1 %, y Cr: 0,1 % a 2,0 %, estando el resto compuesto por Fe e impurezas inevitables. Esta plancha de acero tiene una resistencia a la tracción, medida antes del moldeado en caliente, inferior o igual a 800 MPa. Se da forma a la plancha en caliente y se enfría rápidamente de modo que presente una resistencia a la tracción superior o igual a 1800 MPa.

45 **[0007]** Sin embargo, los niveles de carbono descritos en este documento (0,2 % a 0,5 %) son conocidos en la actualidad por causar problemas en la soldadura por puntos del chasis de los vehículos de motor terrestres, es decir, la estructura montada.

[0008] Además, la solicitud de patente WO200136699 se refiere a una composición y un procedimiento de
50 fabricación de productos de acero inoxidable martensítico endurecido por precipitación, cuya composición contiene al menos 0,5 % en peso de Cr y al menos 0,5% en peso de Mo, no superando la suma de Cr, Ni y Fe el 50 %. La microestructura obtenida contiene al menos 50 % de martensita y el acero se somete entonces a un tratamiento de envejecimiento entre 425 y 525° C para obtener una precipitación de partículas casi cristalinas. Este material cumple los requisitos de resistencia a la corrosión, alta resistencia y buena tenacidad. El ejemplo de la invención es
55 un acero que tiene un límite de elasticidad de 1820 MPa y una elongación total de 6,7 %. Si el material obtenido es muy resistente, con cerca de 1800 MPa de resistencia mecánica, no se puede moldear una pieza compleja con una plancha tan resistente porque se sabe que esto da lugar a una ductilidad relativamente baja que deja poco margen

de maniobra para las piezas que requieren ductilidad.

[0009] El propósito de la invención es, por lo tanto, resolver estos problemas con un acero que se pueda soldar fácilmente en condiciones industriales y que tenga altas propiedades mecánicas de resistencia y ductilidad en la pieza prensada en caliente después de un tratamiento térmico de endurecimiento. Para lograrlo, la invención propone un acero laminado que, después del prensado en caliente y del tratamiento térmico por precipitación, tiene un límite de elasticidad superior o igual a 1300 MPa y una elongación de rotura superior o igual a 4 %. La invención también pretende evitar la adición excesiva de elementos de aleación costosos para alcanzar estas propiedades.

10 **[0010]** En el marco de esta invención, se entiende por preforma el resultado del corte de una plancha y por pieza el resultado del prensado de una plancha o de una preforma.

[0011] El objeto de la invención es una plancha o preforma de acero laminado cuya composición consta, en porcentaje en peso, de: $C \leq 0,1 \%$; $0,5 \leq Mn \leq 7 \%$; $0,5 \leq Si \leq 3,5 \%$; $0,5 \leq Ti \leq 2 \%$; $2 \leq Ni \leq 7 \%$; $Al \leq 0,10 \%$; $Cr \leq 2 \%$; $Cu \leq 2 \%$; $Co \leq 2 \%$; $Mo \leq 2 \%$; $S \leq 0,005 \%$; $P \leq 0,03 \%$; $Nb \leq 0,1 \%$; $V \leq 0,1 \%$; $B < 0,005 \%$; $N \leq 0,008 \%$, siendo los contenidos de silicio y titanio:

$$Si + Ti \geq 2,5 \% \text{ et } \frac{Ti}{Si} \geq 0,3$$

20 el resto de la composición está formada por hierro e impurezas inevitables resultantes de la elaboración.

[0012] Según un modo preferido de realización, la plancha o la preforma presenta la siguiente composición en porcentaje de peso: $C \leq 0,050 \%$; $3 \leq Mn \leq 5 \%$; $1,0 \leq Si \leq 3,0 \%$; $0,5 \leq Ti \leq 1,5 \%$; $2,5 \leq Ni \leq 3,5 \%$; $Al \leq 0,10 \%$; $Cr \leq 1 \%$; $Cu \leq 0,05 \%$; $Co \leq 1 \%$; $Mo \leq 2 \%$; $S \leq 0,005 \%$; $P \leq 0,03 \%$; $Nb \leq 0,1 \%$; $V \leq 0,1 \%$; $B < 0,005 \%$; $N \leq 0,008 \%$, siendo los contenidos de silicio y titanio:

$$Si + Ti \geq 2,5 \% \text{ et } \frac{Ti}{Si} \geq 0,3$$

30 el resto de la composición está formada por hierro e impurezas inevitables resultantes de la elaboración.

[0013] El objeto de la invención es también una pieza fabricada a partir de una plancha o preforma según la invención, cuya microestructura consta de al menos 95 % de martensita y precipitados intermetálicos de tipo Fe_2TiSi .

[0014] Según un modo preferido de realización, el porcentaje de superficie de los precipitados intermetálicos de tipo Fe_2TiSi de la pieza está entre 1 y 5 %.

[0015] Según un modo preferido de realización, el radio medio de los precipitados está entre 1 y 10 nanómetros.

40 **[0016]** Según un modo preferido de realización, el límite de elasticidad de la pieza de acero es superior o igual a 1300 MPa y la elongación de rotura es superior o igual a 4 %. Según un modo de realización preferido, la pieza de acero incluye un revestimiento que contiene zinc, una aleación de zinc o una aleación a base de zinc.

[0017] En una variante de la invención, la pieza de acero incluye un revestimiento que contiene aluminio, una aleación de aluminio o una aleación a base de aluminio.

