

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 665 798**

51 Int. Cl.:

C23C 2/02	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)
C21D 9/46	(2006.01)
C23C 2/06	(2006.01)
C23C 2/40	(2006.01)
C22C 18/00	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)
C22C 38/38	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.07.2015 PCT/EP2015/025044**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **14.01.2016 WO16005061**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2015 E 15797015 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.03.2018 EP 3167092**

54 Título: **Banda de acero con alta resistencia y alta conformabilidad, la banda de acero tiene un recubrimiento a base de zinc por inmersión en caliente**

30 Prioridad:

07.07.2014 EP 14176008

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.04.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**HANLON, DAVID NEAL;
ZUIJDERWIJK, MARGA JOSINA y
VAN BOHEMEN, STEFANUS MATHEUS
CORNELIS**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 665 798 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 Banda de acero con alta resistencia y alta conformabilidad, la banda de acero tiene un recubrimiento a base de zinc por inmersión en caliente
- La presente invención se relaciona con una banda de acero que tiene alta resistencia y alta plasticidad, la banda de acero se proporciona con un recubrimiento a base de zinc por inmersión en caliente, tal como se usa en la industria automotriz, así como con un método de fabricación de la misma.
- 10 Las bandas de acero que tienen propiedades equilibradas con respecto a la resistencia y conformabilidad se conocen en la técnica. No obstante, existe una búsqueda continua y desarrollo de tipos de acero, de la cual se mejoran las propiedades individuales y/o equilibrio de las propiedades.
- 15 La presente invención se dirige a una banda de acero que tiene una resistencia a la tracción en el intervalo de 960-1100 MPa, un límite elástico de al menos 500 MPa y un alargamiento uniforme de al menos 12 %, como un ajuste de las propiedades equilibradas. Las bandas de acero que tienen este ajuste de propiedades equilibradas tienen el potencial de lograr reducción del peso, por ejemplo, en la industria automotriz, sin afectar otras propiedades.
- 20 Las bandas de acero con un equilibrio comparable de propiedades se conocen y pueden producirse en líneas continuas, sin embargo, sin protección galvánica. Por lo tanto, la aplicabilidad de estas bandas de acero se limita a aquellas aplicaciones que no requieran de esta protección galvánica, por ejemplo, asientos y partes interiores en aplicaciones automotrices. Para muchas de estas aplicaciones, las propiedades de resistencia y plasticidad son suficientes.
- 25 Las partes de forma compleja para aplicaciones automotrices en la carrocería en bruto, requieren de una conformabilidad mejorada (en frío) a una resistencia (ultra)alta para permitir la reducción de espesor. La reducción del peso mediante la reducción de espesor es importante para cumplir con las demandas cada vez mayores de la legislación ambiental. Además, para asegurar una vida útil aceptable de esas aplicaciones de carrocerías en bruto se requiere protección galvánica.
- 30 Actualmente los productos que cumplen con estas exigencias de conformabilidad, resistencia y protección galvánica se fabrican en un proceso que comprende etapas del proceso separadas. En una primera etapa, una banda de acero se somete a recocido continuo en una línea de recocido continuo. Posteriormente la banda de acero producida de esta forma se recubre fuera de línea en una etapa separada mediante el uso de una tecnología de electrogalvanización convencional. Sin embargo, la electrogalvanización de la banda de acero de alta y ultra-alta resistencia tiene el riesgo inevitable de una
- 35 fractura retardada debido a la fragilidad por hidrógeno, provocada por la liberación de iones de hidrógeno durante la electrodeposición y la carga de la banda de acero con iones de hidrógeno.
- 40 Las tecnologías alternativas de recubrimiento en frío tipo PVD, que evitan el riesgo de la fragilidad por hidrógeno, no están probadas para la producción comercial de grandes volúmenes de aceros básicos. Por lo tanto, se prefiere la galvanización por inmersión en caliente sobre la electrogalvanización y el recubrimiento en frío alternativo. JP2004018971 describe una chapa de acero galvanizada por inmersión en caliente de alta ductilidad y alta resistencia, de excelente propiedad de fresado, y un método de fabricación de la misma. Recientemente se ha mostrado que las composiciones de acero que tienen una denominada química "enriquecida" pueden fabricarse de manera que se puedan someter a un tratamiento de galvanización en caliente. Sin embargo, estas composiciones requieren un control cuidadoso del estado de oxidación de
- 45 la superficie durante las etapas de tratamiento térmico a través del control cuidadoso y preciso de la atmósfera del horno, lo que implica una alta inversión de capitales en el equipo adecuado de control y procesamiento. Típicamente, esta línea de fabricación también se usa para fabricar otros productos de acero. Por lo tanto, el rendimiento del proceso se afecta para toda la cartera de productos de la línea de producción en cuestión. Ya que los productos con química enriquecida sólo se fabrican en un volumen bajo en comparación con los productos básicos de alto volumen, una desventaja es la inversión de capital. También, desde un punto metalúrgico, estas composiciones de acero que tienen una química enriquecida adolecen de la desventaja de que la promoción de la oxidación interna de elementos sensibles puede conducir a la formación de óxidos frágiles en la región superficial cercana, dando como resultado posiblemente la pérdida de ductilidad, degradación de las propiedades similares a plegabilidad y deterioro de la calidad superficial, lo que resulta finalmente en una reducción del número o tipos de aplicaciones donde se puedan usar estos productos de acero.
- 50
- 55 En la galvanización, se sabe que la adición de elementos de tierras raras al sustrato o al baño de zinc mejoran la humectabilidad del zinc líquido. Estos elementos de tierras raras son caros y son un recurso cada vez más escaso.
- 60 La separación de la etapa de recocido y la etapa HDG implica costos adicionales y aumenta la complejidad logística. Además, el recalentamiento a la temperatura adecuada para el tratamiento HDG a menudo conduce a una degradación inaceptable de las propiedades de la tira.
- 65 La invención tiene como objetivo proporcionar una banda de acero que tenga una alta conformabilidad, representado por un límite elástico de al menos 500 MPa y un alargamiento uniforme de al menos 12 %, a alta resistencia en el intervalo de 960 - 1100 MPa y con una capa de protección galvánica adherente, continua, que puede aplicarse en un proceso continuo usando una sola línea de fabricación, sin los inconvenientes antes mencionados de la composición del sustrato

de acero y/o baño de zinc, de separar las etapas de recocido y recubrimiento en diferentes líneas de procesamiento, o al menos en un grado menor.

