

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 655 587**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)	<b>C23C 2/28</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/06</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/26</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/38</b>	(2006.01)		
<b>B32B 15/01</b>	(2006.01)		
<b>C21D 6/00</b>	(2006.01)		
<b>C21D 8/02</b>	(2006.01)		
<b>C23C 2/40</b>	(2006.01)		
<b>C23C 2/06</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.12.2010 PCT/EP2010/007819**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **30.06.2011 WO11076383**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2010 E 10807323 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.12.2017 EP 2516151**

54 Título: **Banda de acero de alta resistencia galvanizado por inmersión en caliente**

30 Prioridad:

**21.12.2009 EP 09015781**

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

**20.02.2018**

73 Titular/es:

**TATA STEEL IJMUIDEN BV (100.0%)  
Wenckebachstraat1  
NL-1951 JZ VELSEN-NOORD, NL**

72 Inventor/es:

**ENNIS, BERNARD LEO y  
HANLON, DAVID NEAL**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

**ES 2 655 587 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

Banda de acero de alta resistencia galvanizado por inmersión en caliente

5 La invención se refiere a una banda de acero de alta resistencia galvanizado por inmersión en caliente que tiene una conformabilidad mejorada, tal como la utilizada en la industria automotriz.

10 Dichos tipos de acero son conocidos y se han desarrollado bajo el nombre de tipos de acero de doble fase. Dichos tipos de acero no proporcionan la conformabilidad requerida como se requiere en muchas aplicaciones para la industria automotriz. Por este motivo, se han desarrollado tipos de acero de doble fase asistida por TRIP.

Un documento que describe dichos tipos de acero es EP 1 889 935 A1. Este documento describe una lámina de acero de alta resistencia galvanizado por inmersión en caliente que contiene (en porcentaje en masa)

15 0.05 - 0.3% C

0.08 - 3% Mn

máx. 1.4% Si

20 0.1 - 2.5% Al

0.1 - 0.5% Cr

25 0.003 - 0.1% P

máx. 0.07% S

30 máx. 0.007% N

el resto es Fe e impurezas incidentales, y en el que Si + Al  $\geq 0.5\%$ . Opcionalmente, pueden estar presentes otros elementos. Treinta y un tipos de acero han sido probados a escala de laboratorio, de los cuales diecinueve se consideran composiciones inventivas. Estos ejemplos muestran que un amplio intervalo de las cantidades de especialmente Si y Al cumplen los requisitos de inventiva de acuerdo con el documento EP 1 889 935 A1.

35 El documento JP2007262553 A divulga una lámina de acero galvanizada en caliente que tiene una resistencia a la tracción (TS)  $\geq 590$  MPa y una resistencia a la fatiga (FL) que satisface  $\geq 200$  MPa en un estado que tiene una fractura en blanco y una estructura que comprende una fase de ferrita, una fase austenítica retenida y una fase transformada a baja temperatura, en la que la fracción de la fase de ferrita es  $\leq 97\%$  en relación de volumen. La conformabilidad, sin embargo, no es el único requisito para una banda de acero de doble fase asistida por TRIP. Los elementos de aleación deben ser bajos en cantidad para hacer que el coste del acero sea lo más bajo posible, debe ser lo más fácil posible producir la banda de acero y cubrirla, la banda de acero debe tener alta resistencia, buena capacidad de unión por soldadura y debe también exhibir una buena calidad de superficie. Estos requisitos son especialmente importantes para los tipos de acero de doble fase asistida por TRIP producido industrialmente, que tienen que formarse, por ejemplo, en partes de automóviles que se soldarán por puntos en una carrocería en bruto.

40 Por lo tanto, es un objeto de la invención encontrar una composición de una banda de acero de alta resistencia galvanizado por inmersión en caliente que establezca un equilibrio entre la conformabilidad y la procesabilidad de la banda.

50 Es un objetivo adicional de la invención proporcionar una banda de acero de alta resistencia galvanizado por inmersión en caliente que tenga una buena capacidad de revestimiento durante el proceso de galvanización por inmersión en caliente.

55 Otro objetivo más de la invención es proporcionar una banda de acero de alta resistencia galvanizado por inmersión en caliente que tenga una buena capacidad de unión por soldadura.

60 Es otro objetivo de la invención proporcionar una banda de acero de alta resistencia galvanizado por inmersión en caliente que tenga una buena calidad superficial.

Otro objetivo más de la invención es proporcionar una banda de acero de alta resistencia galvanizado por inmersión en caliente que tenga un precio de coste lo más bajo posible.