45 **[0018]** La invención también tiene por objeto un procedimiento de fabricación de una pieza de acero que consta de sucesivas etapas en las que:

- se obtiene una plancha de acero laminado con la composición anteriormente indicada, cuya microestructura contiene menos de 1 % de precipitados intermetálicos de tipo Fe_2TiSi de porcentaje de superficie, y después se corta la plancha para obtener una preforma que opcionalmente se puede soldar. La preforma se lleva entonces a una temperatura T_V durante un tiempo t_V en un horno de modo que la estructura de acero llegue a ser completamente austenítica. Entonces, opcionalmente se puede extraer y prensar en caliente la preforma a una temperatura superior a la temperatura M_s . A continuación se enfría la pieza al aire o se temple en herramienta a una

velocidad V_{ref1} para obtener una estructura esencialmente martensítica a partir de la estructura austenítica original. El enfriamiento posterior al prensado se hará por tanto por debajo de M_s . Se entiende por estructura «esencialmente martensítica» aquella que consta de al menos 95 % de martensita. Por último, se realiza un tratamiento térmico de precipitación de elementos intermetálicos de tipo Fe_2TiSi en un porcentaje de superficie de entre 1 % y 5 % a la temperatura T_{OA} durante un tiempo t_{OA} para endurecer la pieza y darle las propiedades mecánicas que se buscan en el marco de la invención.

[0019] La invención también tiene por objeto un procedimiento de fabricación de una pieza de acero que consta de las sucesivas etapas por las que se obtiene una plancha de acero laminado con la composición anterior, cuya microestructura contiene al menos 1 % de precipitados intermetálicos de tipo Fe_2TiSi en porcentaje de superficie, y se corta dicha plancha para obtener una preforma que opcionalmente se puede soldar. A continuación se prensa en frío la preforma para obtener una pieza o preforma de la pieza final. Se calienta entonces la pieza o preforma a una determinada velocidad V_{c1} en un horno a una temperatura T_Y durante un tiempo t_Y para obtener una estructura completamente austenítica, antes de, opcionalmente, extraerla y prensarla en caliente para darle su forma final. A continuación se enfría la pieza al aire o se temple en herramienta a una velocidad V_{ref1} para obtener una estructura esencialmente martensítica a partir de la estructura austenítica original. El enfriamiento posterior al prensado se hará por tanto por debajo de M_s . Por último, se realiza un tratamiento térmico de precipitación de elementos intermetálicos de tipo Fe_2TiSi en un porcentaje de superficie de entre 1 % y 5 % a la temperatura T_{OA} durante un tiempo t_{OA} para endurecer la pieza y darle las propiedades mecánicas que se buscan en el marco de la invención.

[0020] Según un modo preferido de realización, la temperatura T_Y está entre 700 y 1200° C y, de forma especialmente preferida, entre 880 y 980° C.

[0021] Preferentemente, el tiempo de permanencia t_Y está entre 60 y 360 segundos.

[0022] Preferiblemente, la velocidad de enfriamiento tras el prensado en caliente, V_{ref1} entre T_Y y la temperatura de transformación martensítica M_s , está preferiblemente entre 10° C/s y 70° C/s.

[0023] Según un modo particular de realización, el tratamiento térmico de precipitación de intermetálicos consistirá en calentar la pieza a determinada velocidad V_{c2} hasta la temperatura de permanencia T_{OA} durante un tiempo t_{OA} y enfriar a continuación la pieza a una velocidad V_{ref2} superior a 1° C/s para darle las propiedades mecánicas buscadas. Se prefiere especialmente el enfriamiento al aire.

[0024] Según un modo preferido de realización, la temperatura de permanencia T_{OA} está entre 400 y 600° C.

[0025] Según un modo preferido de realización, el tiempo de permanencia t_{OA} a T_{OA} está entre 30 y 600 minutos.

[0026] La invención también tiene por objeto una pieza según la invención calentada a la temperatura T_{OA} durante un tiempo t_{OA} y revestida después con zinc, una aleación de zinc o una aleación a base de zinc.

[0027] La invención también tiene por objeto una pieza según la invención calentada a la temperatura T_{OA} durante un tiempo t_{OA} y revestida después con aluminio, una aleación de aluminio o una aleación a base de aluminio.

[0028] La invención también tiene por objeto la utilización de una pieza según la invención para la fabricación de piezas estructurales o de seguridad para vehículos de motor terrestres. Las piezas antintrusión son un objetivo particular de la invención.

[0029] Más adelante aparecerán otras características y ventajas de la invención, con posibles referencias a las siguientes figuras, que representan:

- Figura 1: dos curvas convencionales de tracción que expresan el comportamiento mecánico del acero según la invención procedente de la fundición 1, prueba A de la tabla 3 de ejemplos. La curva punteada indica el comportamiento mecánico bajo una fuerza de tracción uniaxial después de $t_Y = 180$ segundos de austenización a $T_Y = 950°$ C seguido por un enfriamiento V_{ref1} de 30° C/s hasta temperatura ambiente, que está por debajo de M_s . La curva continua indica el comportamiento mecánico bajo fuerza de tracción uniaxial después del tratamiento térmico de precipitación de intermetálicos nanométricos a $T_{OA} = 500°$ C para $t_{OA} = 180$ minutos.

- Figura 2: fotografía de la microestructura intermedia completamente martensítica después del enfriamiento V_{ref1} a 30° C/s. También ilustra la microestructura correspondiente a la curva punteada de la Figura 1.

- Figura 3: fotografía de la microestructura de un acero según la invención después del tratamiento térmico de precipitación de intermetálicos. Las flechas negras señalan los precipitados de Fe_2TiSi . También ilustra la microestructura correspondiente a la curva continua de la Figura 1.

[0030] En cuanto a la composición química del acero reivindicado por la invención, las cantidades indicadas se refieren a porcentajes de peso.