5 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona una banda de acero que tiene un recubrimiento a base de zinc por inmersión en caliente, la banda de acero tiene la siguiente composición, en % en peso:

C:	0,17 - 0,24
Mn:	1,8 - 2,5
Si:	0,65 - 1,25
Al:	≤ 0,3

opcionalmente:

15 Nb: ≤ 0,1 y/o V: ≤ 0,3 y/o Ti: ≤ 0,15 y/o Cr: ≤ 0,5 y/o Mo: ≤ 0,3,
 el resto es hierro e impurezas inevitables,
 con una relación Si/Mn ≤ 0,5 y una relación Si/C ≥ 3,0,
 con un ME equivalente del Mn de a lo máximo 3,5, en donde ME = Mn + Cr + 2 Mo (en % en peso) que tiene una
 20 microestructura con (en % en vol.):

ferrita:	0 - 40
bainita:	20 - 70
25 martensita:	7 - 30
austenita retenida:	5 - 20
perlita	≤ 2
30 cementita:	≤ 1

con una resistencia a la tracción en el intervalo de 960-1100 MPa, un límite elástico de al menos 500 MPa, y un alargamiento uniforme de al menos 12 %.

35 Se encontró que una banda de acero que tenga una composición y una microestructura como se definió anteriormente y que tenga además un recubrimiento a base de zinc cumple con el objetivo anterior relacionado con las propiedades mecánicas equilibradas de la banda y la capa de protección galvánica, sin necesidad de modificar totalmente la línea de producción en términos de las etapas de recocido, atmósfera del horno y equipo de control, la tecnología de galvanización y sin necesidad de introducir elementos poco disponibles en la composición del sustrato y/o el baño de zinc.

40 De acuerdo con un segundo aspecto, la invención proporciona un método para producir una banda de acero recubierta con zinc por inmersión en caliente de alta resistencia de manera continua, que comprende las siguientes etapas:

1) proporcionar una banda de acero que tenga la siguiente composición en % en peso:

C:	0,17 - 0,24
Mn:	1,8 - 2,5
Si:	0,65 - 1,25
Al:	≤ 0,3

opcionalmente:

55 Nb: ≤ 0,1 y/o V: ≤ 0,3 y/o Ti: ≤ 0,15 y/o Cr: ≤ 0,5 y/o Mo: ≤ 0,3
 el resto es hierro e impurezas inevitables,
 con una relación Si/Mn ≤ 0,5 y una relación Si/C ≥ 3,0,
 con un ME equivalente de Mn de como máximo 3,5, en donde ME = Mn + Cr + 2 Mo (en % en peso):
 2) calentar la banda a una temperatura T1 (en °C) en el intervalo de (Ac3+20)-(Ac3-30) para formar una microestructura total o parcialmente austenítica;
 60 3) enfriar lentamente la banda con una velocidad de enfriamiento en el intervalo de 2 - 4 °C/s a una temperatura T2 en el intervalo de 620-680 °C;
 4) enfriar rápidamente la banda con una velocidad de enfriamiento en el intervalo de 25 a 50 °C/s a una temperatura T3 (en °C) en el intervalo de (Ms-20) - (Ms+100);
 5) mantener la banda a una temperatura de enfriamiento sostenida o baja T4 en el intervalo de 420 - 550 °C durante un
 65 periodo de tiempo de 30 - 200 segundos.

6) recubrir por inmersión en caliente la banda de acero en un baño de zinc para proporcionar a la banda un recubrimiento a base de zinc;

7) enfriar la banda de acero recubierta a una velocidad de enfriamiento de al menos 5 °C/s a una temperatura inferior a 300 °C.

5

La invención implica equilibrar el contenido de la aleación de la composición de acero para equilibrar el comportamiento de transformación contra las capacidades de enfriamiento de las líneas típicas (convencionales) de recocido y controlar la velocidad de difusión de los elementos esenciales hacia la superficie durante el calentamiento y remojo y a su vez retrasar el desarrollo de un estado de oxidación superficial perjudicial antes de la entrada en el baño de zinc. Básicamente, la microestructura y control de la oxidación superficial se alcanza por la composición, en otras palabras, al equilibrar el contenido relativo y absoluto de los elementos químicos. Como tal, los elementos químicos de la presente composición son elementos bien conocidos utilizados en aceros convencionales.

10

Con respecto a las propiedades mecánicas, una resistencia a la tracción de 960 - 1100 MPa ofrece el potencial de reducción de espesor y reducción de peso mencionados anteriormente. Un límite elástico de al menos 500 MPa antes del proceso de laminación permite reducir al mínimo el diferencial de resistencia en las partes finales después de la configuración, ofrece niveles aceptables de recuperación elástica y proporciona un compromiso práctico entre la ductilidad y la ductilidad del borde estirado.

15

20

Con respecto a la composición de la banda de acero, se presentan los siguientes detalles.

Carbono: 0,17-0,24 % en peso. El carbono sirve para proporcionar resistencia y permitir la estabilización de la austenita retenida. El contenido de carbono es preferentemente 0,18-0,22 % en peso en vista de la procesabilidad corriente arriba y la soldabilidad por puntos. Para propiedades óptimas, se prefiere un contenido de C igual o mayor a 0.20 % en peso en este intervalo variación. Por debajo de este intervalo, el nivel de carbono libre puede ser insuficiente para permitir la estabilización de la fracción de austenita deseada. Como resultado, el nivel deseado de ductilidad y/o alargamiento uniforme puede no ser alcanzado. Por encima de este intervalo, la procesabilidad en las líneas de fabricación convencionales y la capacidad de fabricación en el usuario final se deterioran. En particular, la soldabilidad se convierte en un problema.

25

30

Manganeso: 1,8-2,50 % en peso. Al igual que el carbono, el manganeso tiene la función de reforzamiento. El manganeso también es importante con respecto al retraso de la formación de ferrita y la supresión de las temperaturas de transformación de manera que se forma fácilmente una fase bainítica fina y homogénea durante el enfriamiento detenido en la 5a etapa isotérmica, lo cual es importante para alcanzar las propiedades finales. Por encima del límite superior de 2.50 % en peso, se perjudica la humectabilidad de una banda de acero que tiene esta composición. A un contenido de Mn por debajo del límite inferior de 1.8 % en peso, se deterioran la resistencia y el comportamiento de transformación. Cuando los contenidos de carbono y manganeso son demasiado altos, se puede afectar la capacidad de soldadura por puntos.

35

40

Silíce: 0,65 – 1,25 % en peso. Similar al Mn, el silicio asegura una resistencia suficiente y comportamiento de transformación adecuado. Además, el Si suprime la formación de carburo debido a su solubilidad muy baja en cementita, lo cual de otra manera podría consumir el carbono requerido para la estabilización de la austenita. La formación de carburo también afectaría la ductilidad y la integridad mecánica. En vista de esto, en la invención la proporción de Si/C es mayor de 3.0, preferentemente mayor de 4.0 en vista de las condiciones de procesamiento, en particular, las condiciones de enfriamiento como se analizará en lo sucesivo. Preferentemente, el Si está en el intervalo de 0,8 – 1,2 % en peso en vista de la humectabilidad en combinación con la supresión de la formación de carburo y la estimulación de la estabilización de la austenita.