65 Uno o más de estos objetivos se cumplen de acuerdo con la invención al proporcionar una banda de acero de alta resistencia galvanizado en caliente que consiste, en porcentaje en masa, de los siguientes elementos:

## ES 2 655 587 T3

	0.10 - 0.18% C
5	1.95 - 2.40% Mn
	0.30 - 0.50% Si
	0.50 - 0.70% Al
10	0.10 - 0.50% Cr
	0.001 - 0.10% P
15	0.01 - 0.05% Nb
	máx. 0.004% Ca
	máx. 0.05% S
20	máx. 0.007% N

y opcionalmente por lo menos uno de los siguientes elementos:

25	0.005 - 0.50% Ti
	0.005 - 0.50% V
	0.005 - 0.50% Mo
30	0.005 - 0.50% Ni
	0.005 - 0.50% Cu
35	máx. 0.005% B

el resto es Fe e impurezas inevitables,

en el que  $0.80\% < \text{Al} + \text{Si} < 1.05\%$  y  $\text{Mn} + \text{Cr} > 2.10\%$ .

40 Los inventores han descubierto que, mediante una selección cuidadosa de las cantidades de los principales elementos constituyentes del acero, como carbono, manganeso, silicio, aluminio y cromo, se puede producir una banda de acero de alta resistencia galvanizado en caliente que tiene la conformabilidad requerida, la procesabilidad, resistencia y alargamiento, mientras que al mismo tiempo proporciona una capacidad de unión por soldadura, capacidad de recubrimiento y calidad superficial suficientes. Los inventores han descubierto que ninguno de los  
45 ejemplos dados en el estado de la técnica proporciona todos estos requisitos al mismo tiempo.

La composición de la banda de acero de acuerdo con la invención es tal que la conformabilidad del acero es buena y no se produce el estrechamiento, y que la ductilidad del borde de las piezas prensadas es tal que no se produce ninguna fisura.

50 El motivo de las cantidades de los principales elementos constitutivos es el siguiente.

C: 0.10 – 0.18% en masa. El carbono debe estar presente en una cantidad lo suficientemente alta para asegurar la templabilidad y la formación de martensita a las velocidades de enfriamiento disponibles en una línea convencional de recocido/galvanizado. La martensita debe proporcionar la resistencia adecuada. El carbono libre también permite la estabilización de la austenita, que proporciona un potencial de endurecimiento mejorado y una buena conformabilidad para el nivel de resistencia resultante. Se necesita un límite inferior de 0.10% en masa por estas razones. Se ha encontrado que un nivel máximo de 0.18% en masa es esencial para asegurar una buena capacidad de unión por soldadura.

60 Mn: 1.95 - 2.40% en masa. Se agrega manganeso para aumentar la templabilidad, facilitando así la formación de martensita dentro de la capacidad de velocidad de enfriamiento de una línea convencional de recocido/galvanizado continuo. El manganeso también contribuye al fortalecimiento de la solución sólida que aumenta la resistencia a la tracción y fortalece la fase de ferrita, ayudando así a estabilizar la austenita retenida. El manganeso reduce el rango de temperatura de transformación del acero de doble fase, reduciendo así la temperatura de recocido requerida a niveles que se pueden alcanzar fácilmente en una línea convencional de recocido/galvanizado continuos. Se  
65