10

[0031] El contenido de carbono debe ser inferior o igual a 0,1 % del peso debido a que, por encima de ese límite, empieza a disminuir la tenacidad de la martensita de bajo contenido de carbono que constituye la matriz del acero de la invención. Además se intenta evitar la formación de carburos de titanio (TiC, por sus siglas en inglés), nocivos para la ductilidad y consumidores de titanio. Es preferible limitar el contenido de carbono a 0,05 % para reducir al máximo el riesgo de obtener una martensita frágil.

15

[0032] El contenido de manganeso estará entre 0,5 y 7 %. Este elemento desempeña un papel de desoxidación y se aprovechan sus propiedades de endurecimiento por solución sólida de inserción para alcanzar las propiedades mecánicas buscadas. Por otra parte, su efecto positivo en la templabilidad también se utiliza para obtener una estructura martensítica a partir de la austenita original por ejemplo con un ciclo de enfriamiento al aire. En ese sentido, se recomienda un contenido mínimo de 0,5 % en el marco de la invención. No obstante, para evitar el comportamiento frágil del material a temperatura ambiente, se establece un límite superior del 7 % en el marco de la invención. Preferiblemente, no se superará el límite inferior del 3 % ni el límite superior del 5 % con el fin de obtener los mejores resultados respecto al objetivo de la invención.

20

[0033] Con respecto al silicio, el objetivo es un contenido de entre 0,5 y 3,5 %. Este elemento tiene un efecto positivo en la templabilidad del acero y se utiliza en el marco de la invención para obtener una precipitación fina de intermetálicos de tipo Fe_2SiTi . Se necesita por tanto una concentración mínima de 0,5 % para obtener suficiente cantidad de Si para formar los precipitados intermetálicos de Fe_2SiTi . Sin embargo, el silicio es conocido por causar fragilidad, dificultando el laminado. Por eso, más allá del 3,5 %, el laminado podría provocar una fractura e interrumpir el proceso industrial. Se recomienda preferentemente un contenido de silicio de entre 1,0 % y 3,0 %, ambos incluidos, para obtener los mejores resultados en cuanto a tamaño, densidad superficial y distribución de los precipitados intermetálicos de Fe_2TiSi .

25

[0034] La cantidad de titanio estará entre 0,5 y 2 % para equilibrar el sistema ternario de Fe-Si-Ti, es decir, para tener una estequiometría favorable para la formación de compuestos Fe_2TiSi según la invención. Es necesario un contenido mínimo de 0,5 % de titanio para formar suficientes precipitados intermetálicos finos Fe_2SiTi . Sin embargo, en cantidades superiores al 2 %, el riesgo de formar carburos de titanio grandes es demasiado alto, teniendo en cuenta que esos carburos son perjudiciales para la ductilidad y consumen titanio. Por eso, el contenido máximo de titanio es del 2 %. Se recomienda preferentemente un contenido de titanio de entre 0,5 % y 1,5 %, ambos incluidos, para obtener los mejores resultados en cuanto a tamaño, densidad y distribución de los precipitados intermetálicos de Fe_2TiSi .

35

[0035] El contenido de níquel estará entre 2 y 7 %. Este elemento permite aumentar el tamaño del intervalo austenítico, mejorar las propiedades anticorrosivas y aumentar la tenacidad del material. Sin embargo, el coste de este elemento requiere limitar su contenido al 7 %. Por debajo del 2 %, los efectos positivos anteriormente descritos son menos pronunciados. Preferiblemente, el contenido de níquel estará entre 2,5 y 3,5 % para alcanzar los objetivos de la invención.

45

[0036] En el marco de la invención, el contenido de aluminio se limitará al 0,10 %. Se requiere una austenización completa durante el calentamiento a la temperatura T_v para que la matriz del acero llegue a ser enteramente austenítica. Pero el aluminio es un elemento conocido por ser muy alfégeno, es decir, que tenderá a elevar la temperatura a partir de la cual se alcanza el intervalo completamente austenítico. Otras características, como una menor fluidez de los aceros que contienen grandes cantidades de aluminio, son incompatibles con la invención, por lo que esta característica principal lleva a los inventores a limitar el contenido de aluminio a 0,10 %.

50

[0037] El contenido de cromo es inferior o igual al 2 %. Este elemento puede ser, en el marco de esta invención,

un sustituto costoso del manganeso por su efecto principal en la templabilidad o incluso un elemento de endurecimiento adicional. El cromo se limitará preferiblemente al 1 %.

5 **[0038]** El contenido de cobre es inferior o igual al 2 %. Este elemento también podría ser un sustituto interesante aunque costoso del manganeso pero, en ese caso, aparecería el riesgo de agrietamiento que tendría efectos adversos para el forjado en caliente. Por lo tanto, preferiblemente se limitará el cobre al 0,05 %.

10 **[0039]** El contenido de cobalto estará limitado al 2 %. La duración del tratamiento térmico de precipitación de intermetálicos, que tiene lugar tras dar la forma final a la pieza estructural, se puede reducir añadiendo este elemento, que además tiene un efecto positivo sobre la tenacidad. Por lo tanto, se puede agregar cobalto para acelerar la cinética de precipitación de intermetálicos endurecedores, aunque es un elemento costoso y, por eso, se limita su uso al 2 o incluso al 1 %.

15 **[0040]** La adición de molibdeno se limita al 2 % en el marco de la invención debido a que es un elemento costoso, aunque también puede añadirse por su contribución al aumento de la resistencia por solución sólida o por su efecto positivo sobre la templabilidad.

20 **[0041]** El contenido de boro debe ser estrictamente inferior a 0,005 % debido a que, por encima, hay riesgo de formar TiB₂ en la etapa líquida o incluso nitruros de boro. Al ser este tipo de precipitado significativamente menos endurecedor que Fe₂TiSi, una parte del titanio dejaría de estar disponible para endurecer suficientemente el acero.

