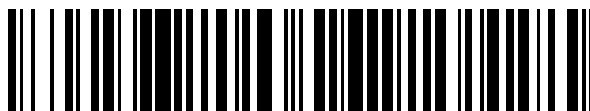


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 562 478**

51 Int. Cl.:

**C21D 1/20** (2006.01)

**C21D 9/46** (2006.01)

**C22C 38/04** (2006.01)

**C22C 38/06** (2006.01)

**C22C 38/26** (2006.01)

**C21D 8/02** (2006.01)

**C23C 2/02** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.09.2012 E 12759372 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.11.2015 EP 2768989**

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

30 Prioridad:

**13.09.2011 EP 11007431**

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

**04.03.2016**

73 Titular/es:

**TATA STEEL IJMUIDEN BV (100.0%)  
Wenckebachstraat 1  
NL-1951 JZ Velsen-Noord, NL**

72 Inventor/es:

**ENNIS, BERNARD LEO**

74 Agente/Representante:

**LAZCANO GAINZA, Jesús**

**ES 2 562 478 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**

Fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente de alta resistencia

5 La presente invención se relaciona con un fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente de alta resistencia que tiene mejor conformabilidad, tal como se usa en la industria del automóvil.

10 Tales tipos de aceros se conocen y se han desarrollado bajo el nombre de tipos de acero de fase dual. Tales tipos de acero no proporcionan la conformabilidad necesaria como se requiere en muchas aplicaciones para la industria del automóvil. Por esta razón, se han desarrollado tipos de acero TRIP de fase dual asistida.

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

- 0.05 - 0.3 % de C
- 0.08 - 3 % de Mn
- máx 1.4 % de Si
- 0.1 - 2.5 % de Al
- 0.1 - 0.5 % de Cr
- 0.003 - 0.1 % de P
- máx 0.07 % de S
- máx 0.007 % de N

20 el equilibrio que es de Fe e impurezas incidentales, y en donde  $Si + Al \geq 0.5$  %. Opcionalmente, un número de otros elementos pueden estar presentes. Treinta y un tipos de aceros se han probado a escala de laboratorio, de los cuales diecinueve se consideran composiciones inventivas. Estos ejemplos muestran que una amplia variedad de las cantidades, especialmente de Si y Al son los que cumplen con los requisitos de la inventiva de acuerdo con EP 1 889 935 A1. EP 1 867 746 A1 describe además un acero similar.

25 La conformabilidad, sin embargo, no es el único requisito para un fleje de acero TRIP de fase dual asistida. Los elementos de aleación deben ser bajos en cantidad para hacer que el costo del acero sea lo más bajo posible, esto debería ser lo más fácil posible para producir el fleje de acero y revestirlo, el fleje de acero tiene que tener alta resistencia, buena soldabilidad y debe además exhibir una buena calidad de superficie. Estos requisitos son especialmente importantes para los tipos de acero TRIP de fase dual asistida producidos industrialmente, que tienen que conformarse por ejemplo en partes de automóviles que se soldarán por puntos en un cuerpo en blanco.

30 Es así, un objetivo de la invención encontrar una composición de un fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente de alta resistencia que imprima un equilibrio entre la conformabilidad y la procesabilidad del fleje.

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

40 Es aún un objetivo adicional de la invención proporcionar un fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente de alta resistencia que tenga una buena soldabilidad.

45 Es otro objetivo de la invención proporcionar un fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente de alta resistencia que tenga una buena calidad de superficie.

50 Es aún otro objetivo de la invención proporcionar un fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente de alta resistencia que tenga un precio de costo que sea tan bajo como sea posible.

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

- 0.13 - 0.19 % de C
- 1.70 - 2.50 % de Mn
- máx 0.15 % de Si
- 0.40 - 1.00 % de Al
- 0.05 - 0.25 % de Cr
- 0.01 - 0.05 % de Nb
- máx 0.10 % de P
- máx 0.004 % de Ca
- máx 0.05 % de S
- máx 0.007 % de N

y opcionalmente al menos uno de los siguientes elementos:

- máx 0.50 % de Ti
- máx 0.40 % de V
- máx 0.50 % de Mo

máx 0.50 % de Ni  
 máx 0.50 % de Cu  
 máx 0.005 % de B  
 el equilibrio que es de Fe e impurezas inevitables,  
 5 en donde  $0.40 \% < \text{Al} + \text{Si} < 1.05 \%$  y  $\text{Mn} + \text{Cr} > 1.90 \%$ .