45

50

La proporción de Si/Mn es menor de 0,5 en vista de controlar la velocidad de difusión de Si hacia la superficie, manteniendo así la velocidad de formación de óxidos adherentes a un mínimo aceptable y por consiguiente asegurando la humectabilidad del zinc líquido y un alto nivel de adhesión. La proporción de Si/Mn también contribuye a mantener la generación de productos de transformación no deseados similares a perlita y carburos gruesos durante el enfriamiento primario a un valor mínimo aceptable. Por consiguiente, las propiedades mecánicas como a la ductilidad por tracción, la ductilidad del borde estirado y plegabilidad se benefician del equilibrio entre el silicio y el manganeso de acuerdo con esta proporción.

55

Aluminio: como máximo 0,3 % en peso. La función primaria del Al es desoxidar el acero líquido antes de la fundición. Además, se pueden usar pequeñas cantidades de Al para ajustar las temperaturas de transformación y la cinética durante la detención del enfriamiento. Cantidades mayores de Al no son deseables, aunque el Al puede suprimir la formación de carburo y así promover la estabilización de la austenita a través de carbono libre. Contrario al Si, este no tiene un efecto significativo en el fortalecimiento. Altos niveles de Al pueden conducir además a la elevación del intervalo de temperatura de transformación de ferrita a austenita a niveles que no sean compatibles con instalaciones convencionales.

60

65

Opcionalmente, uno o más de los siguientes elementos pueden estar contenidos en la composición de acero: Nb ≤ 0,1 (preferentemente 0,01 – 0,04 en vista de costes, retraso indeseable de recuperación/recristalización y altas cargas de laminación en el laminador en caliente), V ≤ 0,3 y/o Ti ≤ 0,15 % en peso. Estos elementos se pueden usar para refinar la

microestructura en los productos intermedios laminados en caliente y los productos terminados. También poseen un efecto de reforzamiento. Además, tienen una contribución positiva a la optimización de las propiedades dependientes de la aplicación, como la ductilidad del borde estirado y plegabilidad.

- 5 Otros elementos opcionales son $Cr \leq 0,5$ y/o $Mo \leq 0,3$ % en peso % en vista de la resistencia. El equivalente de manganeso, calculado como la suma del contenido de manganeso (en %), contenido de cromo y dos veces el contenido de molibdeno ($ME = Mn + Cr + 2*Mo$) debe mantenerse por debajo de 3,5, preferentemente por debajo de 3.

10 La microestructura compleja de la banda de acero final comprende ferrita, bainita, martensita, austenita retenida y opcionalmente pequeñas cantidades de perlita y cementita dentro de los límites presentados anteriormente. La ferrita, que puede ser ferrita intercrítica o ferrita recién preparada (retransformada) es esencial para proporcionar un sustrato conformable y endurecible en el trabajo. Una fracción de ferrita retransformada, formada durante el enfriamiento lento a partir de la temperatura de recocido, es conveniente en aquellos casos donde se busca un límite elástico elevado. La bainita no sólo proporciona resistencia, sino que su formación también es un requisito para retener la austenita. La transformación de bainita en presencia de silicio conduce la división de carbono a la fase de austenita, lo que permite niveles de enriquecimiento con carbono en la fase de austenita y permite la formación de una fase (meta)estable a temperatura ambiente. La bainita también tiene la ventaja con respecto a la martensita como una fase de reforzamiento que provoca menor localización de la deformación a microescala y por consiguiente mejora la resistencia a la fractura con respecto a los aceros de fase dual. La martensita se forma durante la inactivación final del recocido y da como resultado la supresión del alargamiento del punto de deformación elástica y el aumento del valor n (componente de endurecimiento), que es deseable para alcanzar una deformación estable, sin deformación y una uniformidad de deformación en la pieza prensada final. El límite inferior de 7 % en volumen de la martensita recién preparada en la banda de acero final proporciona a la banda de acero una respuesta a la tracción y por lo tanto un comportamiento de prensado comparable al de los aceros de fase dual convencionales. La banda de acero de acuerdo con la invención obtiene su resistencia del reforzamiento por fases con fracciones adecuadas de ferrita bainítica y martensita. La fracción de austenita retenida metaestable asegura la combinación equilibrada de propiedades de resistencia y ductilidad. La austenita retenida mejora la ductilidad parcialmente a través del efecto TRIP, que se manifiesta por sí mismo en un aumento observado en el alargamiento uniforme. Las propiedades finales también dependen de la interacción entre las diversas fases de la microestructura compleja. Aquí, los bajos niveles de carburos y fases de carburo y la presencia de ferrita y de ferrita bainítica contribuyen a la estabilización de la austenita aunque también directamente a la mejora de la ductilidad al mejorar la integridad mecánica y suprimir tempranamente la formación de huecos y la fractura.

Preferentemente, la microestructura comprende (en % en volumen)

- 35 ferrita intercrítica: hasta 30. Por encima de este límite, la microestructura final no contendrá suficiente bainita y/o martensita, y por lo tanto la resistencia será demasiado baja.
 ferrita retransformada: hasta 40. Por encima de este límite, la microestructura final no contendrá suficiente bainita y/o martensita, y por lo tanto la resistencia será demasiado baja.
 bainita: 20-70. Por debajo del límite inferior, la estabilización de la austenita será insuficiente. Más allá del límite superior, estará presente insuficiente martensita, y de esta forma la resistencia será demasiado baja.
 40 martensita: 7-30. Por debajo de este límite, la respuesta a la tracción DP (endurecimiento por deformación como un acero DP cuando se estira) no será adecuada. Por encima del límite superior, la resistencia será demasiado alta.
 austenita retenida: 5-20. Por debajo de 5 % en vol., el nivel deseado de ductilidad y/o alargamiento uniforme no se alcanzará. El límite superior se ajusta por la composición.

- 45 La banda de acero tiene un recubrimiento a base de zinc. Ventajosamente, el recubrimiento a base de zinc es un recubrimiento galvanizado o galvanizado y recocido. El recubrimiento a base de Zn puede comprender una aleación de Zn que contenga Al como un elemento de aleación. Una composición preferida con baño de baño de zinc contiene 0,10-0,35 % en peso de Al, el resto será zinc e impurezas inevitables. Otro baño de Zn preferido que comprende Mg y Al como elementos principales de aleación, tiene la composición: 0,5-3,8 % en peso de Al, 0,5-3,0 % en peso de Mg, opcionalmente como máximo 0,2 % de uno o más elementos adicionales; el resto es zinc e impurezas inevitables. Los elementos adicionales son Pb, Sb, Ti, Ca, Mn, Sn, La, Ce, Cr, Ni, Zr o Bi.