[0042] El contenido de nitrógeno se limita al 0,008 % para evitar la formación de nitruros de titanio TiN grandes a causa del carácter nocivo de esa inclusión en la ductilidad.

25 **[0043]** Los elementos de microaleaciones como el niobio y el vanadio están presentes en concentraciones limitadas al 0,1 %. Pueden utilizarse para reducir el tamaño de la granulometría austenítica para mejorar la resistencia mecánica. Sin embargo, debido a que el intervalo de precipitación de estos elementos se produce a una temperatura superior a la de la transformación martensítica durante el enfriamiento, no podrán utilizarse para el endurecimiento por precipitación durante el tratamiento térmico. Se correría el riesgo de obtener un acero duro y por tanto de escasa ductilidad incluso antes del prensado porque contendría precipitados a base de niobio y vanadio, lo que reduce la capacidad de prensado sin aparición de grietas.

30 **[0044]** Los elementos como el azufre o el fósforo se limitan al nivel de impurezas a escala industrial y por lo tanto sus respectivos límites máximos son: 0,005 % y 0,03 %.

35 **[0045]** La matriz de las planchas y preformas según la invención es esencialmente martensítica. Esta martensita tiene una concentración de carbono igual a la concentración nominal, que se llamará martensita de bajo contenido de carbono. Por otro lado, se puede tolerar hasta el 5 % de austenita residual en el porcentaje superficial de la microestructura.

40 **[0046]** Esta matriz contiene precipitados intermetálicos de tipo Fe₂TiSi. Para alcanzar los objetivos de la invención, es necesario contar con un tamaño, una densidad y una distribución de estos precipitados intermetálicos de tipo Fe₂TiSi concretos, que se obtienen, en la pieza, gracias al tratamiento térmico de precipitación y por medio de la siguiente combinación:

45 - la suma del contenido en masa de silicio y titanio es mayor o igual a 2,5 %.

- la relación del contenido en masa de titanio respecto al de silicio es mayor o igual a 0,3.

50 **[0047]** Las planchas según la invención podrán fabricarse mediante cualquier procedimiento adaptado. Sin embargo, es preferible utilizar el procedimiento según la invención, que consta de varias etapas.

55 **[0048]** Primero, se obtiene una plancha o preforma cortada a partir de una plancha que tenga la composición contemplada por la invención. La plancha se puede fabricar, por ejemplo, con la fundición de acero líquido que, una vez enfriado, dará lugar a un bloque o lingote. El lingote se calienta a una temperatura de entre 1100° C y 1275° C durante un tiempo suficiente para que la temperatura sea uniforme en todos los puntos del lingote. Después del calentamiento y una vez que la temperatura del lingote sea uniforme, se procederá al laminado en caliente a una

temperatura de fin de laminado T_f superior o igual a 890°C porque se pretende estar por debajo de Ar_3 puesto que el laminado debe hacerse en el intervalo austenítico.

5 **[0049]** Tras ese laminado en caliente, una etapa importante de la invención consiste en enfriar el acero hasta una temperatura de bobinado T_{bob} inferior a 400°C para evitar toda precipitación prematura de intermetálicos. La velocidad de enfriamiento V_{bob} a T_{bob} estará entre 30°C/s y 150°C/s . El acero se puede bobinar entonces mediante enfriamiento al aire de la temperatura T_{bob} a la temperatura ambiente.

10 **[0050]** En una variante de la invención, se puede soldar la preforma a otros componentes de acero para formar una estructura más compleja antes de la austenización y del prensado. Es sabido que, en efecto, dependiendo de la aplicación, puede haber ciertas zonas de una pieza que requieran propiedades mecánicas o grosores distintos del resto de la pieza. Así, con el objetivo principal de mejorar su peso y su eficacia, determinadas piezas pueden hacerse con distintos aceros o tener diferentes grosores, ensamblados en forma de preformas empalmadas o preformas de grosores variables procedentes de un laminado flexible. La soldadura se puede realizar usando todas
15 las tecnologías existentes (soldadura láser, soldadura con arco, soldadura por puntos de resistencia, etc.), mientras que la preforma de grosor variable requiere un laminado flexible en caliente o en frío con una separación variable entre los rodillos laminadores.

20 **[0051]** En otra variante de la invención, antes del calentamiento de la plancha o preforma, se puede deformar la preforma en frío para aproximarse parcialmente a la pieza final o para formar la pieza ya en frío si no presenta problemas particulares que requieran un prensado en caliente. Por último, esta etapa de deformación en frío también puede servir para disponer de una preforma más adecuada para la herramienta de enfriamiento posterior, mejorando el contacto entre la herramienta y la pieza de manera que el enfriamiento se realice de modo más uniforme y rápido. Esta deformación en frío también puede servir simplemente para reducir el grosor del acero.

25 **[0052]** Tras estas dos variantes, opcionales y acumulables a la vez, se calienta la plancha o preforma en un horno de tratamiento térmico a una temperatura de austenización T_γ superior a Ac_3 . Este último parámetro corresponde a la temperatura a partir de la cual la microestructura del material es completamente austenítica. La temperatura T_γ de recocido austenítico debe estar entre 700°C y 1200°C . Para favorecer la homogeneización, el acero o la zona que
30 se vaya a calentar en el intervalo austenítico se mantendrá preferiblemente a la temperatura T_γ durante un tiempo t_γ de entre 60 segundos y 360 segundos. Un tiempo más prolongado sería poco rentable económicamente a escala industrial, al ser el principal objetivo alcanzar una temperatura uniforme T_γ de la preforma. La temperatura T_γ de recocido austenítico estará preferiblemente entre 880°C y 980°C .