- 5 necesita un límite inferior de 1.95% en masa por las razones anteriores. Se impone un nivel máximo de 2.40% en masa para asegurar fuerzas de laminación aceptables en el molino en caliente y para asegurar fuerzas de laminación aceptables en el molino en frío asegurando una transformación suficiente del acero de doble fase a productos de transformación blanda (ferrita y perlita). Este nivel máximo también se da en vista de la segregación más fuerte durante la fundición y la formación de una banda de martensita en la banda a valores más altos.
- 10 Si: 0.30 – 0.50% en masa. El silicio proporciona un fortalecimiento de la solución sólida, lo que permite alcanzar una alta resistencia y la estabilización de la austenita mediante el refuerzo de la matriz de ferrita. El silicio retarda muy eficazmente la formación de carburos durante el sobre-envejecimiento, manteniendo así el carbono en la solución para la estabilización de la austenita. Por estas razones, se necesita un límite inferior de 0.30% en masa. Se impone un nivel máximo de 0.50% en masa a la vista de la capacidad de revestimiento de la banda de acero, ya que los niveles elevados de silicio conducen a una calidad de revestimiento inaceptable debido a una adherencia reducida.
- 15 Al: 0.50 – 0.70% en masa. Se agrega aluminio al acero líquido con el propósito de desoxidar. En la cantidad adecuada también proporciona una aceleración de la transformación de bainita, permitiendo así la formación de bainita dentro de las limitaciones de tiempo impuestas por la sección de recocido de una línea convencional de recocido/galvanizado continuos. El aluminio también retarda la formación de carburos manteniendo así el carbono en la solución, lo que provoca la partición de la austenita durante el sobre-envejecimiento y promueve la estabilización de la austenita. Se requiere un nivel más bajo de 0.50% en masa por los motivos anteriores. Se impone un nivel máximo de 0.70% en masa para la capacidad de fundición, ya que los altos contenidos de aluminio conducen al envenenamiento de la escoria del molde de fundición y consecuentemente a un aumento en la viscosidad de la escoria del molde, lo que conduce a una transferencia de calor y lubricación incorrecta durante la fundición.
- 20 Cr: 0,10 - 0,50% en masa. Se agrega cromo para aumentar la templabilidad. El cromo forma ferrita y suprime la formación de carburos, lo que mejora la formación de austenita retenida. Se requiere un nivel inferior de 0,10% en masa por las razones anteriores. Se impone un nivel máximo de 0.5% en masa para asegurar un decapado satisfactorio de la banda de acero y para mantener el coste de la banda lo suficientemente bajo.
- 25 Ca: máx. 0,004% en masa. La adición de calcio modifica la morfología de las inclusiones de sulfuro de manganeso. Cuando se agrega calcio, las inclusiones adquieren una forma globular en lugar de alargada. Las inclusiones alargadas, también llamadas larguerillos, pueden actuar como planos de debilidad a lo largo de los cuales puede producirse rotura laminar y fractura por deslaminación. Evitar los larguerillos es beneficioso para formar procesos de láminas de acero que implican la expansión de agujeros o el estiramiento de rebordes y promueve el comportamiento de formación isotrópica. El tratamiento con calcio también previene la formación de inclusiones de alúmina abrasivas, duras y angulares en tipos de acero desoxidado con aluminio, formando inclusiones de aluminato de calcio que son más blandas y globulares a temperaturas de laminación, mejorando así las características de procesamiento del material. En las máquinas de colada continua, algunas inclusiones que se producen en el acero fundido tienen una tendencia a bloquear la boquilla, lo que resulta en una pérdida de producción y un aumento de los costes. El tratamiento con calcio reduce la propensión al bloqueo que promueve la formación de especies de punto de fusión bajo que no obstruirán las boquillas de las ruedas.
- 30 P: 0.001 - 0.10% en masa. El fósforo interfiere con la formación de carburos, y por lo tanto, algo de fósforo en el acero es ventajoso. Sin embargo, el fósforo puede hacer que el acero se vuelva frágil al soldarse, por lo que la cantidad de fósforo debe controlarse cuidadosamente, especialmente en combinación con otros elementos de fragmentación tales como azufre y nitrógeno.
- 35 El azufre y el nitrógeno están presentes en pequeñas cantidades porque estos elementos son perjudiciales para la capacidad de unión por soldadura.
- 40 El niobio se agrega en una cantidad entre 0.01 y 0.05% en masa para el refinamiento y la conformabilidad del grano. El niobio promueve la transformación en el camino de rodillos y proporciona así un producto intermedio más suave y homogéneo. El niobio suprime además la formación de martensita a temperaturas de sobre-envejecimiento isotérmicas, promoviendo así la estabilización de la austenita retenida.
- 45 Se agregan elementos opcionales principalmente para fortalecer el acero.
- 50 Además de las razones dadas anteriormente, los rangos para aluminio, cromo y manganeso se eligen de modo que se encuentre un equilibrio correcto para proporcionar una transformación completa en el camino de rodillos para garantizar una banda de acero que pueda laminarse en frío y proporcionar una estructura de arranque que permita la disolución rápida de carbono en la línea de recocido para promover la templabilidad y corregir el comportamiento de transformación ferrítico/bainítico. Adicionalmente, dado que el aluminio acelera y el cromo desacelera la transformación bainítica, debe existir equilibrio adecuado entre el aluminio y el cromo para producir la cantidad adecuada de bainita dentro de los plazos permitidos por una línea de galvanizado en caliente convencional con una sección de excedente restringida.
- 55
- 60
- 65

Además de los contenidos absolutos de los elementos como se indicó anteriormente, también son importantes las cantidades relativas de determinados elementos.