Los inventores han encontrado que mediante una cuidadosa selección de las cantidades de los principales elementos constitutivos del acero, que son carbono, manganeso, silicio, aluminio y cromo, puede producirse un fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente de alta resistencia que tenga la conformabilidad, procesabilidad, resistencia y elongación requeridas, mientras que al mismo tiempo proporcione una suficiente soldabilidad, capacidad de revestimiento y calidad de superficie. Se ha encontrado por los inventores que ninguno de los ejemplos dados en el estado de la técnica proporciona todos estos requisitos al mismo tiempo.

Especialmente, los inventores han encontrado que un contenido relativamente alto de silicio deteriora la procesabilidad del fleje de acero. El Si se usa tradicionalmente para efectuar el efecto TRIP, debido al retraso en la formación de carburo en presencia de Si que conduce al enriquecimiento en carbono y, por consiguiente, la estabilización de la austenita a temperatura ambiente. Las desventajas del Si están en que en cantidades muy altas (superiores a 0.4 % en peso) interfiere con la soldabilidad del cinc, lo que hace imposible la galvanización en todas las líneas de recocido continuo de tradición. Esto además se ha demostrado en EP 1 889 935 A1 donde el Si puede remplazarse por cantidades relativamente altas de Al. La presente invención muestra que la adición de Si puede omitirse y el Al mantenerse al mínimo mediante una selección cuidadosa del contenido de Cr y con la adición de Nb. En este caso se produce un fleje el cual tiene bajas cargas de laminación en caliente lo que permite una capacidad dimensional más delgada y extensa. Sin embargo, el silicio usualmente está presente en cantidades en trazas debido a la adición de manganeso. Por esta razón, el contenido máximo de silicio se fija en 0.15 % de Si. Por encima de esta cantidad de silicio, las cargas de laminación en el laminador de flejes en caliente son elevadas. Una cantidad de silicio por debajo de 0.15 % hace posible fabricar flejes de acero extensos y delgados.

Además, la composición del fleje de acero de acuerdo con la invención es tal que la conformabilidad del acero es buena y no se produce estrechamiento, y que la ductilidad del borde de partes prensadas es tal que no se produce agrietamiento.

La razón de las cantidades de los principales elementos constitutivos es como sigue.

C: 0.13 - 0.19 % en masa. El carbono tiene que estar presente en una cantidad que sea suficientemente alta para asegurar la templabilidad y la formación de martensita a velocidades de enfriamiento disponibles en una línea convencional de recocido/galvanización. La martensita se requiere para suministrar la resistencia adecuada. El carbono libre permite además la estabilización de la austenita, que ofrece un mejor potencial de endurecimiento por deformación y buena conformabilidad para el nivel de resistencia resultante. Por estas razones se desea un límite inferior de 0.13 % en masa. Se ha encontrado que un nivel máximo de 0.19 % en masa es esencial para asegurar una buena soldabilidad.

Mn: 1.70 - 2.50 % en masa. El manganeso se añade para aumentar la templabilidad lo que hace la formación de martensita más fácil dentro de la capacidad de velocidad de enfriamiento de una línea convencional de recocido continuo/galvanización. El manganeso contribuye además al fortalecimiento de la solución sólida que aumenta la resistencia a la tracción y fortalece la fase de ferrita, lo que ayuda así a estabilizar la austenita retenida. El manganeso reduce el intervalo de temperatura de transformación del acero de fase dual, lo que reduce así la temperatura de recocido requerida a niveles que pueden alcanzarse fácilmente en una línea convencional de recocido continuo/galvanización. Por las razones anteriores se necesita un límite inferior de 1.70 % en masa. Un nivel máximo de 2.50 % en masa se impone para asegurar las fuerzas de laminación aceptables en el laminador en caliente y para asegurar las fuerzas de laminación aceptables en el laminador en frío, al asegurar la transformación suficiente del acero de fase dual en productos de transformación blandos (ferrita y perlita). Este nivel máximo además se da en vista de la segregación más fuerte durante la colada y la formación de una banda de martensita en el fleje a valores más altos.