35 **[0053]** Opcionalmente, la preforma o plancha calentada así a la temperatura T_γ durante el tiempo t_γ se puede sacar del horno y moldearse en caliente para obtener la pieza final. En caso de que ya se hubiera premoldeado en frío, se imprimirá entonces la forma final y mejorará el contacto entre la pieza y la herramienta de enfriamiento.

40 **[0054]** Preferiblemente, el tamaño de medio de la granulometría de la austenita original, obtenida al calentar por encima de Ac_3 y antes del prensado en caliente, será inferior a 30 micrómetros.

45 **[0055]** El acero tiene unas propiedades mecánicas estables entre 10 y 70°C/s , lo que tiene la ventaja industrial de poder utilizar la misma herramienta de enfriamiento o templado independientemente del grosor de las piezas que se enfriarán. Además, el enfriamiento por mantenimiento en la herramienta permite controlar la geometría de la pieza.

[0056] Una tecnología que elimina el traspaso de la plancha y hace posible el prensado inmediatamente después del calentamiento y la homogeneización de la temperatura del horno representa una ventaja en términos de productividad industrial.

50 **[0057]** Sin esta tecnología, una vez que se traslada la preforma a la prensa para el prensado, la herramienta de prensado en caliente también hace posible el enfriamiento por conducción y la velocidad de enfriamiento, así como la uniformidad del mismo, dependen del grosor de la plancha, la temperatura T_γ , el tiempo de traslado entre el horno y la herramienta de moldeo en caliente y el sistema de enfriamiento de la herramienta. La templabilidad del acero de la invención es tal que basta con un enfriamiento al aire para formar una estructura esencialmente martensítica a
55 temperatura ambiente y estabilizar menos del 5 % de austenita. Eso implica que toda velocidad superior a la del enfriamiento al aire hasta una temperatura M_s permite formar la estructura esencialmente martensítica, estableciendo un límite de 70°C/s para mejorar la homogeneidad y no apartarse de la realidad industrial. Además, el

enfriamiento por permanencia en la herramienta tiene la ventaja de mejorar el control de la forma de la pieza. La temperatura del inicio de la transformación martensítica se calculará con la fórmula publicada por K. Ishida en el «Journal of Alloys Compound. 220» (1995), página 126. »

$$Ms(^{\circ}C) = 545 - 33000 \times C_c + 200 \times C_{Al} + 700 \times C_{Co} - 1400 \times C_{Cr} - 1300 \times C_{Cu} - 2300 \times C_{Mn} - 500 \times C_{Mo} - 400 \times C_{Nb} - 1300 \times C_{Ni} - 700 \times C_{Si} + 300 \times C_{Ti} + 400 \times C_{V},$$

siento los porcentajes de masa.

10 **[0058]** La velocidad de enfriamiento por debajo de la temperatura Ms influirá en las propiedades mecánicas de la martensita templando la martensita, reduciendo su dureza en función de la lentitud de enfriamiento por debajo de Ms. Se recomienda tener una velocidad de enfriamiento al menos igual a la del enfriamiento al aire. T_{int} es la temperatura por debajo de Ms en la que se detiene el enfriamiento después del prensado y que se sitúa antes de la etapa de tratamiento térmico de precipitación de intermetálicos.

15 **[0059]** A continuación, se somete la plancha o preforma a un tratamiento térmico de precipitación de intermetálicos nanométricos que se endurecen en forma de Fe_2TiSi . Este tratamiento térmico se realiza a una temperatura T_{OA} de entre 400 y 600° C, al ser este intervalo de temperatura el que corresponde a los precipitados anteriormente descritos. El mantenimiento a esta temperatura T_{OA} durará un tiempo t_{OA} de entre 30 y 600 minutos. A la etapa de enfriamiento de la pieza hasta por debajo de Ms, puede seguirle directamente el tratamiento térmico anteriormente
20 descrito sin alcanzar la temperatura ambiente. Este tratamiento térmico endurecedor tiene la ventaja de que se realiza después del prensado en caliente o en frío. La resistencia mecánica antes de la precipitación de intermetálicos es inferior a 1000 MPa como se ilustra en la Figura 1 con la curva punteada. Esto hace posible tener una mayor ductilidad que con un acero de estructura endurecida antes del prensado, por lo que las piezas complejas se vuelven accesibles.

25 **[0060]** La microestructura según la invención incluye por lo tanto una matriz martensítica con bajo contenido de carbono presente en forma de secciones con una configuración laminar, en cuyo interior hay una precipitación de tipo Fe_2TiSi que tiene un porcentaje superficial de entre 1 y 5 % y un radio medio de precipitado de entre 1 y 10 nm. Para este último criterio, se asimila el precipitado a un círculo cuyo radio se mide.

30 **[0061]** Las piezas así formadas se pueden ensamblar mediante soldadura en otros componentes de diferentes tamaños, formas, grosor y composición para formar una estructura mayor y más compleja. Después se pueden recubrir las piezas así formadas con un revestimiento adecuado, mediante inmersión o por electrólisis, si requieren propiedades anticorrosivas o estéticas.

35 **[0062]** A modo de ejemplos ilustrativos y no limitativos, aparecerán otras ventajas de la invención a lo largo de las pruebas descritas más adelante.

40 **[0063]** Se fundieron tres compuestos químicos, el primero de los cuales corresponde a la invención (acero 1), mientras los otros dos (aceros 2 y 3) son referencias. El objetivo es demostrar el interés de la invención para alcanzar su objetivo, es decir, un matiz poco costoso que hace posible alcanzar un límite de elasticidad superior o igual a 1300 MPa, así como una elongación de rotura superior o igual al 4 %. El acero N.º 2 es un acero maraging. El acero N.º 3 es un acero para prensado en caliente, el conocido como 22MnB5.