5 El aluminio y el silicio juntos deben mantenerse entre 0.8 y 1.05% en masa para asegurar la supresión de carburos en el producto final y la estabilización de una cantidad suficiente de austenita, con la composición correcta, para proporcionar una extensión de conformabilidad deseable.

10 El manganeso y el cromo en conjunto deberían estar por encima de 2.10% en masa para asegurar una capacidad de endurecimiento suficiente para la formación de martensita y así lograr la resistencia en una línea de recocido continuo convencional y en una línea de galvanizado por inmersión en caliente.

Preferiblemente, el elemento C está presente en una cantidad de 0.13 - 0.16%. En este rango, la templabilidad del acero es óptima mientras se mejora la capacidad de unión por soldadura del acero.

15 De acuerdo con una realización preferida, el elemento Mn está presente en una cantidad de 1.95 - 2.30%, preferiblemente en una cantidad de 2.00 - 2.20%. Una mayor cantidad de manganeso proporciona acero con una mayor resistencia, por lo que es ventajoso aumentar el límite inferior a 2.00% en masa de manganeso. Por otro lado, el laminado en caliente y el laminado en frío del acero es más difícil para mayores cantidades de manganeso, por lo que es ventajoso reducir el límite superior a 2.30 o incluso 2.20% en masa de manganeso.

20 Preferiblemente, el elemento Si está presente en una cantidad de 0.35 – 0.45%. Una mayor cantidad de silicio en lugar de 0.30% asegura un mejor retardo de los carburos durante el sobrevejecimiento, lo que es ventajoso para la conformabilidad del acero. Una cantidad menor de silicio que el 0.50% mejora la capacidad de recubrimiento de la banda de acero.

25 De acuerdo con una realización preferida, el elemento Al está presente en una cantidad de 0.55 - 0.65 %. Un nivel más bajo de aluminio tiene el mismo efecto que una mayor cantidad de silicio, pero también mejora la formación de bainita. Un límite superior inferior de aluminio mejora la capacidad de fundición del acero.

30 Preferiblemente, el elemento Cr está presente en una cantidad de 0.20 – 0.50%, más preferiblemente en una cantidad de 0.30 – 0.50%. Un nivel inferior elevado aumenta la templabilidad del acero.

35 De acuerdo con una realización preferida, el elemento Nb está presente en una cantidad de 0.01. - 0.04 %. Como se ha aclarado anteriormente, el niobio mejora la homogeneidad del producto intermedio. El límite superior es principalmente en consideración del coste de niobio.

40 Preferiblemente, el acero tiene una resistencia a la tracción final de 780 MPa. Esta resistencia puede, debido a la cuidadosa selección de las cantidades de los elementos presentes en el acero, alcanzarse mientras se mantiene la conformabilidad de un acero de doble fase convencional de 600 MPa.

45 De acuerdo con una realización preferida, el acero tiene una microestructura que consiste en 55-75% en volumen de ferrita, 20-10% en volumen de bainita, 20-10% en volumen de martensita y 10-5% en volumen de austenita retenida metaestable.

50 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento para producir una banda de acero de alta resistencia galvanizado por inmersión en caliente como se definió anteriormente, en el que el acero fundido se lamina en caliente y se lamina en frío a una banda que tiene un espesor deseado, después de lo cual se recalienta en una línea de recocido a una temperatura entre Ac1 y la temperatura Ac3 del tipo de acero y se enfría rápidamente a una velocidad de enfriamiento tal que evita la retransformación a ferrita, después de lo cual se aplica un sobrevejecimiento isotérmico para formar bainita, y la banda se galvaniza por inmersión en caliente.

55 En este procedimiento, se puede seleccionar el programa de deformación durante el laminado en caliente, la temperatura de laminación final y el siguiente patrón de enfriamiento en un camino de rodillos para lograr una microestructura en el producto laminado en caliente que conduzca a una mayor reducción de espesor en el laminador en frío. En particular, se puede prestar atención a limitar la resistencia de la banda laminada en caliente a fin de minimizar las cargas de laminación en frío requeridas. La temperatura en la línea de recocido se puede elegir de manera que la banda de acero comprenda tanto ferrita como austenita. La velocidad de enfriamiento debería ser tal que, en principio, no se forme ferrita y se aplique el sobrevejecimiento isotérmico para promover la formación de bainita. El galvanizado por inmersión en caliente se puede realizar de la manera habitual. Durante este procedimiento, la temperatura y la duración de la mayoría de las etapas es crítica para la realización del equilibrio deseado entre resistencia y ductilidad en el producto final.