55 En el método continuo de acuerdo con la invención en la primera etapa, se proporciona un producto de acero que tiene la composición como se discutió anteriormente y las dimensiones deseadas de la banda como un intermedio para las siguientes etapas de recocido y galvanizado por inmersión en caliente. Adecuadamente, la composición se prepara y se funde en una plancha. Después, la plancha fundida se procesa mediante el uso de etapas de laminado en caliente y en frío para obtener el tamaño deseado de la banda de acero, que se somete al tratamiento térmico y al tratamiento de recubrimiento en caliente definido en las etapas posteriores. La primera etapa implica ventajosamente tecnología de fundición de la plancha delgada y laminado directo de la hoja sin recalentamiento para suprimir la formación de óxido de silicio líquido. Estos óxidos de silicio líquidos son perjudiciales para las cargas de laminados lo que resulta en una ventana de dimensiones limitada con respecto a las combinaciones de anchura y espesor que pueden alcanzarse. Estos óxidos también pueden provocar problemas de contaminación superficial. La fundición de la plancha delgada y el laminado directo de la hoja no sufren de los problemas causados por los óxidos de silicio líquido, lo que da como resultado una ventana de dimensiones más amplia, una mejora de las condiciones superficiales y capacidad de decapado. Sin embargo, si se usa el recalentamiento en la etapa 1, entonces se pueden usar, hornos convencionales del tipo walking beam (vigas móviles) y horno de empuje, ventajosamente en un intervalo de temperatura limitado de 1150-1270 °C para restringir la formación

de óxidos de silicio líquido. Típicamente, el laminado en caliente de la plancha se realiza en 5 a 7 posiciones hasta una dimensión final que sea adecuada para el laminado en frío adicional. Típicamente, el laminado final se realiza en condiciones completamente austeníticas por encima de 800 °C, ventajosamente 850 °C. La banda proveniente de las etapas de laminado en caliente puede enrollarse, por ejemplo, a una temperatura de enrollado de 580 °C o más, evitando así la transformación a productos duros que permitan el enrollado en una condición esencialmente austenítica. Es decir, solo se ha producido una pequeña transformación porcentual después de 10 segundos en la tabla de acabado. Antes del laminado en frío adicional, la banda laminada en caliente se decapa. El laminado en frío se lleva a cabo para obtener un producto de banda de acero que se somete al tratamiento térmico y las etapas de recubrimiento (etapas 2 y adicionales) de acuerdo con la invención. La función de las etapas de laminado en caliente y en frío es proporcionar una homogeneidad adecuada, un refinamiento de la microestructura, una condición superficial y una ventana de dimensiones. Si la fundición por sí sola proporciona estas características deseadas, la laminación en caliente y/o en frío podría excluirse potencialmente.

En la segunda etapa, la banda se calienta a una temperatura T1 (en °C) en el intervalo de (Ac3+20)-(Ac3-30) para formar una microestructura parcial o totalmente austenítica. A continuación, la banda calentada de esta forma se enfría lentamente a una temperatura T2 en el intervalo de 620-680 °C con una velocidad de enfriamiento en el intervalo de 2-4 °C/s y después se enfría rápidamente a una temperatura T3 (en °C) en el intervalo de (Ms-20)-(Ms+100) a una velocidad de enfriamiento en el intervalo de 25-50 °C/s. En la siguiente etapa, la banda se mantiene a una temperatura de enfriamiento sostenida o baja T4 en el intervalo de 420-550 °C durante un periodo de tiempo de 30-200 segundos. Durante esta quinta etapa, la temperatura T4 puede variar debido a pérdidas de radiación, calor latente de la transformación que se produce, o a ambos. Se permite una variación de temperatura de ± 20 °C. Preferentemente T4 está en el intervalo de 440-480 °C. De hecho, si el método de acuerdo con la invención se lleva a cabo usando líneas de producción convencionales, preferentemente el tiempo de mantenimiento isotérmico es como máximo de 80 segundos, lo que permite velocidades lineales comparables y compatibles con los programas normales de producción en vista de la galvanización en caliente, y permitiendo aprovechar al máximo la capacidad de diseño de la instalación de producción. Si $T3 < T4$, esta etapa podría requerir el recalentamiento de T3 a T4. La siguiente etapa es la etapa de recubrimiento en donde la banda tratada en caliente se somete a recubrimiento por inmersión en caliente en un baño de zinc, aplicando así un recubrimiento general a base de zinc a todas las superficies expuestas de la banda. Típicamente, la temperatura del baño, por ejemplo, está en el intervalo de 420-440 °C. Ventajosamente, la temperatura de la banda al entrar en el baño de zinc es como máximo de 30 °C por encima de la temperatura del baño. Después del recubrimiento por inmersión en caliente, la banda recubierta se enfría por debajo de 300 °C a una velocidad de enfriamiento de al menos 5 °C/s. El enfriamiento a la temperatura ambiente puede ser enfriamiento forzado o enfriamiento natural no controlado.

Opcionalmente, se puede realizar un tratamiento de laminado templado con la banda recocida y recubierta con zinc para ajustar las propiedades de tracción y modificar la apariencia y rugosidad superficial dependiendo de los requisitos específicos resultantes del uso previsto.

Se realizaron los experimentos y se probaron las bandas obtenidas. La composición y los datos relacionados con las etapas de tratamiento térmico, así como las propiedades mecánicas se enumeran en la Tabla 1.

Se prepararon fundidos de laboratorio con un peso de carga de 50 kg en un horno de vacío y se fundieron lingotes de 25 kg. Las planchas fundidas se recalentaron y desbastaron, se sometieron a una laminación en caliente con laminación y simulación de bobinado y posteriormente se laminaron en frío hasta un espesor de 1 mm. Para la determinación de las propiedades mecánicas, las muestras de bandas se recocieron usando un simulador de recocido continuo de laboratorio. Para probar las propiedades de galvanización, las muestras se recocieron en un horno y se galvanizaron en caliente en un baño de metal fundido usando un simulador del proceso de inmersión en caliente Rhesca.

Las propiedades de tracción se determinaron usando una máquina de prueba servohidráulica de una manera de acuerdo con ISO 6892.

La prueba de expansión de orificios se llevó a cabo utilizando el método de prueba descrito en ISO 16630 en muestras con orificios perforados, fresado en el costado superior lejos de la perforación cónica.