45 **[0064]** La tabla 1 presenta las composiciones químicas de los aceros fundidos en porcentaje de masa. Las composiciones de elementos que no se corresponden con la invención están subrayados.

Tabla 1

Aceros	C	Mn	Si	Ti	Ni	Al	Cr	Cu
1	0,03	3,76	1,99	0,97	3,01	0,01	<0,002	0,0007
2	0,006	<0,2	0,047	0,44	18,24	0,087	0,053	0,053

3	0,23	1,18	0,26	0,04	0,01	0,053	0,18	0,02
Aceros	Co	Mo	S	P	Nb	V	B	N
1	<0,002	0,001	<0,001	0,002	<0,002	<0,002	0,0005	0,0039
2	8,86	5,03	<0,001	<0,02	<0,002	<0,002	<0,001	<0,002
3	<0,002	0,002	0,0008	0,0125	<0,002	0,0007	0,0029	0,0039

[0065] La tabla 2 presenta la suma Si+Ti, la relación Si/Ti y las temperaturas de transformación martensítica de los compuestos químicos de la tabla 1.

5

Tabla 2

Aceros	Si+Ti	Ti/Si	Ms (°C)
1	2,96	0,49	398
2	0,49	9,36	343
3	0,3	0,15	440

[0066] Estos tres compuestos se fundieron para formar lingotes que se sometieron a continuación a las siguientes fases de laminado:

10

- Calentamiento a 1200 °C durante 45 minutos.

- Reducción del grosor del 90 % mediante laminación en caliente con una temperatura de salida de laminador de 900 °C.

15

- Enfriado del acero hasta 200 °C a la salida del último rodillo laminador.

- La velocidad de enfriamiento de la temperatura de fin de laminado $T_{fl} = 900$ °C hasta la temperatura de bobinado T_{bob} de 200 °C fue de 100 °C por segundo y luego el enfriamiento se hizo al aire.

20

- A temperatura ambiente, se decapó la plancha laminada en caliente oxidada mediante un proceso de decapado químico.

- Entonces se redujo el grosor de la plancha un 70 % por laminado en frío.

25

[0067] El grosor de las planchas obtenidas está entre 0,8 y 2,4 mm.

[0068] Las planchas así obtenidas se cortaron entonces para obtener las preformas, que a continuación se sometieron a los tratamientos térmicos resumidos en la tabla 3, en cuyas columnas se indica:

30

- la velocidad de calentamiento: V_{C1} en °C/s,

- la temperatura de austenización T_{γ} en °C,

35

- el tiempo de austenización t_{γ} en segundos, la velocidad media de enfriamiento V_{ref1} en °C/s,

- la temperatura T_{int} de fin del enfriamiento V_{ref1} ,

- el segundo calentamiento para realizar el tratamiento térmico de precipitación V_{C2} en °C/s,

40

- la temperatura de mantenimiento de precipitación T_{OA} en °C,

- el tiempo de mantenimiento de precipitación t_{OA} en minutos,

- el enfriamiento final al aire V_{ref2} . C1 y

5

Tabla 3

Prueba	Aceros	V_{C1} (°C/s)	T_{γ} (°C)	t_{γ} (seg)	V_{ref1} (°C/s)	T_{int} (°C)	V_{C2} (°C/s)	T_{OA} (°C)	t_{OA} (min)	V_{ref2}
A	1	5	950	300	30	25	5	500	180	aire
B	2	5	950	300	30	200	5	480	180	aire
C	3	5	950	300	30	25	5	500	30	aire
D	3	5	950	300	30	25	5	400	30	aire
E	3	5	950	300	30	25	5	600	30	aire

10 **[0069]** En los aceros de las pruebas A y B, se prensó la preforma después de la austenización a 950 °C durante 5 minutos y antes del enfriamiento V_{ref1} . Eso hizo posible formar un pilar central e ilustrar la capacidad de prensado en caliente de los aceros de la invención. A continuación, un tratamiento térmico a 500 °C durante 3 horas (180 minutos) permitió alcanzar un nivel de límite de elasticidad superior a 1300 MPa y una elongación total superior al 4 % en la pieza fabricada con acero 1 prueba A, como se ilustra en la tabla 4.

15 **[0070]** Se revistió una muestra de acero 1 sometida a la prueba A por inmersión en un baño de aleación de zinc, cuya composición era la siguiente: 0,208 % de Al y 0,014 % de Fe, siendo el resto zinc. Se formó así una capa interfacial de Fe₂Al₅ (Zn) bajo otra capa de aleación de zinc con una composición casi idéntica a la del baño. El revestimiento obtenido es adherente y envolvente.

20 **[0071]** Para precisar la respuesta mecánica de los aceros diseñados de acuerdo con la invención, la tabla 4 resume las propiedades mecánicas obtenidas al llevar a cabo las pruebas A a E:

Tabla 4

Prueba	Aceros	Límite de elasticidad (MPa)	Resistencia mecánica (MPa)	Elongación de rotura A%
A	1	1376	1437	7,9
B	2	1930	1950	3,5
C	3	846	903	11,9
D	3	1048	1193	7,0
E	3	704	798	13,9

25

[0072] La prueba B no es conforme a la invención debido al empleo de un matiz maraging que conlleva una elongación de rotura insuficiente. Además, la resistencia mecánica es alta incluso antes del prensado, lo que reduce la ductilidad durante el prensado.

30 **[0073]** La prueba C, realizada con el acero de la fundición 3, no responde a las características mecánicas requeridas por la invención debido a que la composición química no permite contar con todas las características técnicas buscadas y necesarias para alcanzar un límite de elasticidad de 1500 MPa con un 4 % de elongación total. El contenido de carbono es demasiado alto y los de silicio y titanio impiden conseguir los precipitados de endurecimiento buscados en el marco de la invención. Por lo tanto, el nivel del límite de elasticidad es
35 significativamente inferior a 1300 MPa.