Al: 0.40 - 1.00 % en masa. El aluminio se añade al acero líquido con el fin de desoxidación. En la cantidad correcta se proporciona además una aceleración de la transformación de bainita, lo que permite así la formación de bainita dentro de las limitaciones de tiempo impuestas por la sección de recocido de una línea convencional de recocido continuo/galvanización. El aluminio además retarda la formación de carburos lo que mantiene así el carbono en solución lo que causa así la partición en austenita durante el sobre-envejecimiento, y lo que promueve la estabilización de la austenita. Por las razones anteriores se requiere un nivel más bajo de 0.40 % en masa. Se impone un nivel máximo de 1.00 % en masa para la moldeabilidad, ya que contenidos superiores de aluminio conducen a un envenenamiento de la escoria del molde de colada y, por lo tanto, a un incremento en la viscosidad de la escoria del molde, lo que conduce a transferencias de calor y lubricación incorrectas durante la colada.

Cr: 0.05 - 0.25 % en masa. Se añade cromo para aumentar la templabilidad. El cromo forma ferrita y suprime la formación de carburos, lo que mejora así la formación de austenita retenida. Por las razones anteriores, se requiere un nivel más bajo de 0.05 % en masa. Un nivel máximo de 0.25 % en masa se impone para garantizar un decapado satisfactorio del fleje de acero, y para mantener el costo del fleje suficientemente bajo.

- Ca: máx 0.004 % en masa. La adición de calcio modifica la morfología de las inclusiones de sulfuro de manganeso. Cuando se añade calcio las inclusiones adquieren una forma globular en lugar de una alargada. Las inclusiones alargadas, además llamadas largueros, pueden actuar como planos de debilidad a lo largo de los cuales puede ocurrir desgarro laminar y fractura de la delaminación. La evasión de largueros es beneficiosa para los procesos de formación de láminas de acero que implican la expansión de los agujeros o el estiramiento de las bridas y promueve la formación de comportamiento isotrópico. El tratamiento con calcio previene además la formación de inclusiones de alúmina abrasiva, duras, angulares, en tipos de acero desoxidado con aluminio, lo que forma en su lugar inclusiones de aluminato de calcio, que son más suaves y globulares a temperaturas de laminación, lo que mejora de ese modo las características de procesamiento del material. En las máquinas de colada continua, algunas inclusiones que ocurren en el acero fundido tienen una tendencia a bloquear la tobera, lo que resulta en la pérdida de producción y mayores costos. El tratamiento con calcio reduce la propensión a la obstrucción mediante al promover la formación de especies de punto de fusión bajo que no obstruirán las toberas del fundidor.
- 5
- 10
- 15 P: máx 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 frágil al acero en la soldadura, por lo que la cantidad de fósforo debe ser cuidadosamente controlada, especialmente en combinación con otros elementos fragilizantes tales como azufre y nitrógeno.
- 20 El azufre y el nitrógeno están presentes en cantidades bajas, ya que estos elementos son perjudiciales para la soldabilidad.
- 25 El niobio se añade en una cantidad entre 0.01 y 0.05 % en masa para el refinamiento del grano y la conformabilidad. El niobio promueve la transformación en la mesa transportadora y proporciona así un producto intermedio más suave y homogéneo. El niobio suprime además la formación de martensita a temperaturas de sobre-envejecimiento isotérmico, lo que promueve de ese modo la estabilización de la austenita retenida.
- Los elementos opcionales se añaden principalmente para fortalecer el acero.
- 30 Adicionalmente, por las razones expuestas anteriormente, los intervalos para el aluminio, el cromo y el manganeso se eligen de manera que se encuentre un equilibrio correcto para suministrar la transformación completa en la mesa transportadora para garantizar un fleje de acero que puede laminarse en frío, y para proporcionar una estructura de partida que permite la disolución rápida de carbono en la línea de recocido para promover la templabilidad y el comportamiento de transformación ferrítico/bainítico correcto. Por otra parte, puesto que el aluminio acelera y el cromo desacelera la transformación bainítica, tienen que haber un 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 por inmersión en caliente convencional con una sección excedente restringida.
- 35
- 40 Aparte de los contenidos absolutos de los elementos como los anteriormente aportados, también las cantidades relativas de ciertos elementos son de importancia.
- 45 El aluminio y el silicio juntos deben mantenerse entre 0.4 y el 1.05 % en masa para asegurar la supresión de los carburos en el producto final y la estabilización de una cantidad suficiente de austenita, con la composición correcta, para proporcionar una extensión deseable de conformabilidad.
- 50 El manganeso y el cromo juntos deben estar por encima de 1.90 % en masa para asegurar la suficiente templabilidad para la formación de martensita y así el logro de resistencia en una línea de recocido continuo y galvanizado en caliente por inmersión convencional.
- 55 Preferentemente el elemento C está presente en una cantidad de 0.13 - 0.16 %. En este intervalo la templabilidad del acero es óptima, mientras que la soldabilidad del acero se mejora.
- De acuerdo con una modalidad preferida el elemento Mn está presente en una cantidad de 1.95 - 2.40 %, preferentemente en una cantidad de 1.95 - 2.30 %, con mayor preferencia en una cantidad de 2.00 - 2.20 %. Una mayor cantidad de manganeso proporciona acero con una mayor resistencia, por lo que es ventajoso elevar el límite inferior a 1.95 o incluso 2.00 % en masa de manganeso. Por otro lado, la laminación en caliente y la laminación en frío del acero es más difícil para cantidades mayores de manganeso, por lo que es ventajoso reducir el límite superior a 2.40, 2.30 o incluso 2.20 % en masa de manganeso.
- 60 Preferentemente el elemento Si está presente en una cantidad de 0.05 - 0.15 %. No existe objeción para la presencia de algo de Si en el acero, puesto que el Si asegura un mejor retardo de los carburos durante el sobre-envejecimiento que es ventajoso para la conformabilidad del acero.
- 65 De conformidad con una modalidad preferida el elemento Al está presente en una cantidad de 0.60 - 0.80 %. Un elevado nivel inferior de aluminio tiene el mismo efecto que una mayor cantidad de silicio, pero además mejora la formación de bainita. Un límite superior inferior de aluminio mejora la moldeabilidad del acero.