60 Como saben los expertos en la materia, el sistema eutectoide hierro-carbono tiene varias temperaturas de transformación críticas como se define a continuación. Estas temperaturas dependen de la química y las condiciones de procesamiento:

65

A1 - temperatura por debajo de la cual la microestructura está compuesta por una mezcla de ferrita (alfa-Fe) y Fe<sub>3</sub>C/perlita;

A2 - Temperatura de Curie: temperatura por encima de la cual el material deja de ser magnético;

A3 - temperatura por encima de la cual la microestructura está compuesta enteramente de austenita.

Los sufijos c y r denotan transformaciones en el ciclo de calentamiento y enfriamiento, respectivamente.

La invención será aclarada a continuación; se evaluarán varias composiciones con respecto a algunos parámetros de conformabilidad bien conocidos que se aclaran primero.

Valor n: El coeficiente de endurecimiento por trabajo o valor n está estrechamente relacionado con el alargamiento uniforme. En la mayoría de los procesos de conformado de láminas, el límite de conformabilidad está determinado por la resistencia al adelgazamiento local o "estrechamiento". En el ensayo de tracción uniaxial, el estrechamiento comienza en la medida de un alargamiento uniforme, el valor n y el alargamiento uniforme derivado del ensayo de tracción se pueden tomar como una medida de la conformabilidad de los aceros en láminas. Cuando se pretende mejorar la conformabilidad de los aceros de banda el valor n y el alargamiento uniforme representan los parámetros de optimización más adecuados.

Coefficiente de expansión del orificio (HEC): para aplicarse con éxito en las operaciones de estampado industrial, las láminas deben tener determinada capacidad para resistir el estiramiento de los bordes cortados. Esto se prueba de acuerdo con la especificación técnica internacional ISO/TS16630. Se hace un orificio que tiene un diámetro de 10 mm en el centro de una pieza de prueba que tiene las dimensiones de 90 x 90 mm. Un cono de perforación de 40 mm de diámetro con un ápice de 60° se introduce en el orificio mientras que la pieza se fija con un troquel que tiene un diámetro interior de 55 mm. El diámetro del agujero se mide cuando una grieta se ha extendido a través del espesor de la pieza de prueba. La máxima HEC fue determinada por: Máx. HEC% = ((Dh - Do)/Do) x 100, en donde Do es el diámetro original del agujero y Dh es el diámetro del agujero después del agrietamiento. La capacidad de frenado por estiramiento se evalúa sobre la base de la HEC máxima y se considera satisfactoria cuando HEC >25%.

Índice de Erichsen (EI): La prueba de Erichsen describe la capacidad de los metales para sufrir deformación plástica en la conformación por estiramiento y se prueba de acuerdo con la norma internacional ISO 20482:2003. Se empuja un punzón hemisférico sobre una hoja completamente sujeta. Como lubricante se utiliza grasa de grafito en la parte superior del punzón. El recorrido del punzón se detiene cuando se detecta una grieta de espesor total. Debido a la fricción, la fractura no está en la parte superior del punzón, sino en el costado, por lo que no está en una tensión equibiaxial sino más bien hacia la deformación plana. Se mide la profundidad de la penetración del punzón. El valor del índice de ahuecamiento de Erichsen (IE) es el promedio de un mínimo de tres medidas individuales, expresadas en milímetros y para la presente invención se considera satisfactorio cuando EI >10 mm.

Capacidad de unión por soldadura: la soldadura por puntos de resistencia es la principal técnica de unión utilizada en la industria automotriz, con un automóvil promedio que contiene alrededor de 2000 - 3000 soldaduras por puntos. Tradicionalmente, las soldaduras por puntos siempre han sido un tipo de unión muy económica y confiable, sin embargo, desde la introducción de AHSS, esta confiabilidad se ha visto comprometida. La capacidad de unión por soldadura se mide por la capacidad del material para soldar por puntos. Las condiciones de soldadura se tomaron de BS1 140: 1993 que son estándar para la industria, aunque no necesariamente optimizadas para AHSS. La manufactura de puntos se mide por el modo de falla de la soldadura por puntos resultante (obturador). Cuando un material no se puede soldar, el obturador se dividirá a lo largo de la interfaz entre las dos superficies de unión. En un material totalmente soldado, la falla estará en el metal principal, fuera del obturador y preferiblemente también fuera de la zona afectada por el calor. Esto se conoce como falla completa de obturador, es decir, se extrae el obturador completo del metal principal. La capacidad de unión por soldadura por puntos se puede expresar en la escala entre la falla completa de la interfaz y la falla completa del obturador, y la primera se considera no soldable.