Se preparó una banda (con dimensiones de 600 mm x 110 mm x 1 mm) como un producto intermedio que contiene los elementos en las cantidades indicadas (% en masa). Luego, la banda se recoció de acuerdo con el siguiente esquema en el simulador de recocido continuo de laboratorio. En primer lugar, la banda intermedia se calentó a una temperatura T1 de manera que se obtuvo una microestructura totalmente austenítica. Después, la banda se enfrió a la temperatura T2 a una velocidad de enfriamiento de 3 °C/s, seguida por enfriamiento adicional a una temperatura T3 a una velocidad de enfriamiento 32 °C/s. A continuación, la banda se mantuvo a una temperatura T4, en este caso igual a T3, durante 53 segundos. Luego, la banda se llevó a una temperatura de 465 °C y se mantuvo a esta temperatura durante 12 segundos para simular la etapa de galvanización en caliente. La banda se enfrió a 300 °C a una velocidad de 6 °C/s. Después de esto, la banda se dejó enfriar adicionalmente a aproximadamente 40 °C a una velocidad de 11 °C/s, finalmente, la banda de acero se retiró.

Para el galvanizado por inmersión en caliente, las muestras con dimensiones de 200 mm x 120 mm X 1 mm se limpiaron usando un paño, seguido por limpieza ultrasónica durante 10 minutos en acetona y, finalmente se limpiaron con un paño

5 con acetona. La muestra limpia se recoció de acuerdo con el ciclo de recocido descrito anteriormente y se galvanizó por inmersión en caliente en un simulador de proceso de inmersión en caliente Rhesca. La banda de acero tratada térmicamente que tenía una temperatura de 470 °C se galvanizó por inmersión en caliente en un baño de zinc que tenía una temperatura de 465 °C. La composición del baño de zinc fue 0,2 % en peso de Al, el resto es zinc. El espesor del recubrimiento fue de aproximadamente 10 micrómetros. El tiempo de inmersión en el baño de zinc fue de 2 a 3 segundos.

La apariencia superficial se evaluó cualitativamente por el número y tamaño de las manchas presentes dentro del tamaño del cordón en el lado principal.

10 La adhesión de zinc se evaluó usando una versión adaptada de la prueba BMW AA-0509. Para cada muestra recubierta en laboratorio, se cubrió una banda de 30 x 200 mm con una línea del pegamento Betamire 1496V. La línea tenía una longitud de línea mínima de 150 mm y una anchura mínima de 10 mm y aproximadamente 5 mm de espesor. El pegamento Betamite se curó después en un horno a 175 ± 3 °C durante un período de 30 minutos. La muestra de prueba con Betamite en la parte superior se plegó a $90 \pm 5^\circ$ usando un aparato plegador HBM UB7. La adhesión del recubrimiento se evaluó visualmente.

15 Se usaron experimentos adicionales con una ruta de laboratorio a pequeña escala usando lingotes de 200-300 g que se aplicaron para generar datos microestructurales adicionales. Estos lingotes de pequeña escala se sometieron igualmente a simulaciones de laminado en caliente y en frío. La Tabla 2 muestra una lista de las aleaciones usadas junto con las temperaturas de transformación claves. La última columna indica si estas aleaciones son inventivas o un ejemplo comparativo.

20 La Tabla 3 muestra, para una serie de aleaciones mencionadas en la Tabla 2, combinaciones de propiedad-proceso para diferentes ejemplos. Para una serie de aleaciones, los parámetros de proceso están tanto dentro como fuera de las características del método de la invención. La Tabla 3 también muestra características del producto, tales como Rp y Rm, que algunas veces están de acuerdo con la invención y otras no. La columna de la derecha muestra nuevamente si una aleación es inventiva en vista del proceso y las características del producto, o es un ejemplo comparativo.

25 En la Tabla 4 se proporciona una serie de ejemplos inventivos de acuerdo con la Tabla 2, para los cuales las variantes del proceso están dentro y fuera de las características del método de las invenciones. Para estos ejemplos, se determina la microestructura. La Tabla 4 muestra claramente que los ejemplos son inventivos cuando los parámetros del proceso están dentro de las variaciones proporcionadas por la invención, como se indica en la columna de la derecha.

30 Los datos microestructurales se obtuvieron usando una banda laminada en frío a partir de diferentes fuentes: muestras totalmente duras para producción a gran escala, materia prima de laboratorio laminada en frío de la ruta de laboratorio de 25 kg y también materia prima laminada en frío derivada de fundiciones en laboratorio a pequeña escala. Las fracciones en volumen de las fases se evaluaron a partir de datos de dilatometría con la regla de la palanca (la ley lineal de mezclas) aplicada a los datos usando las ecuaciones no lineales para la contracción térmica de las redes bcc y fcc derivadas en la Ref. [1]. Para el enfriamiento después de una austenitización total, $T_1 > A_{c3}$, la contracción térmica medida en el intervalo de alta temperatura donde no se presentaron transformaciones se puede describir simplemente por la expresión propuesta en la Ref. [1] para la red fcc. Para el enfriamiento después de la austenitización parcial, $T_1 < A_{c3}$, la contracción térmica medida en el intervalo de alta temperatura se determina por los coeficientes de la expansión térmica (CTE) de los constituyentes de fase individuales de acuerdo con una regla de mezclas. De esta forma, el análisis de los datos de dilatación usando la expresión desarrollada en la Ref. [1] permite la determinación de las fracciones en volumen de la fase bcc y fcc en un intervalo de temperatura determinado proporcionado siempre que no ocurran transformaciones de fase. El inicio de la transformación durante el enfriamiento se identifica por la primera desviación de los datos de dilatometría a partir de la línea definida por la expansión térmica en el intervalo de alta temperatura.

35 Después del análisis de los datos de dilatometría a alta temperatura, se usó el enfoque discutido en la Ref. [2] para determinar la fracción en volumen de la austenita retenida (RA) en las muestras recocidas del dilatómetro. Esta fracción especificó la relación ente la dilatación y la fracción de fase bcc total a temperatura ambiente. Posteriormente, al aplicar la regla de la palanca, la fracción de las fases bcc se podría cuantificar como una función de la temperatura entre T_1 y la temperatura ambiente. Luego, después de determinar la curva de fracciones, las fracciones de la fase bcc formadas en ciertos intervalos de temperatura se podrían asignar a la ferrita, bainita o martensita usando el conocimiento de las temperaturas de inicio de la transformación de la bainita y la martensita. Estas temperaturas de inicio se estimaron usando las fórmulas empíricas propuestas en la Ref. [3].

40 La Tabla 5 muestra para una serie de aleaciones de la Tabla 2 si el acero cumple con los criterios de recubrimiento. Estas láminas están preoxidadas o no, según se indique. El contenido de Mn y Si de la composición se copia de la Tabla 2, así como la proporción de Si/Mn. En columnas separadas se indican los criterios de recubrimiento. La clasificación de humectabilidad es relativa y se obtiene mediante comparación visual con la referencia AHSS comercial. La adhesión se determina de acuerdo con la prueba adaptada de BMW AA-0509. Si una aleación es inventiva o comparativa con respecto a la capacidad de recubrimiento, se indica en una columna separada, y los comentarios sobre por qué este es el caso se presentan en la columna de la derecha.