Preferentemente el elemento Cr está presente en una cantidad de 0.10 - 0.25 %. Un elevado nivel inferior incrementa la templabilidad del acero.

5 De acuerdo con una modalidad preferida el elemento Nb está presente en una cantidad de 0.01 - 0.04 %. Como se dilucidó anteriormente, el niobio mejora la homogeneidad del producto intermedio. El límite superior esta principalmente en consideración del costo del niobio.

10 Preferentemente, el acero tiene una resistencia a la tracción última Rm de al menos 700 MPa, más preferentemente una resistencia a la tracción última Rm de al menos 750 MPa. Esta resistencia puede alcanzarse, debido a la cuidadosa selección de las cantidades de los elementos presentes en el acero, mientras que la conformabilidad de un acero de fase dual convencional de 600 MPa se mantenga.

15 De acuerdo con una modalidad preferida el fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente tiene una resistencia de prueba Rp al 0.2 % de al menos 400 Mpa, preferentemente una resistencia de prueba Rp al 0.2 % Rp de al menos 450 Mpa. Además esta resistencia puede alcanzarse debido a la selección cuidadosa de las cantidades de los elementos presentes en el acero.

20 Preferentemente, el fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente tiene una elongación total de al menos 18 %. Esta es una elongación alta que se alcanza además mediante la presencia preferida de los elementos en el acero.

25 De acuerdo con una modalidad preferida el fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente tiene un coeficiente de expansión de agujeros de al menos 35 % cuando Rm es 750 MPa y Rp es 450 MPa. Este es un buen coeficiente de expansión de agujeros, como se esclarecerá más abajo. El coeficiente de expansión de agujeros disminuye con el aumento de la resistencia.

30 Preferentemente, el fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente tiene un índice de embutición de Erichsen de más de 10.5 mm cuando Rm es 750 MPa y Rp es 450 MPa. Esto es satisfactorio para la usabilidad del acero. El índice de embutición de Erichsen disminuye con el aumento de la resistencia.

