

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



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

51 Int. Cl.:

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

12

### TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 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: **13.09.2017 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:

**24.01.2018**

73 Titular/es:

**VOESTALPINE STAHL GMBH (100.0%)  
Voest-Alpine-Strasse 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**

**ES 2 651 149 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**

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

65 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.

5 Acero TRIP TMF con matriz de ferrita martensítica

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.

10 Acero TRIP TAM con matriz de martensita recocida

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.

20 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 300-500 °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.

## 25 DIVULGACIÓN DE LA INVENCION

30 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.

## 35 DESCRIPCIÓN DETALLADA

La invención se describe en las reivindicaciones.

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

C	0,1 - 0,3
Mn	2,0 - 3,0
Si	0,4 - 1,0
Cr	≤ 0,9
Si + 0,8 Al + Cr	≥ 0,5 - 1,8
Al	0,2 - 0,8
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

el resto Fe aparte de impurezas.

La limitación de los elementos se explica a continuación.

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

C: 0,1 - 0,3%

10 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, los rangos preferidos son 0,15 - 0,25%, 0,15 - 0,18%, 0,17 - 0,20% o 18 - 0,23 % dependiendo del nivel de resistencia deseado.

15 Mn: 2,0 - 3,0 %

20 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. Los intervalos preferidos son, por lo tanto, 2,2 - 2,6 %, 2,2 - 2,4% y 2,3 - 2,7%.

25 Si: 0,4 - 1,0

30 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. Los intervalos preferidos son, por lo tanto, 0,6 - 1,0 %, 0,7 - 0,9 % y 0,75 - 0,90 %.

Cr:  $\leq 0,9$

35 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%. Los intervalos preferidos son 0-0,4, 0,1-0,35.

Si + 0,8 Al + Cr = 0,5 - 1,8

45 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 0,8 - 1,8 %. Los rangos preferidos son, por lo tanto, 1,0 - 1,8 %, 1,2 - 1,8 % y 1,4 - 1,8 %.

50 Al: 0,2 - 0,8

55 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. Por estas razones, el contenido de Al está preferiblemente limitado a 0,2-0,8%, preferiblemente 0,40-0,75%. El contenido de Al se refiere a Al soluble en ácido.

60 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:  $< 0,1$

65 El Nb se usa comúnmente en aceros de baja aleación para mejorar la resistencia y la tenacidad debido a su notable

## ES 2 651 149 T3

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.

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

Mo: < 0,3

10 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

15 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%.

20 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.

S: ≤ 0,01; P: ≤ 0,02; N: ≤ 0,02

25 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

30 B: < 0,005

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 %.

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

40 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

45 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.

50 Si > Cr

55 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.)

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

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.

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.

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%.

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

resistencia a la tracción ( $R_m$ )	$\geq 980$	MPa
elongación total ( $A_{80}$ )	$\geq 10$	%
relación de expansión del agujero ( $\lambda$ )	$\geq 44$	%, preferiblemente $\geq 50\%$ .

[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 ( $\lambda$ ) 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 mm<sup>2</sup>. 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.

La relación de expansión del agujero ( $\lambda$ ) en % se calcula de la siguiente manera:

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

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

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.

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%

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.

Según una variante concebible de la invención, el acero comprende 0,17 - 0,19 C, 2,3 - 2,5 Mn, 0,7 - 0,9 Si, 0,6 - 0,7 Al. Opcionalmente, Si + 0,8 Al + Cr está regulado a 1,0 - 1,8 y además el acero puede comprender 0,02-0,03 Nb. La chapa de acero cumple al menos uno de los siguientes requisitos:

$$(R_m) = 980 - 1200 \text{ MPa}, (A_{80}) \geq 11\%, (\lambda) \geq 45\%, \text{ preferiblemente } \geq 50\%,$$

y además al menos uno de:

$R_m \times A_{80} \geq 13\ 000\ \text{MPa}\%$ , preferiblemente  $\geq 14\ 000\ \text{MPa}\%$ .  
y  $R_m \times \lambda \geq 50\ 000\ \text{MPa}\%$ , preferiblemente  $\geq 55\ 000\ \text{MPa}\%$ .

5

Una composición química típica puede comprender 0,17 C, 2,3 Mn, 0,80 Si, 0,3 - 0,7 Al, el resto Fe aparte de impurezas.