Uno de los objetivos de la presente invención es proporcionar una banda de acero de alta resistencia galvanizado en caliente que tenga una conformabilidad en el intervalo de una banda de acero galvanizado en caliente AHSS de 600 MPa, pero que tenga un nivel de resistencia de una banda de acero AHSS de 800 MPa, es decir un nivel de resistencia de 780 MPa o más. Esto se logra al realizar un aumento adecuado en el alargamiento uniforme y el valor n.

Durante el desarrollo de la banda de acero de alta resistencia galvanizado por inmersión en caliente de acuerdo con la invención, se han producido varias bobinas de banda como se indica en la Tabla 1 con las aleaciones con letras A a S.

Tabla 1: composición química (peso %)

Aleación	C	Mn	Cr	Si	Al	Nb	P	S	Ca	
A	0.150	1.72	0.61	0.30	0.99	0.021	0.012	0.002	-	Comparativo

Aleación	C	Mn	Cr	Si	Al	Nb	P	S	Ca	
B	0.154	1.74	0.58	0.41	0.62	0.023	0.009	0.002	-	Comparativo
C	0.142	1.82	0.54	0.38	0.51	0.020	0.010	0.002	0.002	Comparativo
D	0.147	1.90	0.49	0.42	0.61	0.025	0.012	0.002	0.002	Referencia
E	0.157	1.91	0.58	0.48	0.97	0.023	0.017	0.001	0.002	Comparativo
F	0.181	1.93	0.60	0.43	0.55	0.023	0.014	0.003	0.002	Comparativo
G	0.155	1.94	0.58	0.42	1.00	0.023	0.016	0.002	0.003	Comparativo
H	0.148	1.96	0.57	0.42	0.61	0.021	0.016	0.002	0.002	Comparativo
J	0.151	1.96	0.40	0.42	0.61	0.023	0.010	0.002	0.002	Inventivo
K	0.149	2.06	0.50	0.39	0.62	0.022	0.011	0.002	0.003	Inventivo
L	0.153	2.08	0.39	0.40	0.63	0.022	0.010	0.001	0.002	Inventivo
M	0.123	2.26	0.55	0.24	-	-	-	-	-	Comparativo
N	0.216	1.64	-	0.46	0.32	0.001	0.032	0.005	-	Comparativo
P	0.209	1.55	-	0.46	0.34	0.001	0.028	0.005	-	Comparativo
R	0.230	1.65	-	0.46	0.44	0.001	0.092	0.004	-	Comparativo
S	0.148	2.70	0.40	0.40	0.60	0.025	0.014	0.006	-	Comparativo

5 En la Tabla 1, la composición química o aleación se da para las bandas de acero producidas de acuerdo con el procedimiento de la invención. En la última columna de la Tabla 1 se indica si la banda de acero tiene una composición química de acuerdo con la invención o no. Las aleaciones J, K y L tienen una composición inventiva. En los casos en que no se ha dado ningún valor para un elemento, no se puede medir ningún valor.

En la Tabla 2 para varias de las bandas de acero cuya composición se ha proporcionado en la Tabla 1 anterior, se proporciona información relevante sobre las propiedades mecánicas respectivas.

10 Tabla 2: ciclos de recocido típicos y propiedades mecánicas

Aleación	UTS [MPa]	R <sub>p0.2</sub> [MPa]	U.E1 [%]	T.E1 [%]	valor n
A	745	480	14.4	20.2	0.16
B	730	474	13.8	20.0	0.15
C	721	464	13.8	18.5	0.16
D	802		15.0	19.2	0.17
E	885	512	12.5	17.0	0.13
F	792	451	13.7	17.9	0.16
G	845	473	12.3	16.0	0.14
H	780	435	14.1	19.6	0.16
J	783	487	16.4	21.9	0.18
K	789	457	15.2	20.2	0.17
L	822	486	14.9	19.7	0.17
M	915	450	9.0	11.1	-
N	712	438	18.4	24.2	0.18
P	772	471	16.9	21.6	0.19
R	784	470	16.9	21.2	0.21