35 De acuerdo con una modalidad preferida el fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente tiene una estructura de fase dual que contiene de 8 - 12 % de austenita retenida, de 10 - 20 % de martensita, el remanente que es una mezcla de ferrita y bainita, preferentemente el fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente contiene no más que 10 % de bainita. Con tales microestructuras, se alcanza una elongación alta y una alta resistencia.

40 De acuerdo con una modalidad preferida el fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente tiene un tamaño promedio del grano de más de 5 µm. Este tamaño del grano ayuda a obtener las propiedades mecánicas del acero mencionadas anteriormente.

45 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención se proporciona un método para producir un fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente de alta resistencia como se define anteriormente, en donde el acero fundido se lamina en caliente y se lamina en frío en un fleje que tiene un espesor deseado, después de lo cual el fleje se recalienta en una línea de recocido a una temperatura por encima de la temperatura Ac1 y preferentemente entre la temperatura Ac1 y la Ac3 del tipo de acero y se enfría rápido a una velocidad de enfriamiento para evitar la transformación nuevamente en ferrita, después de lo cual se aplica un sobreenviejamiento isotérmico para formar bainita, y el fleje se galvaniza por inmersión en caliente.

50 En este método, el programa de deformación durante el laminado en caliente, la temperatura de laminado de acabado y el subsiguiente patrón de enfriamiento en una mesa transportadora puede seleccionarse para lograr una microestructura en el producto laminado en caliente que es propicio para una reducción adicional del espesor en el laminador en frío. Puede ponerse atención particularmente a limitar la resistencia del fleje laminado en caliente a fin de minimizar las cargas de laminación en frío requeridas. La temperatura en la línea de recocido puede elegirse de manera tal que el fleje de acero comprenda tanto ferrita como austenita. La velocidad de enfriamiento debe ser tal que, en principio, no se forme ferrita, y el sobreenviejamiento isotérmico se aplica para promover la formación de bainita. El galvanizado por inmersión en caliente puede realizarse de la manera habitual. Durante este método, la temperatura y la duración de la mayoría de las etapas son cruciales para la realización del equilibrio deseado entre la resistencia y la ductilidad en el producto final.

60 Preferentemente el recocido puede llevarse a cabo a una temperatura entre 750 °C y 850 °C y más preferentemente a una temperatura entre 780 °C y 820 °C. A estas temperaturas el fleje de acero comprende ferrita y austenita.

Preferentemente, el sobreenviejamiento se aplica a una temperatura entre 360 °C y 480 °C.

65 Como se conoce por el experto, el sistema eutectoide hierro-carbono tiene una serie de temperaturas de transformación críticas tal como se define a continuación. Estas temperaturas dependen de las condiciones químicas y de procesamiento:

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

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

5 A3 - temperatura por encima de la cual la microestructura está compuesta en su totalidad de austenita. Los sufijos c y r denotan las transformaciones en el ciclo de calentamiento y enfriamiento, respectivamente.

La invención se esclarecerá de aquí en adelante; un número de composiciones se evaluarán con respecto a algunos parámetros de conformabilidad bien conocidos que se esclarecen primero.

10

Valor n: El coeficiente de endurecimiento por deformación o valor n está estrechamente relacionado con la elongación uniforme. En la mayoría de los procesos de formación de láminas el límite de conformabilidad se determina por la resistencia al adelgazamiento local o "estrechamiento". En el ensayo de tracción uniaxial el estrechamiento comienza por el grado de elongación uniforme. El valor n y la elongación uniforme derivada del ensayo de tracción pueden tomarse como una medida de la conformabilidad de los aceros en láminas. Cuando se aspira a mejorar la conformabilidad de aceros en flejes, el valor n y la elongación uniforme representan los parámetros de optimización más adecuados.

15

El coeficiente de expansión de agujero (HEC): Para ser aplicado con éxito en operaciones de estampado industrial, los metales en láminas deben tener una cierta capacidad para soportar el estiramiento de sus bordes cortados. Esto se prueba de acuerdo con la especificación técnica internacional ISO / TS16630. Se hace un agujero con un diámetro de 10 mm en el centro de una pieza de ensayo que tiene las dimensiones de 90 x 90 mm. Un punzón cónico de 40 mm de diámetro con un vértice de 60 ° se fuerza dentro del agujero mientras la pieza se fija con un dado que tiene un diámetro interior de 55 mm. El diámetro del agujero se mide cuando una grieta se había extendido a través del espesor de la pieza de ensayo. El HEC máximo se determina por: % Máximo de HEC =  $((DH-Do) / Do) \times 100$ , en donde Do es el diámetro del agujero original y DH es el diámetro del agujero después del agrietamiento. La capacidad de doblado por extensión se evalúa sobre la base del HEC máximo y se considera satisfactoria cuando HEC > 25 %