10 De acuerdo con otra variante concebible de la invención, el acero comprende 0,18 - 0,23 C, 2,3 - 2,7 Mn, 0,7 - 0,9 Si, 0,7 - 0,9 Cr. Opcionalmente, Si + 0,8 Al + Cr está regulado a 1,3 - 1,8 y además el acero puede comprender 0,02 - 0,03 Nb. La chapa de acero cumple al menos uno de los siguientes requisitos:

15  $(R_m) = 1050 - 1400\ \text{MPa}$ ,  $(A_{80}) \geq 10\%$ , preferiblemente 12%,  $(\lambda) \geq 40\%$ , preferiblemente  $\geq 44\%$  y además al menos uno de:

$R_m \times A_{80} \geq 13\ 000\ \text{MPa}\%$ , preferiblemente  $\geq 15\ 000\ \text{MPa}\%$ , y  
 $R_m \times \lambda \geq 50\ 000\ \text{MPa}\%$ , preferiblemente  $\geq 52\ 000\ \text{MPa}\%$ .

20 Una composición química típica 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.

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

25

a) suministro de una banda de acero laminada en frío que tiene una composición según se ha establecido anteriormente,

30

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

35

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 suficiente para evitar la formación de ferrita, siendo la velocidad de enfriamiento de  $20 - 100\ ^\circ\text{C} / \text{s}$ , al tiempo que:

40

- 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  $400\ ^\circ\text{C}$ , preferiblemente entre  $340$  y  $370\ ^\circ\text{C}$ ,
- para una chapa de acero del tipo de gran elongación, la temperatura de parada de enfriamiento,  $T_{RC}$ , está entre  $360$  y  $460\ ^\circ\text{C}$ , preferiblemente entre  $380$  y  $420\ ^\circ\text{C}$ , seguido de

45

d) austemperizado de la banda de acero laminada en frío a una temperatura de promedio/austemperizado,  $T_{OA}$ , que está entre  $360$  y  $460\ ^\circ\text{C}$ , preferiblemente entre  $380$  y  $420\ ^\circ\text{C}$ , seguido de

e) enfriamiento la banda de acero laminada en frío a temperatura ambiente

El proceso comprenderá preferiblemente los siguientes pasos:

50

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

55

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  $80 - 100\ ^\circ\text{C}/\text{s}$ , preferiblemente de  $85 - 95\ ^\circ\text{C}/\text{s}$ , preferiblemente de alrededor de  $90\ ^\circ\text{C}/\text{s}$ , hasta una temperatura que está entre  $530$  y  $570\ ^\circ\text{C}$  preferiblemente  $550\ ^\circ\text{C}$ , y una segunda velocidad de enfriamiento, CR2, de  $35 - 45\ ^\circ\text{C}$ , preferiblemente de alrededor de  $40\ ^\circ\text{C}/\text{s}$ , hasta la temperatura de parada de enfriamiento rápido,  $T_{RC}$ , y

60

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

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

65

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

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

5 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.

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

10 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,  $T_{MS}$

Temperatura de austemperizado  $T_{OA}$ :

20 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.

25 Velocidades de enfriamiento primera y segunda, CR1, CR2:

30 Controlando la primera velocidad de enfriamiento, CR1, de 80 a 100 °C/s, preferiblemente de 85 a 95 °C/s, preferiblemente 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, preferiblemente 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%.

35 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  $R_m \times A_{80} \geq 13\ 000$  MPa%, preferiblemente  $\geq 15\ 000$  MPa%,

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  $R_m \times \lambda \geq 50\ 000$  MPa%, preferiblemente  $\geq 55\ 000$  MPa%.

#### 40 EJEMPLOS

45 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.

50 La influencia positiva de la composición reivindicada sobre la estructura y las propiedades mecánicas es evidente cuando se comparan los resultados de las chapas del acero de la invención con los resultados de las chapas de acero comparativas. La Tabla II muestra que en algunos casos la cantidad de austenita residual era demasiado baja (números 16, 17, 21, 22) y que en otros casos la cantidad de ferrita era demasiado alta (números 14, 15, 18, 19, 20). En la mayoría de los casos, la elasticidad del agujero era demasiado baja.

55 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.

#### Medida cuantitativa de microestructuras

60 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.

65 Ferrita bainítica + bainita + martensita templada:

## ES 2 651 149 T3

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.

5 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.