65

- Ref [1] S.M.C. Van Bohemen, *Scr. Mater.* 69 (2013) 315-318.
Ref. [2] S.M.C. Van Bohemen, *Scr. Mater.* 75 (2014) 22-25.
Ref. [3] S.M.C. van Bohemen, *Mater. Sci. and Technol.* 28 (2012) 487-495.

Tabla 1

Ex.	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Si/Mn	Si/C	Ac3 (calc.; °C)	Ms (calc.; °C)	Bs (calc.; °C)	T1 (°)	T2 (°)	T3 (°)	T4 (°)	Rp/Rm	Rp (MPa)	Rm (MPa)	Ag (%)	Zn apariencia	Zn adherencia
1A	Comp	2.4	0.6	0.26	2.81	820	370	559	785	680	470	470	0.46	476	1038	12		
1B	Comp	2.4	0.6	0.26	2.81	820	370	559	810	680	470	470	0.58	572	988	11.6	buena	buena
2A	Comp	2.25	0.8	0.36	3.65	833	370	566	795	680	470	470	0.44	446	1007	14.1		
2B	Inv	2.25	0.8	0.36	3.65	833	370	566	820	680	470	470	0.59	579	989	12.2	buena	aceptable
3A	Comp	2.08	1	0.48	4.58	845	375	576	805	680	470	470	0.43	433	998	13.8		
3B	Inv	2.08	1	0.48	4.58	845	375	576	830	680	470	470	0.53	527	991	13.5	buena	buena
2C	Comp	2.25	0.8	0.36	3.65	833	370	566	795	650	470	470	0.45	474	1061	13.9		
2D	Inv	2.25	0.8	0.36	3.65	833	370	566	820	650	470	470	0.54	526	978	13.9	na	na
3C	Comp	2.08	1	0.48	4.58	845	375	576	805	650	470	470	0.44	443	1000	14.8		
3D	Inv	2.08	1	0.48	4.58	845	375	576	830	650	470	470	0.57	565	988	13.5	na	na
4A	Comp	0.2	2.41	0.33	4.01	835	377	559	800	680	470	470	0.47	520	1115	11		
4B	Comp	0.2	2.41	0.33	4.01	835	377	559	830	680	470	470	0.52	574	1107	9.8		
4C	Comp	0.2	2.41	0.33	4.01	835	377	559	830	620	470	470	0.5	555	1110	9.3		
5A	Comp	0.18	2.52	0.32	4.55	839	382	554	805	680	470	470	0.52	570	1097	9.9		
5B	Comp	0.18	2.52	0.32	4.55	839	382	554	835	680	470	470	0.52	564	1084	9.7		
5C	Comp	0.18	2.52	0.32	4.55	839	382	554	835	620	470	470	0.51	566	1100	9.8		

Comp = ejemplo comparativo; Inv = de acuerdo con la invención

Tabla 2

Aleación	C % en peso	Mn % en peso	Si % en peso	Al % en peso	V % en peso	Nb % en peso	Ti % en peso	Cr % en peso	Mo % en peso	Si/Mn	Si/C	Mn Equiv. % en peso	Ac3 Calc °C	Ms Calc °C	Bs Calc °C	I/C
1	0,22	2,4	0,60	0,03	-	-	-	-	-	0,26	2,81	2,4	820	370	559	C
2	0,22	2,3	0,80	0,03	-	-	-	-	-	0,35	3,65	2,3	833	370	566	I
3	0,22	2,1	1,00	0,03	-	-	-	-	-	0,48	4,58	2,3	845	375	576	
4	0,22	1,8	0,87	0,03	-	-	-	-	-	0,48	3,95	1,8	847	384	596	I
5	0,19	2,1	1,04	0,03	-	-	-	-	-	0,50	5,50	2,1	861	392	589	I
6	0,18	1,9	1,20	0,03	-	-	-	-	-	0,63	6,86	1,9	874	397	590	C
7	0,24	2,0	1,00	0,03	-	-	-	-	-	0,49	4,26	2,0	844	370	569	I
8	0,22	2,1	0,88	0,03	0,07	-	-	-	-	0,42	4,09	2,1	841	374	569	I
9	0,22	2,1	0,99	0,03	-	-	-	-	-	0,47	4,50	2,1	840	375	576	I
10	0,20	1,7	1,53	0,03	-	-	-	-	-	0,93	7,65	1,5	892	390	610	C
11	0,20	1,5	1,44	0,03	-	-	-	-	-	0,95	7,27	1,5	890	396	615	C
12	0,2	1,5	1,40	0,03	-	-	-	-	0,30	0,93	7,00	1,5	896	392	592	C
13	0,2	1,5	1,40	0,03	-	-	-	-	-	0,93	7,00	1,5	890	396	615	C
14	0,22	2,1	1,01	0,03	-	-	-	-	-	0,48	4,68	2,1	845	375	576	I
15	0,21	2,1	0,95	0,03	-	-	-	-	-	0,45	4,46	2,1	845	375	576	I
16	0,22	2,1	1,01	0,28	-	-	-	1,07	-	0,48	4,59	2,1	859	362	495	C
17	0,22	2,1	1,00	0,55	-	-	-	1,07	-	0,48	4,55	2,1	885	363	497	C
18	0,23	2,1	1,01	0,55	-	-	-	0	-	0,49	4,39	2,1	898	370	568	C
19	0,23	2,1	1,00	0,55	-	-	-	0,5	-	0,49	4,35	2,1	895	365	535	C
20	0,22	2,0	0,00	0	-	-	-	1,04	-	0,00	0,00	2,0	785	378	530	C
21	0,22	2,0	1,02	0	-	-	-	1,07	-	0,50	4,64	2,0	834	364	501	C
22	0,25	2,1	1,49	0,03	-	-	-	-	-	0,73	5,96	2,1	866	354	552	C
23	0,26	2,1	1,51	0,03	0,2	-	-	-	-	0,72	5,81	2,1	863	348	545	C
24	0,22	1,90	0,90	0,02	-	-	-	0,1	-	0,47	4,09	1,9	848	379	580	I

(continuación)

Aleación	C % en peso	Mn % en peso	Si % en peso	Al % en peso	V % en peso	Nb % en peso	Ti % en peso	Cr % en peso	Mo % en peso	Si/Mn	S/C	Mn Equiv. % en peso	Ac3 Calc °C	Ms Calc °C	Bs Calc °C	I/C
25	0,21	1,85	0,85	0,02	-	-	-	0,3	-	0,46	4,05	1,9	847	384	574	I
26	0,20	1,85	0,85	0,02	-	-	-	-	0,1	0,46	4,25	1,9	856	391	590	I
27	0,20	1,85	0,85	0,02	-	-	-	-	0,2	0,46	4,25	1,9	855	390	582	I
28	0,20	1,85	0,85	0,02	-	-	-	0,15	0,1	0,46	4,25	1,9	854	389	580	I
29	0,29	2,39	1,76	-	-	-	-	-	-	0,74	6,07	2,4	858	323	507	C