20

25

El índice de Erichsen (EI): La prueba de Erichsen describe la capacidad de los metales de experimentar deformación plástica en la deformación extensible y se prueba de acuerdo con la prueba estándar internacional ISO 20482: 2003. Un punzón semiesférico se impulsa hacia el interior de una lámina totalmente sujeta. Como lubricante se usa la grasa de grafito en la parte superior del punzón. El recorrido del punzón se detiene cuando se detecta una grieta a través del espesor. Debido a la fricción la fractura no está en la parte superior del punzón sino a un lado, así no está en deformación biaxial igualmente sino más hacia deformación plana. La profundidad de penetración del punzón se mide. El valor del índice de embutición Erichsen (IE) es el promedio de un mínimo de tres mediciones individuales, expresada en milímetros, y para la presente invención se considera satisfactoria cuando EI > 10mm.

30

35

Soldabilidad: La resistencia de soldadura por puntos es la técnica de unión principal que se usa en la industria del automóvil, un automóvil contiene un promedio de alrededor de 2000 - 3000 puntos de soldadura. Tradicionalmente los puntos de soldadura han sido siempre un tipo de unión muy barato y fiable, sin embargo, desde la introducción de los AHSS, esta fiabilidad se ha visto comprometida. La soldabilidad se mide por la capacidad del material para ser soldado por puntos. Las condiciones de soldadura se tomaron de BS1140: 1993 que son estándar para la industria, aunque no necesariamente optimizado para AHSS. La soldabilidad por puntos se mide por el modo de fallo de los puntos de soldadura resultantes (sello). Cuando un material no puede soldarse, a continuación el sello se fracturará a lo largo de la interfase entre las dos superficies de unión. En un material completamente soldado el fallo estará en el metal de origen, fuera del sello y además preferentemente fuera de la zona afectada por el calor. Esto se conoce como fallo completo del sello, que es que el sello completo que se retira del metal de origen. La soldabilidad por puntos puede expresarse en la escala entre el fallo de la interfase completa y el fallo del sello completo con el anterior que se considera insoldable.

40

45

Uno de los propósitos de la presente invención es proporcionar un fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente de alta resistencia que tiene una conformabilidad en el intervalo de un fleje de acero AHSS galvanizado por inmersión en caliente de 600 MPa, pero que tiene un nivel de resistencia de al menos 700 MPa. Esto se consigue mediante la realización de un aumento adecuado de la elongación uniforme y el valor n.

50

Durante el desarrollo de un fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente de alta resistencia de acuerdo con la invención un número de bobinas de flejes se han producido a través de ejemplos comparativos. La química de las diferentes aleaciones se proporciona en la Tabla 1 (en 10<sup>-3</sup> %). Las condiciones de procesamiento junto con las propiedades mecánicas resultantes se proporcionan en la Tabla 2. En la Tabla 2 RA indica la austenita retenida, M indica martensita, y F indica ferrita más bainita.

55

60

65

Aleación	C	Mn	Al	Cr	Nb	Si	Notas
A	154	1660	570	400	0	120	Ejemplo
B	143	1944	680	103	21	72	invención
C	156	2054	729	105	21	60	invención
D	151	1730	580	110	0	410	Ejemplo
E	150	1880	610	519	22	430	Ejemplo
F	155	2027	707	92	20	57	invención

Tabla 1: Composición química del acero de la invención y algunos ejemplos comparativos

