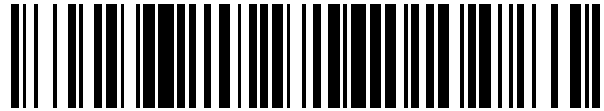


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 651 149**

51 Int. Cl.:

C21D 1/20 (2006.01)
C21D 8/02 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)
C22C 38/12 (2006.01)
C21D 9/46 (2006.01)
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.04.2013 PCT/EP2013/056957**
87 Fecha y número de publicación internacional: **03.10.2013 WO13144377**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2013 E 13717208 (6)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **29.04.2020 EP 2831299**

54 Título: **Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío y procedimiento de fabricación de dicha chapa de acero**

- 30 Prioridad:
30.03.2012 WO PCT/EP2012/055912
- 45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente modificada:
15.02.2021

- 73 Titular/es:
**VOESTALPINE STAHL GMBH (100.0%)
Voestalpine-Str. 3
4020 Linz, AT**
- 72 Inventor/es:
**KRIZAN, DANIEL;
PAUL, STEFAN;
PICHLER, ANDREAS y
NAKAYA, MICHIHARU**
- 74 Agente/Representante:
GARCÍA-CABRERIZO Y DEL SANTO, Pedro María

ES 2 651 149 T5

DESCRIPCIÓN

5 Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío y procedimiento de fabricación de dicha chapa de acero

CAMPO TÉCNICO

10 La presente invención se refiere a una chapa de acero de alta resistencia laminada en frío adecuada para aplicaciones en automóviles, materiales de construcción y similares, específicamente a una chapa de acero de alta resistencia con excelente formabilidad. En particular, la invención se refiere a chapas de acero laminadas en frío que tienen una resistencia a la tracción de al menos 980 MPa.

ESTADO DE LA TÉCNICA

15 Para una gran variedad de aplicaciones, el incremento de los niveles de resistencia constituye un requisito previo para las construcciones ligeras, en particular en la industria del automóvil, ya que la reducción de la masa de la carrocería del automóvil da como resultado una reducción del consumo de combustible.

20 Las piezas de la carrocería de los automóviles a menudo son estampadas a partir de chapa de acero, formando miembros estructurales complejos de chapa fina. Sin embargo, tales piezas no pueden producirse a partir de aceros convencionales de alta resistencia debido a una formabilidad demasiado baja para conformar partes estructurales complejas. Por esta razón, los aceros multifase con plasticidad inducida por transformación (aceros TRIP) han ganado considerable interés en los últimos años.

25 Los aceros TRIP poseen una microestructura multifásica, que incluye una fase de austenita retenida metaestable, que es capaz de producir el efecto TRIP. Cuando el acero se deforma, la austenita se transforma en martensita, lo que produce un notable endurecimiento del trabajo. Este efecto de endurecimiento actúa para resistir el estrechamiento en el material y evitar fallos en las operaciones de formación de chapa. La microestructura de un acero TRIP puede alterar en gran medida sus propiedades mecánicas. Los aspectos más importantes de la microestructura del acero TRIP son el porcentaje de volumen, el tamaño y la morfología de la fase de austenita retenida, ya que estas propiedades afectan directamente a la transformación de austenita a martensita cuando el acero se deforma. Hay varias maneras de estabilizar químicamente la austenita a temperatura ambiente. En aceros TRIP de baja aleación, la austenita se estabiliza a través de su contenido de carbono y el tamaño pequeño de los granos de austenita. El contenido de carbono necesario para estabilizar la austenita es de aproximadamente un 1% en peso. Sin embargo, un alto contenido de carbono en el acero impide que pueda utilizarse en muchas aplicaciones debido al deterioro de la capacidad de soldadura.

40 Por lo tanto, se requieren específicas rutas de procesamiento para concentrar el carbono en la austenita con el fin de estabilizarla a temperatura ambiente. La composición química del acero TRIP común también contiene pequeñas adiciones de otros elementos para ayudar a estabilizar la austenita y para ayudar en la creación de microestructuras que producen la división del carbono en la austenita. Las adiciones más comunes son 1,5% en peso tanto de Si como de Mn. Con el fin de inhibir la descomposición de la austenita durante la transformación de la bainita, generalmente se considera necesario que el contenido de silicio sea de al menos un 1% en peso. El contenido de silicio del acero es importante ya que el silicio es insoluble en cementita. El documento US 2009/0238713 divulga dicho acero TRIP. Sin embargo, un alto contenido de silicio puede ser responsable de una mala calidad superficial del acero laminado en caliente y de una mala capacidad de revestimiento del acero laminado en frío. En consecuencia, se ha investigado la sustitución parcial o completa de silicio por otros elementos y se ha informado de resultados prometedores para el diseño de una aleación basada en Al. Sin embargo, una desventaja del uso del aluminio es el aumento de la temperatura de transformación (A_{c3}) que hace que la austenización completa en líneas de recocido industriales convencionales sea muy difícil o imposible.

50 Dependiendo de la fase de la matriz, se citan los siguientes tipos principales de aceros TRIP:

55 **Acero TRIP TPF con matriz de ferrita poligonal**

Los aceros TPF, como ya se mencionó anteriormente, contienen una matriz de ferrita poligonal relativamente blanda con inclusiones de bainita y austenita retenida. La austenita retenida se transforma en martensita después de la deformación, lo que da como resultado un efecto TRIP deseable, que permite al acero lograr una excelente combinación de resistencia y capacidad de embutición. Sin embargo, su elasticidad es menor en comparación con los aceros TBF, TMF y TAM con una microestructura más homogénea y una matriz más resistente.