C = ejemplo comparativo; I = de acuerdo con la invención

Tabla 3

Aleación	Ejemplo	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	Laminador de temple (%)	Rp MPa	Rm MPa	Ag MPa	Rp Laminado y revenido (MPa)	Rm Laminado y revenido (MPa)	Ag Laminado y revenido (MPa)	I/C
1	A	785	680	470	470	0	476	1038	12,0				C
	B	810	680	470	470	0	572	988	11,6				C
2	A	795	680	470	470	0	446	1007	14,1				C
	B	820	680	470	470	0	579	989	12,2				I
	C	795	650	470	470	0	474	1061	13,9				C
	D	820	650	470	470	0	526	978	13,9				I
3	A	805	680	470	470	0	433	998	13,8				
	B	830	680	470	470	0	527	991	13,5				I
	C	805	650	470	470	0	443	1000	14,8				C
	D	830	650	470	470	0	565	988	13,5				I
4	A	850	680	470	470	0	576	962	12,6	-	-	-	I
	B	790	680	470	470	0	407	951	17,5	-	-	-	C
	C	810	680	470	470	0	437	954	14,2	-	-	-	C
	D	810	680	440	470	0	420	945	17,4	-	-	-	C
5	A	795	680	470	470	0	420	982	13,5	-	-	-	C
	B	815	680	470	470	0	399	971	15,4	-	-	-	C
	C	815	680	440	470	0	416	960	15,9	-	-	-	C
	D	855	680	470	470	0	506	966	13,3	-	-	-	I
6	E	855	680	440	470	0	551	982	12,3	-	-	-	I
	A	800	680	470	470	0	392	980	15,8	-	-	-	C
	B	820	680	470	470	0	429	1033	13,3	-	-	-	C
	C	860	680	470	470	0	565	1049	13,1	-	-	-	C

(continuación)

Aleación	Ejemplo	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	Laminador de temple (%)	Rp MPa	Rm MPa	Ag MPa	Rp Laminado y revenido (MPa)	Rm Laminado y revenido (MPa)	Ag Laminado y revenido (MPa)	I/C
7	A	835	680	470	420	0	530	997	14,6	-	-	-	I
	C	795	680	470	470	0	424	1047	14,3	-	-	-	C
	C	810	680	350	350	0	633	1091	10,9	-	-	-	C
8	A	860	640	470	470	0	515	1038	13,6	-	-	-	I
	B	835	670	470	470	0	511	1040	13,7	-	-	-	I
	C	835	610	470	470	0	481	1068	13,1	-	-	-	C
9	A	810	680	470	470	0,3	414	983	14,6	519,0	998,0	13,5	I
	A	790	720	350	420	0	383	887	17,1	-	-	-	C
10	B	820	720	350	420	0	401	889	20,0	-	-	-	C
	C	850	720	350	420	0	386	866	19,4	-	-	-	C
	D	850	720	300	420	0	424	845	21,8	-	-	-	C
11	E	850	720	400	420	0	415	855	20,5	-	-	-	C
	C	820	720	350	420	0	379	776	21,1	-	-	-	C
	D	850	720	350	420	0	352	776	20,7	-	-	-	C
12	E	850	720	400	420	0	370	763	23,1	-	-	-	C
	A	830	730	470	470	0	460	998	11	-	-	-	C
13	B	880	730	470	470	0	502	998	10	-	-	-	C
	A	830	730	470	470	0	390	772	22	-	-	-	C
	B	880	730	470	470	0	367	749	10	-	-	-	C

(continuación)

Aleación	Ejemplo	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	Laminador de temple (%)	Rp MPa	Rm MPa	Ag MPa	Ag Laminado y revenido (MPa)	Rp Laminado y revenido (MPa)	Rm Laminado y revenido (MPa)	Ag Laminado y revenido (MPa)	I/C	
14	A	840	680	455	470	0	576	1021	13,4	-	-	-	-	I	
	B	835	660	425	470	0	521	1040	13,2	-	-	-	-	I	
	C	840	700	440	470	0	637	1004	11,3	-	-	-	-	C	
	D	785	680	470	470	0	400	1033	13,7	-	-	-	-	C	
	E	805	680	470	470	0	431	1068	14,5	-	-	-	-	C	
	F	845	680	470	470	0	571	988	12,5	-	-	-	-	I	
	G	805	680	440	470	0	421	998	15,7	-	-	-	-	C	
	H	825	680	440	470	0	522	993	14,7	-	-	-	-	I	
	I	845	680	440	470	0	578	994	14,4	-	-	-	-	I	
	J	805	680	470	470	0	443	1054	11,7	-	-	-	-	C	
	K	845	680	470	470	0	518	1010	12,6	-	-	-	-	C	
	15	A	845	680	440	470	0	623	993	12,3	-	-	-	-	I
		B	800	680	440	470	0	446	986	14,6	-	-	-	-	C
C		800	680	440	470	0	436	987	14,4	-	-	-	-	C	
D		845	680	460	470	0	542	971	14,4	-	-	-	-	I	
E		845	680	420	470	0	598	988	13,0	-	-	-	-	I	
F		845	680	440	470	0	552	962	13,2	-	-	-	-	I	
G		845	700	440	470	0	605	956	12,2	-	-	-	-	C	
H		845	700	400	470	0	742	1026	9,3	-	-	-	-	C	
I		845	700	425	470	0	669	978	10,7	-	-	-	-	C	
J		845	700	450	470	0	619	964	11,7	-	-	-	-	C	
K		855	700	270	470	0	956	1091	7,7	-	-	-	-	C	
L		855	700	320	470	0	939	1079	7,8	-	-	-	-	C	
M		850	750	280	280	0	897	1384	5,6	-	-	-	-	C	

(continuación)