[0074] Las pruebas D y E cubren respectivamente los límites inferior (400 °C) y superior (600 °C) de T_{OA} en el

intervalo en cuestión. Ninguna de esas temperaturas permite alcanzar el objetivo en cuanto al límite de elasticidad puesto que se tratará, en este caso, de un templado de martensita cuyo aumento de temperatura en el intervalo descrito conllevará un ablandamiento estructural.

- 5 **[0075]** La invención permite así fabricar piezas que opcionalmente se pueden revestir por inmersión o por deposición electrolítica y que tienen unas características mecánicas tales que el límite de elasticidad es superior o igual a 1300 MPa y su elongación de rotura es superior o igual al 4 % después del tratamiento térmico de endurecimiento. Este tratamiento térmico garantiza unas propiedades mecánicas estables y especialmente elevadas en la pieza final o en la zona que se someterá al tratamiento térmico, por ejemplo en el caso de las preformas empalmadas.

[0076] Así, esas piezas se podrán utilizar provechosamente, por ejemplo y de modo no restrictivo, como piezas de seguridad antintrusión o de refuerzo para la construcción de vehículos terrestres de motor.

- 15 **[0077]** Estas piezas pueden tener un grosor variable como resultado de la soldadura con otros aceros o del laminado flexible del acero de la invención, es decir, del laminado de una misma plancha entre dos rodillos laminadores con una separación variable que haga posible contar con al menos dos grosores distintos en esa plancha tras el laminado.

REIVINDICACIONES

1. Plancha o preforma de acero laminado cuya composición química consta, en porcentaje en peso, de:

$$C \leq 0,1\%$$

$$0,5\% \leq Mn \leq 7\%$$

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

$$0,5\% \leq Ti \leq 2\%$$

$$2\% \leq Ni \leq 7\%$$

$$Al \leq 0,10\%$$

$$Cr \leq 2\%$$

$$Cu \leq 2\%$$

$$Co \leq 2\%$$

$$Mo \leq 2\%$$

$$S \leq 0,005\%$$

$$P \leq 0,03\%$$

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

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

$$B < 0,005\%$$

$$N \leq 0,008\%$$

siendo los contenidos de silicio y titanio:

$$Si + Ti \geq 2,5 \%$$

$$\frac{Ti}{Si} \geq 0,3$$

5

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

2. Plancha o preforma de acero según la reivindicación 1 cuya composición química consta, en 10 porcentaje en peso, de:

$$C \leq 0,050 \%$$

$$3 \leq Mn \leq 5\%$$

$$1,0 \leq Si \leq 3,0\%$$

$$0,5 \leq Ti \leq 1,5\%$$

$$2,5 \leq Ni \leq 3,5\%$$

$$Al \leq 0,10\%$$

$$Cr \leq 1\%$$

$$Cu \leq 0,05\%$$

$$Co \leq 1\%$$

$$Mo \leq 2\%$$

$$S \leq 0,005\%$$

$$P \leq 0,03\%$$

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

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

$$B < 0,005\%$$

$$N \leq 0,008\%$$

siendo los contenidos de silicio y titanio:

$$\text{Si} + \text{Ti} \geq 2,5 \%$$

$$\frac{\text{Ti}}{\text{Si}} \geq 0,3$$

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

- 5
3. Pieza de acero fabricada a partir de una plancha o preforma según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, cuya microestructura consta de al menos 95 % de martensita y precipitados intermetálicos de tipo Fe₂TiSi.
4. Pieza de acero según la reivindicación 3, en la que el porcentaje de superficie de dichos precipitados intermetálicos está entre 1 y 5 %.
- 10
5. Pieza de acero según la reivindicación 3 o la reivindicación 4, en la que el radio medio de dichos precipitados intermetálicos está entre 1 y 10 nm.
- 15
6. Pieza de acero según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, cuyo límite de elasticidad es superior o igual a 1300 MPa y cuya elongación de rotura es superior o igual al 4 %.
7. Pieza de acero según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6, que incluye un revestimiento que contiene zinc, una aleación de zinc o una aleación a base de zinc.
- 20
8. Pieza de acero según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6, que incluye un revestimiento que contiene aluminio, una aleación de aluminio o una aleación a base de aluminio.
9. Procedimiento de fabricación de una pieza de acero que consta de sucesivas etapas en las que:
- 25
- se obtiene una plancha de acero laminado que tiene la composición citada en la reivindicación 1 o 2, cuya microestructura comprende al menos 1 % de porcentaje superficial de precipitados intermetálicos de tipo Fe₂TiSi.
 - se corta esta plancha para obtener una preforma,
- 30
- se calienta la pieza o preforma a una temperatura T_γ durante un tiempo t_γ en un horno para obtener una estructura completamente austenítica,
 - se prensa esta preforma en una herramienta a una temperatura superior a la temperatura Ms para obtener una
- 35
- pieza,
 - se enfría la pieza a una velocidad media de enfriamiento V_{ref1} hasta una temperatura inferior a la temperatura Ms para formar una matriz martensítica,
- 40
- se calienta la pieza de acero a una temperatura de permanencia T_{OA} durante un tiempo t_{OA} para darle las propiedades mecánicas buscadas mediante la precipitación de intermetálicos de tipo Fe₂TiSi entre el 1 % y el 5 % de porcentaje superficial.
10. Procedimiento de fabricación de una pieza de acero que consta de sucesivas etapas en las que:
- 45
- se obtiene una plancha de acero laminado con la composición citada en la reivindicación 1 o 2, cuya microestructura consta al menos de 1 % de porcentaje superficial de precipitados intermetálicos de tipo Fe₂TiSi.
 - se corta esta plancha para obtener una preforma,
- 50