60 **Acero TRIP TBF con matriz de ferrita bainítica**

Los aceros TBF se conocen desde hace mucho tiempo y atrajeron mucho interés debido a que la matriz de ferrita bainítica permite una excelente elasticidad. Además, de manera similar a los aceros TPF, el efecto

TRIP, garantizado por la transformación inducida por deformación de las islas de austenita retenida metaestable en martensita, mejora notablemente su capacidad de embutición.

Aceros TRIP TMF con matriz de ferrita martensítica

5 Los aceros TMF también contienen pequeñas islas de austenita retenida metaestable incrustadas en una fuerte matriz martensítica, lo que permite que estos aceros alcancen una elasticidad aún mejor en comparación con los aceros TBF. Aunque estos aceros también exhiben el efecto TRIP, su capacidad de embutición es menor en comparación con los aceros TBF.

Aceros TRIP TAM con matriz de martensita recocida

10 Los aceros TAM contienen una matriz de ferrita en forma de aguja obtenida por recocido de martensita fresca. Un acusado efecto TRIP tiene de nuevo lugar mediante la transformación de inclusiones de austenita retenida metaestable en martensita tras la deformación. A pesar de su prometedora combinación de resistencia, elasticidad y capacidad de embutición, estos aceros no han ganado un notable interés industrial debido a su complicado y costoso ciclo de doble calor.

15 La conformabilidad de los aceros TRIP se ve condicionada principalmente por las características de transformación de la fase de austenita retenida, que a su vez se ve condicionada por la química austenítica, su morfología y otros factores. En *ISIJ International* Vol. 50 (2010), n° 1, págs. 162-168 se discuten los aspectos que influyen en la conformabilidad de los aceros TBF que tienen una resistencia a la tracción de al menos 980 MPa. Sin embargo, los materiales laminados en frío examinados en este documento fueron recocidos a 950 °C y austemperizados a 300-20 500 °C durante 200 s en baño de sal. En consecuencia, debido a la alta temperatura de recocido, estos materiales no son adecuados para la producción en una línea de recocido industrial convencional.

DIVULGACIÓN DE LA INVENCION

25 La presente invención se refiere a una chapa de acero de alta resistencia laminada en frío que tiene una resistencia a la tracción de al menos 980 MPa y una excelente conformabilidad, y a un procedimiento para fabricar la misma a escala industrial. En particular, la invención se refiere a una chapa de acero TBF laminada en frío que tiene propiedades adaptadas para la producción en una línea de recocido industrial convencional. Por consiguiente, la chapa de acero no sólo poseerá buenas propiedades de conformabilidad, sino que, al mismo tiempo, se optimizará con respecto a la temperatura A_{c3} , la temperatura M_s , el tiempo y la temperatura de austemperizado y otros factores como la escala de viscosidad que influye en la calidad superficial de la chapa de acero laminado en caliente y la procesabilidad de la chapa de acero en una línea de recocido industrial.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

35 La invención se describe en las reivindicaciones.

40 La chapa de acero TBF de alta resistencia laminada en frío tiene una composición del acero formada por los siguientes elementos (en % en peso):

C	0,15 - 0,18
Mn	2,2 - 2,4
Si	0,7 - 0,9
Cr	0,1 - 0,9
Si + 0,8 Al + Cr	0,5 - 1,8
Al	0,2 - 0,6
Nb	< 0,1
Mo	< 0,3
Ti	< 0,2
V	< 0,2
Cu	< 0,5
Ni	< 0,5
S	≤ 0,01
P	≤ 0,02
N	≤ 0,02
B	< 0,005
Ca	< 0,005
Mg	< 0,005
REM	< 0,005

el resto Fe aparte de impurezas.

45 La limitación de los elementos se explica a continuación.

ES 2 651 149 T5

La limitación de los elementos C, Mn, Si, Al y Cr es esencial para la invención por los motivos expuestos a continuación:

C:

5 C es un elemento que estabiliza la austenita y es importante para obtener suficiente carbono dentro de la fase de austenita retenida. C también es importante para obtener el nivel de resistencia deseado. En general, se puede esperar un aumento de la resistencia a la tracción del orden de 100 MPa por 0,1% C. Cuando C es inferior a 0,1%, entonces es difícil alcanzar una resistencia a la tracción de 980 MPa. Si C excede 0,3% entonces la soldabilidad se deteriora. Por esta razón, el intervalo preferido es 0,15 - 0,18%, dependiendo del nivel de resistencia deseado.

Mn:

15 El manganeso es un elemento de refuerzo de solución sólida, que estabiliza la austenita disminuyendo la temperatura M_s y evita que se formen ferrita y perlita durante el enfriamiento. Además, Mn reduce la temperatura A_{c3} . Con un contenido de menos del 2%, podría ser difícil obtener una resistencia a la tracción de 980 MPa y la temperatura de austenización podría ser demasiado alta para las líneas de recocido industriales convencionales. Sin embargo, si la cantidad de Mn es mayor que 3%, pueden producirse problemas de segregación y la trabajabilidad puede deteriorarse. El intervalo preferido es, por lo tanto, 2,2 - 2,4%.