UTS = máxima resistencia a la tracción

R<sub>p0.2</sub> = 0.2% de estrés de prueba

U.E1 = alargamiento uniforme

T.E1 = alargamiento total

15 De la Tabla 2 se desprende que para las composiciones de banda o aleaciones J, K y L, la temperatura de recocido y la temperatura y el tiempo de sobrevejecimiento pueden elegirse en una línea de recocido convencional que alcanza una alta resistencia (UTS a 780 MPa o superior). También la tensión de prueba del 0.2% está por encima de 450 MPa para estas aleaciones (no medida para la aleación D), el alargamiento uniforme está por encima del 14% y el alargamiento total es superior al 19%. El valor n es por lo menos 0.17. Otras aleaciones pueden alcanzar el UTS requerido, pero no tienen el 0.2% requerido de tensión de prueba, alargamiento uniforme y/o alargamiento total. Solo la aleación R cumple estos criterios, pero la Tabla 3 muestra que esta aleación no tiene capacidad de unión por soldadura.

20 La Tabla 3 muestra los resultados de las pruebas del coeficiente de expansión del agujero, las pruebas de Erichsen y las pruebas de soldadura en varias muestras de las bobinas, como se indica en las tablas 1 y 2. Cuanto mayor sea el coeficiente de expansión del agujero y el valor de Erichsen, mejor será la conformabilidad de la banda.

25 Tabla 3: conformabilidad y capacidad de unión por soldadura

Aleación	Coeficiente de expansión de agujero	Índice de Erichsen [mm]	Capacidad de unión por soldadura
A	18	10.4	+
B	16	10.1	+

Aleación	Coefficiente de expansión de agujero	Índice de Erichsen [mm]	Capacidad de unión por soldadura
C	29	9.7	++
D	29	10.0	+
E	22	9.4	+
F	20	9.4	-
G	20	8.7	+
H	20	9.3	+
J	30	10.5	+
K	25	10.0	+
L	25	10.1	+
M	13		++
N	19	10.3	--
P	18	9.7	--
R	16	8.8	---
S			--

Claves de capacidad de unión por soldadura:

--- no es posible obtener una junta de soldadura por puntos

-- capacidad de unión por soldadura por puntos con falla de interfaz en su mayoría

- capacidad de unión por soldadura por puntos con falla de obturador parcial en su mayoría

+ capacidad de unión por soldadura por puntos con falla accidental de obturador parcial

++ capacidad de unión por soldadura por puntos con fallo de obturador completo

De la Tabla 3 se desprende que la conformabilidad de la banda de acero J, K y L es razonablemente buena en vista del coeficiente de expansión del agujero y el valor del Índice de Erichsen, y que la capacidad de unión por soldadura también es razonablemente buena.

5 Las tablas muestran que el manganeso es instrumental para lograr la combinación deseada de alta resistencia y conformabilidad. Cuando el contenido de manganeso es inferior al 1.9%, la resistencia a la tracción deseada de 780 MPa no se logra como se puede ver en los ejemplos A, B, C, N y P. El único ejemplo donde la resistencia se logra con un contenido de manganeso inferior al 1.9% es el ejemplo R. Para compensar el bajo contenido de manganeso, la aleación tiene altas adiciones de carbono y fósforo, de modo que la aleación ya no se puede soldar por puntos. La conformabilidad de esta aleación también está muy por debajo de la considerada satisfactoria en vista del Coeficiente de Expansión de Agujero y el Índice de Erichsen.

15 En los ejemplos E, F, G y H, el contenido de manganeso está dentro de la especificación que conduce a alta resistencia, pero la combinación de elementos secundarios carbono (aleación F), cromo (aleaciones E, F, G y H) y aluminio (aleaciones E y G) conducen respectivamente a una pobre capacidad de unión por soldadura por puntos, baja ductilidad (expresada por alargamiento uniforme) y baja conformabilidad (como se expresa por HEC y EI).

20 En el ejemplo con cromo alto, silicio bajo y sin aluminio (aleación M), se puede ver que la resistencia a la tracción se convierte en la propiedad mecánica dominante con la ductilidad (alargamiento uniforme y total) y la conformabilidad (HEC) se reduce considerablemente en comparación con la invención.

25 Finalmente, la capacidad de unión por soldadura por puntos de los aceros con un contenido de carbono de más de 0.18 (aleaciones F, N, P y R) se reduce considerablemente en proporción al contenido de carbono. El Ejemplo F tiene un contenido de carbono que, en combinación con el alto contenido de cromo, conduce a una pobre capacidad de unión por soldadura por puntos. Esto parecería ser un valor crítico para el contenido de carbono y no se prevé que una aleación que contenga considerablemente más carbono que el 0.18% sea soldable por puntos en circunstancias normales.