Aleación	Temp de recocido °C	Temp mantenimiento de la isoterma °C	% F	% M	% RA	Rp MPa	Rm MPa	Ag %	A80 %	valor n	HEC %	EI, mm
A	800	420	71	7	12	345	701	18.8	23.4	0.210		
B	780	360	79	12	9	457	727	17.6	25.5	0.178		
B	780	380	78	11	11	487	738	16.8	22.5	0.174		
B	790	360	78	11	11	490	751	17.4	26.1	0.174	35	10.8
B	790	370	79	11	10	502	750	14.8	19.0	0.173	42	10.6
B	800	420	76	12	12	523	751	15.4	18.5	0.180		
B	810	380	82	10	8	489	701	16.4	21.3	0.187		
B	830	480	78	12	10	492	754	15.6	21.4	0.159	38	10.7
B	830	490	81	15	4	532	804	13.0	17.3	0.145		
C	815	385	81	10	9	534	784	15.3	19.0	0.17	37	10.5
C	820	440	80	11	9	524	791	14.7	18.1	0.17	33	10.1
D	800	420	90	5	5	442	702	21.3	26.6	0.239		
E	830	420	80	10	10	427	772	14.7	20.8	0.158	25	9.5
F	780	400	82	9	9	471	787	15.0	20.7	0.15		
F	780	410	82	10	8	454	781	14.6	19.2	0.17	32	10.4
F	790	410	79	12	9	496	795	15.3	20.1	0.16		

Tabla 2: Condiciones de procesamiento y propiedades mecánicas resultantes del acero de la invención y algunos ejemplos comparativos

La Tabla 1 muestra seis aleaciones diferentes de A a F, en las cuales las aleaciones B, C y F tienen una composición de acuerdo con la invención y las aleaciones A, D y E son ejemplos comparativos. Para las aleaciones A, D y E las condiciones de procesamiento de acuerdo con la invención han de aplicarse como se muestra en la Tabla 2. Las propiedades mecánicas de las aleaciones A y E están claramente fuera de los valores deseados de acuerdo con la invención, porque el valor Rp de la aleación A es más bajo de 400 MPa, y para la aleación E el coeficiente de expansión de agujero es de solamente 25 % y el índice de embutición de Erichsen es menor que 10. La aleación D tiene una composición de acuerdo con la invención, pero el nivel de Si es demasiado elevado. La Tabla 2 muestra que las propiedades mecánicas como se miden caen dentro de los valores deseados de acuerdo con la invención, aunque el valor Rm está solo exactamente por encima del límite inferior de 700 MPa, y claramente inferior que el valor preferido de al menos 750 MPa. Sin embargo, la estructura de la aleación D no está de acuerdo con la estructura deseada, porque la cantidad de martensita y austenita retenida es demasiado bajo.

Ambas aleaciones D y E tienen contenidos de Si que están bien fuera del intervalo de la invención que conduce a cargas altas en el laminado lo que reduce de ese modo las dimensiones disponibles para el producto final.

La aleación B es una aleación de acuerdo con la invención. Para esta aleación, diferentes condiciones de

5 procesamiento han de aplicarse como se muestra en la Tabla 2. Diferentes temperaturas de recocido y diferentes temperaturas de mantenimiento isotérmico resultan en propiedades mecánicas que cumplen los valores deseados de acuerdo con la invención como respecto a la resistencia a la tracción última y la resistencia de prueba al 0.2 %, aunque la elongación total deseada no siempre se cumple. Esto ocurre cuando la temperatura de sobre-envejecimiento es superior a la temperatura de mantenimiento óptimo de bainita (es decir, superior a 480 °C), lo que reduce así la cantidad disponible de austenita retenida.

10 La aleación C es además una aleación de acuerdo con la invención. Para esta aleación, dos condiciones de procesamiento diferentes han de aplicarse como se muestra en la Tabla 2. Para ambas condiciones de procesamiento, la resistencia a la tracción última  $R_m$  es mayor que 750 MPa y la elongación total es mayor que 18 %. El índice de Erichsen es mayor que 10, el valor  $n$  es 0.17 y el HEC es superior a 30.

15 La aleación F es otra aleación de acuerdo con la invención. Tres condiciones de procesamiento diferentes han de aplicarse, como se muestra en la Tabla 2, y en los tres casos la resistencia a la tracción última es mayor que 750 MPa, la elongación total es aún mayor que 19 %, y el valor  $n$  es 0.15 o mayor. Cuando se mide, el índice Erichsen es mayor que 10 y el HEC está por encima de 30.

20 El coeficiente de expansión de agujero HEC y el índice de embutición Erichsen EI no siempre se miden pero cuando se mide el valor es satisfactorio. Además el coeficiente de endurecimiento por deformación o valor  $n$  es bueno en todos los casos.