Si:

25 El Si actúa como un elemento de refuerzo de solución sólida y es importante para asegurar la resistencia de la chapa de acero delgada. Si es insoluble en cementita y, por lo tanto, actuará para retrasar en gran medida la formación de carburos durante la transformación de la bainita ya que se debe dar tiempo para que el Si se difunda lejos de los límites del grano de bainita antes de que pueda formarse cementita. El intervalo preferido es, por lo tanto, 0,7 - 0,9%.

Cr:

30 El Cr es eficaz para aumentar la resistencia de la chapa de acero. Cr es un elemento que forma ferrita y retarda la formación de perlita y bainita. La temperatura A_{c3} y la temperatura M_s se reducen sólo ligeramente con el aumento del contenido de Cr. Sin embargo, debido al retraso de la transformación de la bainita, se requieren tiempos de retención más largos, de modo que el procesamiento en una línea de recocido industrial convencional se hace difícil o imposible, cuando se usan velocidades de línea normales. Por esta razón, la cantidad de Cr está preferiblemente limitada al 0,6%. El intervalo preferido es 0,1-0,35.

Si + 0,8 Al + Cr

40 El Si, el Al y el Cr, cuando se añaden en combinación, tienen un efecto sinérgico y completamente imprevisto, lo que da como resultado una cantidad incrementada de austenita residual, lo que, a su vez, da como resultado una ductilidad mejorada. Por estas razones, la cantidad de Si + 0,8 Al + Cr se limita preferiblemente al intervalo de 1,4 - 1,8 %.

Al:

50 Al promueve la formación de ferrita y también se usa comúnmente como un desoxidante. El Al, al igual que el Si, no es soluble en la cementita y, por lo tanto, debe difundirse lejos de los límites del grano de bainita antes de que pueda formarse cementita. La temperatura M_s aumenta con un contenido creciente de Al. Un inconveniente adicional de Al es que da como resultado un aumento drástico en la temperatura A_{c3} , de manera que la temperatura de austenización puede ser demasiado alta para las líneas de CA convencionales. El contenido de Al se refiere a Al soluble en ácido.

55 Además de C, Mn, Si y Cr, el acero puede contener opcionalmente uno o más de los siguientes elementos con el fin de ajustar la microestructura, influir en la cinética de transformación y/o mejorar una o más de las propiedades mecánicas de la chapa de acero.

Nb: < 0,1

60 El Nb se usa comúnmente en aceros de baja aleación para mejorar la resistencia y la tenacidad debido a su notable influencia en el desarrollo del tamaño de grano. Nb aumenta el equilibrio entre elongación y resistencia mediante el refinado de la microestructura de la matriz y la fase de austenita retenida debido a la precipitación de NbC. En contenidos superiores al 0,1%, el efecto se satura.

65 Los intervalos preferidos son, por lo tanto 0,02 - 0,08%, 0,02 - 0,04% y 0,02 - 0,03%.

Mo: < 0,3

5 Se puede agregar Mo para mejorar la resistencia de la chapa de acero. La adición de Mo junto con Nb da como resultado la precipitación de NbMoC fino, que produce una mejora adicional en la combinación de resistencia y ductilidad.

Ti: < 0,2; V: < 0,2

10 Estos elementos son efectivos para el endurecimiento por precipitación. Se puede agregar Ti en cantidades preferidas de 0,01 - 0,1%, 0,02 - 0,08% o 0,02 - 0,05%. V puede agregarse en cantidades preferidas de 0,01 - 0,1% o 0,02 - 0,08%.

15 Cu: < 0,5; Ni: < 0,5

Estos elementos son elementos de refuerzo de solución sólida y pueden tener un efecto positivo sobre la resistencia a la corrosión. Se puede agregar en cantidades de 0,05 - 0,5% o 0,1 - 0,3% si es necesario.

20 S: ≤ 0,01; P: ≤ 0,02; N: ≤ 0,02

Estos elementos no son deseados en este tipo de acero y, por lo tanto, deberían estar limitados.

S preferiblemente ≤ 0,003

P preferiblemente ≤ 0,01

N preferiblemente ≤ 0,003

25

B: < 0,005

30 B suprime la formación de ferrita y mejora la soldabilidad de la chapa de acero. Para tener un efecto notable, se debe agregar al menos 0,0002%. Sin embargo, cantidades excesivas de B deterioran la trabajabilidad. Los intervalos preferidos son < 0,004 %, 0,0005 - 0,003 % y 0,0008 - 0,0017 %.

Ca: < 0,005; Mg: < 0,005; REM: < 0,005

35 Estos elementos se pueden añadir para controlar la morfología de las inclusiones en el acero y de ese modo mejorar la capacidad de expansión del agujero y la elasticidad de la chapa de acero. Los intervalos preferidos son 0,0005-0,005 % y 0,001-0,003 %.

Si > Al

40 La chapa de acero de alta resistencia laminada en frío según la invención tiene un diseño basado en aluminio y silicio, es decir, la precipitación de cementita durante la transformación bainítica se realiza mediante Si y Al. Aunque la cantidad de Si es reducida, es preferible que sea mayor que la cantidad de Al, preferiblemente Si>1,1 Al, más preferiblemente Si> 1,3 Al o incluso Si> 2Al.