30 Se deduce que es necesaria una selección cuidadosa de los elementos de aleación de acuerdo con la invención, y que se requieren etapas de procesamiento adecuadas durante las etapas de recocido y sobreenviejimiento para lograr las propiedades deseadas del acero de doble fase asistido por TRIP.

35 La banda de acero de alta resistencia galvanizado por inmersión en caliente de acuerdo con la invención se ha utilizado en una viga de parachoques para un vehículo. La banda de acero para producir un parachoques debe tener suficiente ductilidad durante la formación del rodillo y el proceso de doblado por estiramiento, y debe permanecer suficiente ductilidad residual después de la formación para evitar fracturas al chocar el vehículo utilizando dicho parachoques, manteniendo así la integridad de la estructura del choque de la parte delantera del vehículo. Si la viga del parachoques se rompiera, la integridad de la estructura del choque se perdería, lo que daría como resultado una pobre absorción de energía de choque.

40 La banda de acero con la composición de aleación K se utilizó para formar el paracolpes. La formación del parachoques fue exitosa, y el parachoques ha sido soldado sobre una placa de respaldo sin problemas. Un conjunto

- 5 de prueba de la viga así formada del parachoques hecho del acero de doble fase asistido por TRIP de acuerdo con la invención y la placa de acero de refuerzo se ha probado en una prueba de caída de peso simulando un choque frontal completo a 45 km/h con un polo en el centro del parachoques. No se observó fractura del parachoques. Esto se debe a la superior ductilidad y conformabilidad del acero de doble fase asistida por TRIP de acuerdo con la invención, lo que permite la conformación por estiramiento del componente con la suficiente ductilidad posterior a la formación para absorber el impacto del choque.

**REIVINDICACIONES**

1. Banda de acero de alta resistencia galvanizado en caliente que consiste, en porcentaje en masa, de los siguientes elementos:
- 5 0.10 - 0.18% C  
1.95 - 2.40% Mn
- 10 0.30 - 0.50% Si  
0.50 - 0.70% Al
- 15 0.10 - 0.50% Cr  
0.001 - 0.10% P  
0.01 - 0.05% Nb
- 20 máx. 0.004% Ca  
máx. 0.05% S  
máx. 0.007% N
- 25 y opcionalmente por lo menos uno de los siguientes elementos:
- 0.005 - 0.50% Ti
- 30 0.005 - 0.50% V  
0.005 - 0.50% Mo
- 35 0.005 - 0.50% Ni  
0.005 - 0.50% Cu  
máx. 0.005% B
- 40 siendo el resto Fe e impurezas inevitables,  
en el que  $0.80\% < Al + Si < 1.05\%$  y  $Mn + Cr > 2.10\%$ .
- 45 2. Banda de acero de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el elemento C está presente en una cantidad de 0.13 – 0.16%.
3. Banda de acero de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en la que el elemento Mn está presente en una cantidad de 1.95 – 2.30%, preferiblemente en una cantidad de 2.00 – 2.20%.
- 50 4. Banda de acero de acuerdo con la reivindicación 1, 2 o 3, en la que el elemento Si está presente en una cantidad de 0.35 – 0.45%.
- 55 5. Banda de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el elemento Al está presente en una cantidad de 0.55 – 0.65%.
6. Banda de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el elemento Cr está presente en una cantidad de 0.20 – 0.50%, preferiblemente en una cantidad de 0.30 – 0.50%.
- 60 7. Banda de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el elemento Nb está presente en una cantidad de 0.01 a 0.04%.
8. Banda de acero de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la banda de acero galvanizado por inmersión en caliente tiene una resistencia a la tracción final de 780 MPa o superior.

9. Banda de acero de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la banda de acero galvanizado en caliente tiene una microestructura que consiste en 55-75% en volumen de ferrita, 20-10% en volumen de bainita, 20-10% en volumen de martensita y 10-5 en volumen % de austenita retenida metaestable.
- 5 10. Procedimiento para producir una banda de acero galvanizada por inmersión en caliente de alta resistencia de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el acero fundido se lamina en caliente y se lamina en frío en una banda que tiene un espesor deseado, después de lo cual la banda se recalienta en una línea de recocido a una temperatura entre la temperatura Ac1 y Ac3 del tipo de acero y se enfría rápidamente a una velocidad de enfriamiento tal que se evita la retransformación a ferrita, después de lo cual se aplica un sobreenvejecimiento isotérmico para formar bainita, y la banda se galvaniza por inmersión en caliente.
- 10