25 El acero TRIP de fase dual asistida de acuerdo con la invención con bajas cantidades de silicio mostró así ser un tipo de acero que tiene propiedades mecánicas satisfactorias, contrario a la expectativa de los expertos en la técnica, que siempre se necesita añadir una cierta cantidad de silicio.



## REIVINDICACIONES

- 5 1. Fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente de alta resistencia que consiste en, en por ciento en masa, de los siguientes elementos:
- 10 0.13 - 0.19 % de C  
1.70 - 2.50 % de Mn  
máx 0.15 % de Si  
0.40 - 1.00 % de Al  
0.05 - 0.25 % de Cr  
0.01 - 0.05 % de Nb  
máx 0.10 % de P  
máx 0.004 % de Ca  
15 máx 0.05 % de S  
máx 0.007 % de N  
y opcionalmente al menos uno de los siguientes elementos:  
máx 0.50 % de Ti  
máx 0.40 % de V  
20 máx 0.50 % de Mo  
máx 0.50 % de Ni  
máx 0.50 % de Cu  
máx 0.005 % de B  
el equilibrio que es Fe e impurezas inevitables,  
25 en donde  $0.40 \% < Al + Si < 1.05 \%$  y  $Mn + Cr > 1.90 \%$ ,  
en donde el fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente tiene una microestructura que contiene 8 - 12 % de austenita retenida, 10 - 20 % de martensita, el remanente que es una mezcla de ferrita y bainita, el fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente contiene no más que 10 % de bainita, y en donde el fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente tiene una resistencia a la tracción última Rm de al menos 700 MPa, una resistencia de prueba Rp al 0.2 % de al menos 400 MPa y una elongación total de al menos 18 %.
- 30 2. Fleje de acero de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el elemento C está presente en una cantidad de 0.13 - 0.16 %.
- 35 3. Fleje de acero de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde el elemento Mn está presente en una cantidad de 1.95 - 2.40 %, preferentemente en una cantidad de 1.95 - 2.30 %, con mayor preferencia en una cantidad de 2.00 - 2.20 %.
- 40 4. Fleje de acero de acuerdo con la reivindicación 1, 2 o 3, en donde el elemento Si está presente en una cantidad de 0.05 - 0.15 %.
- 45 5. Fleje de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el elemento Al está presente en una cantidad de 0.60 - 0.80 %.
- 50 6. Fleje de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el elemento Cr está presente en una cantidad de 0.10 - 0.25 %.
- 55 7. Fleje de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el elemento Nb está presente en una cantidad de 0.01 - 0.04 %.
8. Fleje de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente tiene una resistencia a la tracción última Rm de al menos 750 MPa.
9. Fleje de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente tiene una resistencia de prueba Rp al 0.2 % de al menos 450 MPa.
- 60 10. Fleje de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente tiene un coeficiente de expansión de agujero de al menos 35 % cuando Rm es 750 MPa y Rp es 450 MPa
- 65 11. Fleje de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente tiene un índice de embutición de Erichsen de más que 10.5 mm cuando Rm es 750 MPa y Rp es 450 MPa..
12. Fleje de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente tiene un tamaño de grano promedio de como máximo 5  $\mu$ m.

13. Método para la producción de un fleje de acero galvanizado por inmersión en caliente de alta resistencia de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el acero fundido se lamina en caliente y se lamina en frío en un fleje que tiene un espesor deseado, después de lo cual el fleje se recalienta en una línea de recocido a una temperatura por encima de la temperatura Ac1 y preferentemente entre la temperatura Ac1 y la Ac3 del tipo de acero y se enfría rápido a una velocidad de enfriamiento tal como para evitar la retransformación en ferrita, después de lo cual se aplica sobreenviejimiento isotérmico para formar bainita, y el fleje se galvaniza por inmersión en caliente.
- 5
14. Método de acuerdo con la reivindicación 13, en donde el recocido se aplica a una temperatura entre 750 °C y 850 °C, preferentemente entre 780 °C y 820 °C.
- 10
15. Método de acuerdo con la reivindicación 13 o 14, en donde el sobreenviejimiento se aplica a una temperatura entre 360 °C y 480 °C.