45 Si > Cr

50 En la chapa de acero de la presente invención se prefiere controlar la cantidad de Si para que sea mayor que la cantidad de Cr y restringir la cantidad de Cr debido a su efecto de demasiado retardo en la transformación de bainita. Por esta razón, se prefiere mantener Si> Cr, preferiblemente Si> 1,5 Cr, más preferiblemente Si>2 Cr, y más preferiblemente Si> 3 Cr.

La chapa de acero TBF de alta resistencia laminada en frío tiene una microestructura multifásica, que comprende (en % vol.)

austenita retenida	5 - 20
bainita + ferrita bainítica + martensita templada	≥ 80
ferrita poligonal	≤ 10

55

La cantidad de austenita retenida es 5-20%, preferiblemente 5-16%, más preferiblemente 5-10%. Debido al efecto TRIP, la austenita retenida es un requisito previo cuando es necesaria una alta elongación. Una gran cantidad de austenita residual disminuye la elasticidad. En estas chapas de acero, la ferrita poligonal se reemplaza por ferrita bainítica (BF) y la microestructura generalmente contiene más del 50% de BF. La matriz consiste en listones de BF reforzados por una alta densidad de dislocación y entre los listones está presente la austenita retenida.

60

5 El componente MA (martensita/austenita) representa las islas individuales en la microestructura que consiste en austenita retenida y/o martensita. Estos dos compuestos microestructurales son difíciles de distinguir mediante la técnica de grabado común para aceros avanzados de alta resistencia (AHSS) - el grabado de Le Pera y también mediante investigaciones con microscopía electrónica de barrido (SEM). El grabado de Le Pera, que es muy común para los expertos en la materia, se puede encontrar, por ejemplo, en "F.S. LePera, *Improved etching technique for the determination of percent martensite in high-strength dual-phase steels*" (F.S. LePera, técnica de grabado mejorada para la determinación del porcentaje de martensita en aceros de doble fase de alta resistencia), Metallography (Metalografía), Volumen 12, Número 3, septiembre 1979, páginas 263-268. Además, para propiedades tales como la expansión del agujero, la cantidad y el tamaño del componente MA juega un papel importante. Por lo tanto, en la práctica industrial, la fracción y el tamaño del componente MA a menudo son utilizados por AHSS para las correlaciones en términos de sus propiedades mecánicas y conformabilidad.

10 El tamaño de la martensita-austenita (MA) debe ser como máximo de 5 µm, preferiblemente de 3 µm. Cantidades menores de martensita pueden estar presentes en la estructura. La cantidad de MA deberá ser como máximo del 20%, preferiblemente del 16%, más preferiblemente de menos del 10%.

15 La chapa de acero TBF de alta resistencia laminada en frío preferiblemente tiene las siguientes propiedades mecánicas

resistencia a la tracción (R_m)	$\geq 980-1200$	MPa
elongación total (A_{80})	≥ 11	%
relación de expansión del agujero (λ)	≥ 45	%, preferiblemente $\geq 50\%$.

20 [Los valores R_m y A_{80} se derivaron de acuerdo con la norma europea EN 10002 Parte 1, en donde las muestras se tomaron en la dirección longitudinal de la banda. La relación de expansión del agujero (λ) se determinó mediante la prueba de expansión del agujero según ISO/WD 16630. En este ensayo, un punzón cónico que tiene una punta a 60° se fuerza dentro de un agujero perforado de 10 mm de diámetro hecho en una chapa de acero con un tamaño de 100 x 100 mm². La prueba se detiene tan pronto como se percibe la primera grieta y el diámetro del agujero se mide en dos direcciones ortogonales entre sí. El valor medio aritmético se usa para el cálculo.

25 La relación de expansión del agujero (λ) en % se calcula de la siguiente manera:

$$30 \quad \lambda = (D_h - D_o) / D_o \times 100$$

donde D_o es el diámetro inicial del agujero (10 mm) y D_h es el diámetro final del agujero después de la prueba.

35 Las propiedades de conformabilidad de las chapas de acero se evaluaron adicionalmente mediante los parámetros: equilibrio entre elongación y resistencia ($R_m \times A_{80}$) y elasticidad ($R_m \times \lambda$).

La chapa de acero del tipo de elongación tiene un alto equilibrio entre elongación y resistencia y la chapa de acero de gran capacidad de expansión del agujero tiene una alta elasticidad.

40 La chapa de acero de la presente invención cumple al menos una de las siguientes condiciones:

$R_m \times A_{80}$	$\geq 13\ 000$	MPa%
$R_m \times \lambda$	$\geq 50\ 000$	MPa%

45 Las propiedades mecánicas de las chapas de acero de la presente invención se pueden ajustar con amplitud mediante la composición de la aleación y la microestructura.

Una composición química comparativa puede comprender 0,19 C, 2,6 Mn, 0,82 Si, 0,3-0,7 Al, 0,10 Mo, el resto Fe aparte de impurezas.