- se prensa dicha preforma,
- se calienta la preforma de acero a una temperatura T_V durante un tiempo t_V en un horno para obtener una estructura completamente austenítica,
- 5 - se saca la preforma del horno,
- se prensa esta preforma en una herramienta a una temperatura superior a la temperatura M_s para obtener una pieza,
- 10 - se enfría la pieza a una velocidad media de enfriamiento V_{ref1} hasta una temperatura inferior a la temperatura M_s ,
- se calienta la pieza de acero a una temperatura de permanencia T_{OA} durante un tiempo t_{OA} para darle las propiedades mecánicas buscadas mediante la precipitación de intermetálicos de tipo Fe_2TiSi entre el 1 % y el 5 % de porcentaje superficial.
- 15 11. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 9 o la reivindicación 10, por el que dicha temperatura T_V está entre 700 y 1200 °C.
- 20 12. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 11, por el que dicha temperatura T_V está entre 880 y 980 °C.
- 13. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12 por el que el tiempo de permanencia t_V está entre 60 y 360 segundos.
- 25 14. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13 por el que la velocidad media de enfriamiento V_{ref1} está entre 10 y 70 °C/s.
- 15. Procedimiento de fabricación según cualquier de las reivindicaciones 9 a 14 por el que dicha temperatura de permanencia T_{OA} está entre 400 y 600 °C.
- 30 16. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 15 por el que el tiempo de permanencia t_{OA} está entre 30 y 600 minutos.
- 35 17. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 16 por el que dicha pieza calentada a la temperatura T_{OA} durante una duración t_{OA} se reviste a continuación con zinc, una aleación de zinc o una aleación a base de zinc.
- 18. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 16 por el que dicha pieza calentada a la temperatura T_{OA} durante una duración t_{OA} se reviste a continuación con aluminio, una aleación de aluminio o una aleación a base de aluminio.
- 40 19. Utilización de una pieza según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 o fabricada según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 18 para la fabricación de piezas estructurales o de seguridad para vehículos terrestres de motor.
- 45

Figura 1

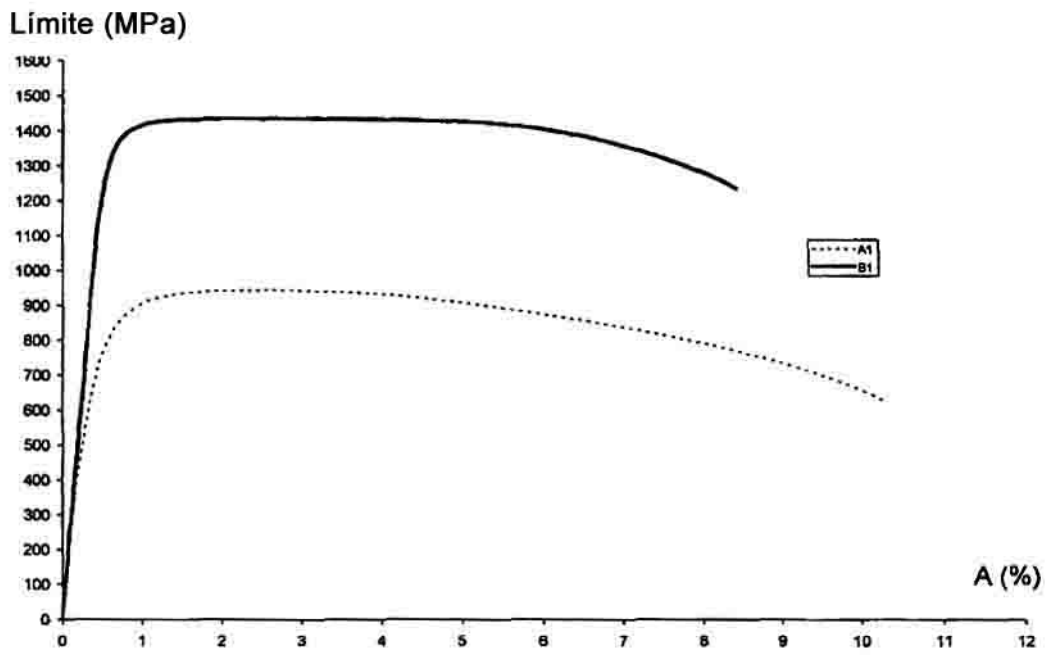


Figura 2

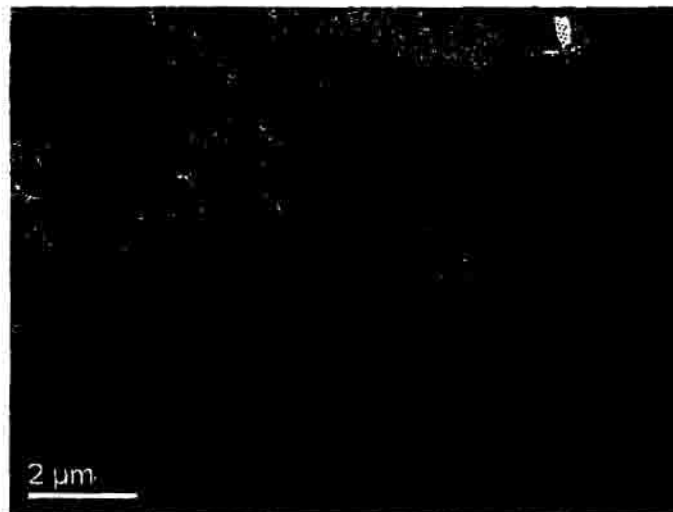


Figura 3