10

Tabla I

Composición química en % en peso																	
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	Punto Ms	Ac3*	
A	0,192	0,82	2,55	0,008	0,0022	0,70	0,01					0,0040	0,83	1,39	386	902	acero inventivo
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 inventivo
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 inventivo
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 inventivo
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 inventivo
F	0,175	0,81	2,28	0,008	0,0024	0,290						0,0045	0,81	1,04	403	870	acero inventivo
G	0,172	0,79	2,27	0,009	0,0026	0,588						0,0043	0,79	1,26	405	903	acero inventivo
H	0,171	0,79	2,25	0,008	0,0026	0,291					0,0005	0,0045	0,79	1,02	406	870	acero inventivo
I	0,177	0,79	2,24	0,008	0,0027	0,590					0,0006	0,0048	0,79	1,26	403	902	acero inventivo
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 inventivo
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**

Ejemplo Núm.	Núm. de tipo de acero	Temperatura de recocido T <sub>an</sub> °C	Tiempo de recocido t <sub>an</sub> s	Velocidad de enfriamiento CR1 °C/s	Velocidad de enfriamiento CR2 °C/s	Temperatura de parada del enfriamiento rápido T <sub>RC</sub> °C	Temperatura promedio T <sub>OA</sub> °C	Tiempo promedio de t <sub>OA</sub> s	Espesor mm	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A80 %	Λ %	Rm *A80 MPa%	Rm <sup>λ</sup> MPa%	austenita retenida % vol.	ferrita poligonal % vol.	ferrita bainítica + bainita + martensita templada % vol.	Componente martensita-austenita % vol.	Componente martensita-austenita tamaño um	
1	A	910	180	90	41	340	420	540	1,44	1017	1140	13,7	54	15559	61153	7,5	0	96	4,5	2,6	acero inventivo
2	A	930	180	90	42	340	420	540	1,43	1017	1140	13,7	54	15559	61153	7	0	95	4,7	1,9	acero inventivo
3	A	910	180	90	41	340	460	540	1,43	906	1119	14,2	47	15888	52253	7,9	0	92	8,0	4,7	acero inventivo
4	A	910	180	90	41	340	440	540	1,42	981	1131	15,3	46	17249	52031	8,6	0	91	9,0	4,0	acero inventivo
5	D	930	180	90	40	370	380	540	1,47	876	1091	14,4	52	15716	56753	6,9	0	89	11,0	2,7	acero inventivo
6	E	930	180	91	39	380	380	540	1,45	870	1114	13,8	50	15369	55685	7,1	0	90	10,0	2,8	acero inventivo
7	F	910	180	90	39	360	400	540	1,42	1041	1133	11,8	60	13370	68436	5,1	0	94	6,0	2,1	acero inventivo
8	G	910	180	90	39	370	400	180	1,43	912	1071	13,8	49	14785	52925	6,7	0	95	5,1	3,6	acero inventivo
9	H	910	180	90	41	340	400	180	1,42	988	1149	11,5	57	13208	64951	5,2	0	96	4,0	1,4	acero inventivo
10	H	910	180	90	39	360	400	540	1,42	977	1147	12,2	48	13938	55407	5,4	0	94	6,0	1,7	acero inventivo
11	I	910	180	90	39	360	400	540	1,42	974	1150	12,8	53	14719	60830	6,3	0	92	8,0	1,5	acero inventivo
12	L	930	180	90	40	380	400	540	1,43	873	1121	12,4	46	13900	51566	5,2	0	92	7,6	4,2	acero inventivo
13	A	930	180	90	36	420	420	540	1,43	728	982	19,1	34	18762	33251	9,2	6	82	12,0	8,3	acero inventivo
14	B	930	180	90	32	480	380	540	1,44	699	911	21,4	40	19493	36664	10,1	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	11,9	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	2	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	2	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	12	78	10	4,5	acero comparativo
19	K	910	180	90	40	360	400	540	1,43	698	859	23,2	25	19929	21475	10,2	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	9	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	< 1	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	< 1	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	0,1 - 0,3
Mn	2,0 - 3,0
Si	0,4 - 1,0
Cr	0,1 - 0,9
Si + Cr	≥ 0,9
Al	0,2 - 0,8
Nb	< 0,1
Mo	< 0,3
Ti	< 0,2
V	< 0,2
Cu	< 0,5
Ni	< 0,5