50 Las chapas de acero de la presente invención se pueden fabricar en una línea de recocido industrial convencional. El procesamiento comprende los pasos de:

- a) suministro de una banda de acero laminada en frío que tiene una composición según se ha establecido anteriormente,
- 55 b) recocido de la banda laminada en frío a una temperatura de recocido, T_{an} , por encima de la temperatura A_{c3} para austenizar completamente el acero, seguido de
- c) enfriamiento de la banda de acero laminada en frío, desde la temperatura de recocido, T_{an} , hasta una temperatura de parada de enfriamiento del enfriamiento rápido, T_{RC} , a una velocidad de enfriamiento

ES 2 651 149 T5

suficiente para evitar la formación de ferrita, siendo la velocidad de enfriamiento de 20 -100 ° C / s, al tiempo que:

- 5 • para una chapa de acero del tipo de gran expansión del agujero, la temperatura de parada de enfriamiento, T_{RC} , es inferior a la temperatura de inicio de martensita, T_{MS} , estando T_{MS} entre 300 y 400 °C, preferiblemente entre 340 y 370 °C,
 - para una chapa de acero del tipo de gran elongación, la temperatura de parada de enfriamiento, T_{RC} , está entre 360 y 460 °C, preferiblemente entre 380 y 420 °C, seguido de
- 10 d) austemperizado de la banda de acero laminada en frío a una temperatura de promedio/austemperizado, T_{OA} , que está entre 360 y 460 °C, preferiblemente entre 380 y 420 °C, seguido de
- e) enfriamiento la banda de acero laminada en frío a temperatura ambiente

15 El proceso comprenderá preferiblemente los siguientes pasos:

 en el paso b) el recocido se realiza a una temperatura de de recocido, T_{an} , comprendida entre 910 y 930 °C, durante un tiempo de mantenimiento del recocido, t_{an} , comprendido entre 150-200 s, preferiblemente 180 s,

20 en el paso c) el enfriamiento se realiza de acuerdo con un patrón de enfriamiento que comprende dos velocidades de enfriamiento distintas: una primera velocidad de enfriamiento, CR1, de aproximadamente 80 - 100 °C/s, preferiblemente de 85 - 95 °C/s, hasta una temperatura de alrededor de 90 °C/s, hasta una temperatura que está entre 530 y 570 °C preferiblemente 550 °C, y una segunda velocidad de enfriamiento, CR2, de 35 - 45 °C, preferiblemente de alrededor de 40 °C/s, hasta la temperatura de parada de enfriamiento rápido, T_{RC} , y

25 en el paso d) el austemperizado se realiza a un tiempo de promedio/austemperizado, t_{OA} , que está entre 150 y 600 s, preferiblemente 180 y 540 s.

30 Preferiblemente, no se aplica calentamiento externo a la banda de acero entre las etapas c) y d).

 Las razones para regular las condiciones de tratamiento térmico se exponen a continuación:

 Temperatura de recocido, T_{an} , > temperatura A_{c3} :

35 Al austenizar por completo el acero, se puede controlar la cantidad de ferrita poligonal en el acero. Si la temperatura de recocido, T_{an} , está por debajo de la temperatura a la cual el acero es totalmente austenítico, A_{c3} , existe el riesgo de que la cantidad de ferrita poligonal de la chapa de acero supere el 10%. Demasiada ferrita poligonal da un tamaño mayor del componente MA.

40 Temperatura de parada de enfriamiento del enfriamiento rápido, T_{RC} :

 Controlando la temperatura de parada de enfriamiento del enfriamiento rápido, T_{RC} , se puede controlar el tamaño del componente MA en la chapa de acero. Si la temperatura de parada de enfriamiento del enfriamiento rápido, T_{RC} , excede la temperatura de inicio de la martensita, T_{MS} , el tamaño del componente MA aumentará, lo que reducirá el producto $R_m \times \lambda$ por debajo del valor necesario para una chapa de acero del tipo gran expansión del agujero. En el caso de una chapa de acero del tipo de alta elongación, la temperatura de parada de enfriamiento, T_{RC} podría estar por encima de la temperatura de inicio de la martensita, T_{MS}

50 Temperatura de austemperizado T_{OA} :

 Controlando la temperatura de austemperizado, T_{OA} , a una temperatura que esté entre 360 y 460 °C, preferiblemente entre 380 y 420 °C, se puede controlar el tamaño del componente MA y la cantidad de austenita retenida, RA. Una temperatura de austemperizado más baja, T_{OA} , reducirá la cantidad de RA. Una temperatura de austemperizado más alta, T_{OA} , reducirá la cantidad de RA y aumentará el tamaño del componente MA. Ambas situaciones disminuirán el alargamiento uniforme, A_g , y el alargamiento total, A_{80} , de la chapa de acero.

 Velocidades de enfriamiento primera y segunda, CR1, CR2:

60 Controlando la primera velocidad de enfriamiento, CR1, de 80 a 100 °C/s, preferiblemente de 85 a 95 °C/s, prefereiblmente a aproximadamente 90 °C/s hasta una temperatura entre 530 y 570 °C, preferiblemente 550 °C, y la segunda velocidad de enfriamiento, CR2, de 35 a 45 °C/s, prefereiblmente a aproximadamente 40 °C/s hasta la temperatura de parada de enfriamiento rápido, T_{RC} , se puede controlar la cantidad de ferrita poligonal. Al reducir las velocidades de enfriamiento, aumentará la cantidad de ferrita poligonal a más del 10%.

En una realización de la invención, la chapa de acero es una chapa de acero del tipo de gran alargamiento que tiene un equilibrio de resistencia-elongación $R_m \times A_{80} \geq 13\ 000\ \text{MPa}\%$, preferiblemente $\geq 15\ 000\ \text{MPa}\%$,

5 En otra realización de la invención, la chapa de acero es una chapa de acero del tipo de gran capacidad de expansión del agujero que tiene una elasticidad $R_m \times \lambda \geq 50\ 000\ \text{MPa}\%$, preferiblemente $\geq 55\ 000\ \text{MPa}\%$.

EJEMPLOS

10 Se fabricaron varias aleaciones de prueba A-M que tienen unas composiciones químicas de acuerdo con la Tabla I. Se fabricaron chapas de acero y se sometieron a tratamiento térmico en una línea CA convencional de acuerdo con los parámetros especificados en la Tabla II. La microestructura de las chapas de acero se examinó en relación con una serie de propiedades mecánicas y el resultado se presenta en la Tabla II.

15 Se da un comportamiento completamente diferente con las chapas de acero de la invención. Basándose parcialmente en estos resultados, se desarrolló la chapa de acero TBF reivindicada que tiene un diseño de aleación basado en Si-Al, opcionalmente con adiciones de Cr, que tiene una alta elasticidad y una procesabilidad mejorada para la fabricación en una línea de recocido continuo.

20 Medida cuantitativa de microestructuras

La cantidad de austenita retenida se midió por análisis de rayos X en una posición 1/4 del espesor de la lámina. Una fotografía de la microestructura realizada por el SEM se sometió a análisis de imagen para medir el volumen-% de MA, el volumen-% de la fase de la matriz (ferrita bainítica + bainita + martensita templada), el volumen-% de austenita retenida y el volumen-% de ferrita poligonal.

25 Ferrita bainítica + bainita + martensita templada:

Un grano de cristal en el que se observó un punto blanco (o una línea blanca compuesta por una matriz lineal de puntos blancos concatenados) en el análisis de imágenes de la fotografía SEM.

30 MA (martensita / austenita):

Un grano de cristal en el que no se observó ningún punto blanco (o ninguna línea blanca) en el análisis de imágenes de la fotografía SEM.

35

Tabla I

Composición química en % en peso														Punto Ms	Ac3*		
Núm. de tipo de acero	C	Si	Mn	P	S	sol-Al	Cr	Mo	Nb	sol-Ti	B	N	Si+Cr				Si+Cr+0,8Al
A	0,192	0,82	2,55	0,008	0,0022	0,70	0,01					0,0040	0,83	1,39	386	902	acero comparativo
B	0,187	0,83	2,56	0,007	0,0020	0,70	0,01		0,030			0,0029	0,84	1,40	388	904	acero comparativo
C	0,196	0,82	2,58	0,008	0,0020	0,69	0,01	0,10				0,0033	0,83	1,38	381	904	acero comparativo
D	0,192	0,82	2,58	0,008	0,0023	0,69	0,01	0,10	0,030			0,0032	0,83	1,38	383	903	acero comparativo
E	0,205	0,78	2,57	0,008	0,0022	0,70	0,31			0,050		0,0033	1,09	1,65	374	903	acero comparativo
F	0,175	0,81	2,28	0,008	0,0024	0,290						0,0045	0,81	1,04	403	870	acero comparativo
G	0,172	0,79	2,27	0,009	0,0026	0,588						0,0043	0,79	1,26	405	903	acero comparativo
H	0,171	0,79	2,25	0,008	0,0026	0,291					0,0005	0,0045	0,79	1,02	406	870	acero comparativo
I	0,177	0,79	2,24	0,008	0,0027	0,590					0,0006	0,0048	0,79	1,26	403	902	acero comparativo
J	0,195	0,56	2,26	0,0065	0,0025	0,85	0,038	0,005	0,002	0,005	0,0003	0,0025	0,598	1,28	393	951	acero comparativo
K	0,198	0,62	1,74	0,008	0,0024	0,6	0,013	0,004	0,002	0,005	0,0004	0,0028	0,633	1,11	409	884	acero comparativo
L	0,168	0,81	2,49	0,007	0,0025	0,57	0,01	0,10	0,002	0,006	0,0003	0,0042	0,82	1,28	397	910	acero comparativo
M	0,130	0,4	2,41	0,013	0,002	0,045						0,004	0,4	0,44	420	830	acero comparativo