B	< 0,005
Ca	< 0,005
Mg	< 0,005
REM	< 0,005

10

el resto Fe aparte de impurezas,

15

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

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

c) al menos una de las siguientes propiedades mecánicas

una resistencia a la tracción ( $R_m$ )	≥ 980	MPa
una elongación ( $A_{80}$ )	≥ 4	%
una relación de expansión del agujero ( $\lambda$ )	≥ 20	%, preferiblemente ≥ 30%

20

y que cumple al menos una de las siguientes condiciones

$R_m \times A_{80}$	≥ 13 000	MPa%
$R_m \times \lambda$	≥ 40 000	MPa%

25

**2.** Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío según la reivindicación 1 que cumple al menos uno de:

C	0,15 - 0,25
Mn	2,2 - 2,6
Si	0,4 - 1,0
Cr	0,1 - 0,35

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

## ES 2 651 149 T3

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

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

5

S	≤ 0,01	preferiblemente ≤ 0,003
P	≤ 0,02	preferiblemente ≤ 0,01
N	≤ 0,02	preferiblemente ≤ 0,003
Ti	> 3,4N	

5. Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en donde el tamaño máximo del componente martensita-austenita (MA) es ≤ 5 μm, preferiblemente ≤ 3 μm.

10

6. Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que la microestructura multifásica comprende (en % vol.)

15

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

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

20

C	0,15 - 0,18
Mn	2,2 - 2,4
Si	0,7 - 0,9

opcionalmente uno de:

Al	0,2 - 0,6
Si+0,8 Al +Cr	1,0 - 1,8
Nb	0,02 - 0,03

y en la que la chapa de acero cumple los siguientes requisitos

25

(R <sub>m</sub> )	980 - 1200	MPa
(A <sub>80</sub> )	≥ 11	%
(λ)	≥ 45	%, preferiblemente ≥ 50%

y al menos uno de

R <sub>m</sub> × A <sub>80</sub>	≥ 13 000	MPa% preferiblemente ≥ 14 000 MPa
R <sub>m</sub> × λ	≥ 50 000	MPa% preferiblemente ≥ 55 000 MPa

8. Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en la que el acero comprende

C	0,18 - 0,23
Mn	2,3 - 2,7
Si	0,7 - 0,9
Cr	0 - 0,4

5  
opcionalmente uno de

Al	0,6 - 0,8
Si+0,8 Al +Cr	1,3 - 1,8
Nb	0,02 - 0,03

y en la que la chapa de acero cumple los siguientes requisitos

(R <sub>m</sub> )	1050 - 1400	MPa
(A <sub>80</sub> )	≥ 10	%preferiblemente ≥ 12%
(λ)	≥ 40 %	%preferiblemente ≥ 44%

10  
y al menos una de las siguientes condiciones

R <sub>m</sub> x A <sub>80</sub>	≥ 13 000	MPa%, preferiblemente ≥ 15 000 MPa%
R <sub>m</sub> x λ	≥ 50 000	MPa%, preferiblemente ≥ 52 000 MPa%

15  
9. Chapa de acero de alta resistencia laminada en frío según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en la que la relación (Mn+Cr)/(Si+Al) ≥ 1,6.

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

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

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

- 35
- a) suministro 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<sub>c3</sub> para austenizar completamente el acero, seguido de
  - 40 c) enfriamiento de la banda de acero laminada en frío, desde la temperatura de recocido, T<sub>an</sub>, hasta la temperatura de parada de enfriamiento del enfriamiento rápido, T<sub>RC</sub>, 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
  - 45 d) austemperizado de la banda de acero laminada en frío a una temperatura de promedio/austemperizado, T<sub>OA</sub>, 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,

en donde el acero es un tipo de acero de gran elongación con un equilibrio de resistencia-elongación R<sub>m</sub> x A<sub>80</sub> ≥ 13 000 MPa%, preferiblemente ≥ 15 000 MPa%.

50

**13.** Procedimiento para fabricar una chapa de acero de alta resistencia laminada en frío de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-11 que comprende los pasos de:

- 5 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  
 10 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  
 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  
 15 e) enfriamiento de la banda de acero laminada en frío a temperatura ambiente,

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

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

- 25 en el paso 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 de recocido,  $t_{an}$ , que está entre 150 y 200 s, preferentemente 180 s,  
 en el paso 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  
 30 en el paso d) el austemperizado del acero se lleva a cabo en un intervalo de tiempo de 150-600 s, preferentemente de 180-540 s.

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

40