Ms = 561-474C%-33Mn-17Cr-21Mo
Ac3: Medido por dilatómetro

Tabla II

Parámetros CA, propiedades mecánicas y microestructura

Núm.	de tipo de acero	de recocido Tan °C	de recocido tan	enfriamiento CR1 °C/s	enfriamiento CR2 °C/s	de parada del enfriamiento rápido T _{rc} °C	promedio T _{0A} °C	de promedio t _{0A} s	mm	MPa	MPa	%	%	*A80 MPa%	retenida % vol.	poligonal % vol.	bainítica + bainita + martensita templada % vol.	martensita-austenita % vol.	martensita-austenita tamaño um	acero comparativo
1	A	910	180	90	41	340	420	540	1,44	1017	1140	13,7	54	15559	61153	0	96	4,5	2,6	acero comparativo
2	A	930	180	90	42	340	420	540	1,43	1017	1140	13,7	54	15559	61153	0	95	4,7	1,9	acero comparativo
3	A	910	180	90	41	340	460	540	1,43	906	1119	14,2	47	15888	52253	0	92	8,0	4,7	acero comparativo
4	A	910	180	90	41	340	440	540	1,42	981	1131	15,3	46	17249	52031	0	91	9,0	4,0	acero comparativo
5	D	930	180	90	40	370	380	540	1,47	876	1091	14,4	52	15716	56753	0	89	11,0	2,7	acero comparativo
6	E	930	180	91	39	380	380	540	1,45	870	1114	13,8	50	15369	55685	0	90	10,0	2,8	acero comparativo
7	F	910	180	90	39	360	400	540	1,42	1041	1133	11,8	60	13370	68436	0	94	6,0	2,1	acero comparativo
8	G	910	180	90	39	370	400	180	1,43	912	1071	13,8	49	14785	52925	0	95	5,1	3,6	acero comparativo
9	H	910	180	90	41	340	400	180	1,42	988	1149	11,5	57	13208	64951	0	96	4,0	1,4	acero comparativo
10	H	910	180	90	39	360	400	540	1,42	977	1147	12,2	48	13938	55407	0	94	6,0	1,7	acero comparativo
11	I	910	180	90	39	360	400	540	1,42	974	1150	12,8	53	14719	60830	0	92	8,0	1,5	acero comparativo
12	L	930	180	90	40	380	400	540	1,43	873	1121	12,4	46	13900	51566	0	92	7,6	4,2	acero comparativo
13	A	930	180	90	36	420	420	540	1,43	728	982	19,1	34	18762	33251	6	82	12,0	8,3	acero comparativo
14	B	930	180	90	32	480	380	540	1,44	699	911	21,4	40	19493	36664	20	66	14,0	7,9	acero comparativo
15	D	930	180	90	32	480	380	540	1,45	753	956	21	38	20085	36345	24	63	13,0	9,0	acero comparativo
16	D	910	180	90	51	200	200	180	1,46	1036	1479	5,8	23	8581	33953	0	88	12,0	8,0	acero comparativo
17	F	910	180	90	42	280	320	180	1,41	968	1312	8,2	62	10755	81385	0	85	15,0	12,0	acero comparativo
18	J	930	180	90	39	360	400	540	1,42	731	904	19,8	35	17899	31640	8	78	10	4,5	acero comparativo
19	K	910	180	90	40	360	400	540	1,43	698	859	23,2	25	19929	21475	20	69	11	5,2	acero comparativo
20	L	850	180	90	40	340	380	540	1,45	691	958	23,6	30	22609	28740	35	52	13	5,4	acero comparativo
21	M	850	180	90	36	350	300	540	1,41	769	1153	9,4	29	10838	33437	8	81	11,0	8,0	acero comparativo
22	M	880	180	90	38	350	420	540	1,41	701	1045	10	49	10450	51205	0	89	11,0	4,9	acero comparativo

CR1: Temp. recocido—>550°C

CR2: 550°C—> Temp. de parada

APLICABILIDAD INDUSTRIAL

- 5 La presente invención se puede aplicar ampliamente a chapas de acero de alta resistencia que tienen excelente conformabilidad para vehículos tales como automóviles.

REIVINDICACIONES

5 1. Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío que tiene,

a) una composición constituida por los siguientes elementos (en% en peso):

C	0,15 - 0,18
Mn	2,2 - 2,4
Si	0,7 - 0,9
Cr	0,1 - 0,9
Al	0,2 - 0,6
Si + 0,8 Al + Cr	1,4 - 1,8
Nb	< 0,1
Mo	< 0,3
Ti	< 0,2
V	< 0,2
Cu	< 0,5
Ni	< 0,5
S	≤ 0,01
P	≤ 0,02
N	≤ 0,02
B	< 0,005
Ca	< 0,005
Mg	< 0,005
REM	< 0,005

10 el resto Fe aparte de impurezas,

b) una microestructura multifásica que comprende (en% vol.)

austenita retenida	5 - 20
bainita + ferrita bainítica + martensita templada	≥ 80
ferrita poligonal	≤ 10

15 c) las siguientes propiedades mecánicas

una resistencia a la tracción (R_m)	980-1200 MPa
una elongación (A_{80})	≥ 11%
una relación de expansión del agujero (λ)	≥ 45%

y que cumple al menos una de las siguientes condiciones

$R_m \times A_{80}$	≥ 13 000 MPa%
$R_m \times \lambda$	≥ 50 000 MPa%

20 2. Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío según cualquiera de las anteriores reivindicaciones que cumple al menos una de:

Nb	0,02 - 0,08
Mo	0,05 - 0,3
Ti	0,02 - 0,08
V	0,02 - 0,1
Cu	0,05 - 0,4
Ni	0,05 - 0,4
B	0,0005 - 0,003
Ca	0,0005 - 0,005
Mg	0,0005 - 0,005
REM	0,0005 - 0,005

ES 2 651 149 T5

3. Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío según cualquiera de las anteriores reivindicaciones que cumple al menos una de:

S	$\leq 0,01$	preferiblemente $\leq 0,003$
P	$\leq 0,02$	preferiblemente $\leq 0,01$
N	$\leq 0,02$	preferiblemente $\leq 0,003$
Ti	$> 3,4N$	

5 4. Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en la que el tamaño máximo del componente martensita-austenita (MA) es $\leq 5 \mu\text{m}$, preferiblemente $\leq 3 \mu\text{m}$.

10 5. Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en la que la microestructura multifásica comprende (en % vol.)

austenita retenida	5 - 16, preferiblemente por debajo del 10%
bainita + ferrita bainítica + martensita templada	≥ 80
ferrita poligonal	≤ 10
componente martensita-austenita (MA)	$\leq 20\%$, preferiblemente $\leq 16\%$, lo más preferible, por debajo del 10%

6. Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en la que el acero comprende

Nb	0,02 - 0,03
----	-------------

15 7. Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en la que la relación $(\text{Mn}+\text{Cr})/(\text{Si}+\text{Al}) \geq 1,6$.

20 8. Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en la que la cantidad de Si es del orden de la cantidad de Al o mayor que la cantidad de Al, preferiblemente $\text{Si} > 1,1 \text{ Al}$, más preferiblemente $\text{Si} > 1,3 \text{ Al}$ o incluso $\text{Si} > 2 \text{ Al}$.

25 9. Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío según cualquiera de las anteriores reivindicaciones que no está provista de una capa de galvanizado en caliente.

30 10. Procedimiento para fabricar una chapa de acero de alta resistencia laminada en frío según cualquiera de las anteriores reivindicaciones que comprende las etapas de:

- 35 a) suministro de una banda de acero laminada en frío que tiene una composición como se establece en cualquiera de las reivindicaciones precedentes
- b) recocido de la banda de acero laminada en frío a una temperatura superior a la temperatura A_{c3} para austenizar completamente el acero, seguido de
- 40 c) enfriamiento de la banda de acero laminada en frío, desde la temperatura de recocido, T_{an} , hasta la temperatura de parada de enfriamiento del enfriamiento rápido, T_{RC} , que está entre 360 y 460 °C, preferiblemente entre 380 y 420 °C, a una velocidad de enfriamiento suficiente para evitar la formación de ferrita, siendo la velocidad de enfriamiento de 20 -100 °C/s, seguido de
- d) austemperizado de la banda de acero laminada en frío a una temperatura de promedio/austemperizado, T_{OA} , que está entre 360 y 460 °C, preferiblemente entre 380 y 420 °C, seguido de
- e) enfriamiento de la banda de acero laminada en frío a temperatura ambiente,

45 en donde el acero es un tipo de acero de gran elongación con un equilibrio de resistencia-elongación $R_m \times A_{80} \geq 13\ 000 \text{ MPa}\%$, preferiblemente $\geq 15\ 000 \text{ MPa}\%$.

50 11. Procedimiento para fabricar una chapa de acero de alta resistencia laminada en frío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-9 que comprende las etapas de:

- a) suministro de una banda de acero laminada en frío que tiene una composición como se establece en cualquiera de las reivindicaciones precedentes,
- b) recocido de la banda de acero laminada en frío a una temperatura superior a la temperatura A_{c3} para austenizar completamente el acero, seguido de

- 5 c) enfriamiento de la banda de acero laminada en frío desde una temperatura de recocido, T_{an} , hasta la temperatura de parada de enfriamiento del enfriamiento rápido, $T_{RC} < T_{MS}$, estando la temperatura T_{MS} entre 300 y 400 °C, preferiblemente entre 340 y 370 °C, a una velocidad de enfriamiento suficiente para evitar la formación de ferrita, siendo la velocidad de enfriamiento de 20-100 °C/s, seguida de
- 10 d) austemperizado de la banda de acero laminada en frío a una temperatura de promedio/austemperizado, T_{OA} , que está entre 360 y 460 °C, preferiblemente entre 380 y 420 °C, preferiblemente $T_{OA} > T_{RC}$, y
- e) enfriamiento de la banda de acero laminada en frío a temperatura ambiente,

10 en donde el acero es un tipo de acero de alta capacidad de expansión del agujero que tiene una elasticidad $R_m \times \lambda \geq 50\ 000\ \text{MPa}\%$, preferiblemente $\geq 55\ 000\ \text{MPa}\%$.

12. Procedimiento para fabricar una chapa de acero de alta resistencia laminada en frío de acuerdo con las reivindicaciones 12 y 13 en donde:

15 en la etapa b) el recocido se lleva a cabo a una temperatura de recocido, T_{an} , que está entre 910 y 930 °C, durante un tiempo de mantenimiento del recocido, t_{an} , que está entre 150 y 200 s, preferentemente 180 s,

20 en la etapa c) el enfriamiento se lleva a cabo de conformidad con un patrón de enfriamiento que tiene dos velocidades de enfriamiento distintas; una primera velocidad de enfriamiento, $CR1$, de 80-100 °C/s, preferentemente de 85-95 °C/s, preferentemente alrededor de 90°C/s hasta una temperatura que está entre 530 y 570 °C, preferentemente 550 °C, y una segunda velocidad de enfriamiento, $CR2$, de 35 a 45 °C, preferentemente alrededor de 40°C/s hasta la temperatura de parada del enfriamiento rápido, T_{RC} , y

25 en la etapa d) el austemperizado del acero se lleva a cabo en un intervalo de tiempo de 150-600 s, preferentemente de 180-540 s.

13. Procedimiento para fabricar una chapa de acero de alta resistencia laminada en frío según las reivindicaciones 12 y 13, en donde no se aplica calentamiento externo a la chapa de acero entre las etapas c) y d).

30