Aleación	Ejemplo	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	Laminador de temple (%)	Rp MPa	Rm MPa	Ag MPa	Rp Laminado y revenido (MPa)	Rm Laminado y revenido (MPa)	Ag Laminado y revenido (MPa)	IC
	N	850	750	370	370	0	965	1184	4,3	-	-	-	C
	O	850	750	410	410	0	834	1011	7,1	-	-	-	C
	P	800	750	390	390	0	498	902	15,3	-	-	-	C
	Q	853	670	430	455	0,2	-	-	-	594	982	12,8	I
	R	841	678	427	455	0,2	-	-	-	581	996	12,3	I
16	A	840	680	470	470	0	889	1512	6	-	-	-	C
	B	810	680	470	470	0	665	1414	7	-	-	-	C
	C	810	680	420	420	0	867	1538	7	-	-	-	C
17	A	830	680	470	470	0	842	1502	7	-	-	-	C
	B	860	680	470	470	0	837	1494	7	-	-	-	C
	C	830	680	420	420	0	740	1454	8	-	-	-	C
18	A	830	680	470	470	0	387	1000	14	-	-	-	C
	B	830	680	420	420	0	397	941	19	-	-	-	C
	C	860	680	470	470	0	407	1003	14	-	-	-	C
19	A	830	680	470	470	0	618	1330	9	-	-	-	C
	B	860	680	470	470	0	615	1311	8	-	-	-	C
	C	830	680	420	420	0	554	1240	11	-	-	-	C
20	A	730	680	470	470	0	520	946	4	-	-	-	C
	B	760	680	470	470	0	729	1378	7	-	-	-	C
	C	730	680	420	420	0	458	820	7	-	-	-	C
21	A	760	680	470	470	0	502	1053	6	-	-	-	C
	B	790	680	470	470	0	792	1479	7	-	-	-	C
	C	760	680	420	420	0	507	1042	6	-	-	-	C

(continuación)

Aleación	Ejemplo	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	Laminador de temple (%)	Rp MPa	Rm MPa	Ag MPa	Rp Laminado y revenido (MPa)	Rm Laminado y revenido (MPa)	Ag Laminado y revenido (MPa)	I/C
22	A	845	600	400	420	0	543	1197	12	-	-	-	C
	B	845	600	470	470	0	508	1160	12	-	-	-	C
	C	845	680	470	470	0	512	1135	13	-	-	-	C
23	A	845	600	400	420	0	562	1278	12	-	-	-	C
	B	845	600	470	470	0	619	1335	9	-	-	-	C
	C	845	680	470	470	0	638	1350	10	-	-	-	C
C = ejemplo comparativo, I = de acuerdo con la invención													

Tabla 4

Aleación	Ejemplo	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	Ferrita intercrítica (%)	Ferrita retransformada (%)	Bainita (%)	Austenita (%)	Martensita (%)	I/C
3	A	855	680	450	450	0	12	69	11	8	I
	B	835	680	450	450	0	25	55	12	8	I
	C	785	680	450	450	30	31	19	15	5	C
	D	845	750	450	450	0	7	74	12	7	C
	E	845	680	370	370	0	15	73	6	6	C
24	A	855	680	450	450	0	37	46	10	7	I
	B	785	680	450	450	36	41	9	9	5	C
	C	845	680	370	370	0	40	47	8	5	C
	A	855	680	450	450	0	16	69	7	8	I
	B	835	680	450	450	0	21	63	8	8	I
25	C	785	680	450	450	41	22	14	6	17	C
	D	845	750	450	450	0	5	80	9	6	C
	E	845	680	370	370	0	14	74	5	7	C
	A	855	680	450	450	0	21	61	10	8	I
	B	835	680	450	450	0	30	51	12	7	I
26	C	785	680	450	450	39	25	18	12	6	C
	D	845	750	450	450	0	13	73	9	5	C
	E	845	680	370	370	0	21	66	7	6	C
	A	855	680	450	450	0	14	66	11	9	I
	B	835	680	450	450	0	20	61	12	7	I
27	C	785	680	450	450	44	19	17	4	16	C
	D	845	750	450	450	0	9	79	8	4	C
	E	845	680	370	370	0	13	74	8	5	C

(continuación)

Aleación	Ejemplo	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	Ferrita intercrítica (%)	Ferrita retransformada (%)	Bainita (%)	Austenita (%)	Martensita (%)	I/C
28	A	855	680	450	450	0	14	69	10	7	I
	B	835	680	450	450	0	24	58	9	9	I
	C	785	680	450	450	41	28	16	7	8	C
	D	845	750	450	450	0	10	75	9	6	C
	E	845	680	370	370	0	18	73	5	4	C
C = ejemplo comparativo, I = de acuerdo con la invención											

Tabla 5

Aleación	Preox	Mn % en peso	Si % en peso	Si/Mn	Observaciones de recubrimiento		I/C	Comentario
					Humectación	Adhesión		
1	No	2,4	0,6	0,26	ok	ok	C	Cumple los criterios de recubrimiento. Comparativo porque falla en las propiedades
	Sí				ok	ok	C	
2	No	2,3	0,8	0,35	ok	ok	I	Ejemplo totalmente inventivo: cumple los criterios de recubrimiento con o sin preoxidación
	Sí				ok	ok	I	
3	No	2,1	1,0	0,48	ok	ok	I	Ejemplo totalmente inventivo: cumple los criterios de recubrimiento con o sin preoxidación
	Sí				ok	ok	I	
10	No	1,7	1,5	0,93	Pobre	-	C	Excede el contenido permisible de Si y la relación Si/Mn
12	No	1,5	1,4	0,93	Pobre	-	C	
13	No	1,5	1,4	0,93	Pobre	-	C	
29	No	2,39	1,8	0,74	Muy pobre	pobre	C	Excede el contenido permisible de Si y la relación Si/Mn. La preoxidación ayuda a la capacidad de humectabilidad pero no a la adhesión.
	Sí				ok	pobre	C	
C = ejemplo comparativo, I = de acuerdo con la invención								

Reivindicaciones

1. Una banda de acero que tiene un recubrimiento a base de zinc por inmersión en caliente, la banda de acero tiene la siguiente composición, en % en peso:

C:	0,17 - 0,24
Mn:	1,8 - 2,5
Si:	0,65 - 1,25
Al:	≤ 0,3

opcionalmente:

Nb: ≤ 0,1 y/o V: ≤ 0,3 y/o Ti: ≤ 0,15 y/o Cr: ≤ 0,5 y/o Mo: ≤ 0,3,

el resto es hierro e impurezas inevitables,

con una relación Si/Mn ≤ 0.5 y una relación Si/C ≥ 3.0,

con un ME equivalente de Mn de como máximo 3.5, en donde ME = Mn + Cr + 2 Mo (en % en peso) que tiene una microestructura con (en % en vol.):

ferrita:	0 - 40
bainita:	20 - 70
martensita:	7 - 30
austenita retenida:	5 - 20
perlita:	≤ 2
cementita:	≤ 1

con una resistencia a la tracción en el intervalo de 960-1100 MPa, un límite elástico de al menos 500 MPa, y un alargamiento uniforme de al menos 12 %.

2. Banda de acero de acuerdo con la reivindicación 1, en donde C: 0,18-0,22, preferentemente 0,20-0,22.
3. Banda de acero de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde Si: 0,8 - 1.2.
4. Banda de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la proporción de Si/C ≥ 4,0.
5. Banda de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el recubrimiento a base de zinc es un recubrimiento galvanizado o galvanizado y recocido.
6. Banda de acero de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, en donde el recubrimiento a base de zinc es un recubrimiento que contiene 0,5 – 3,8 % en peso de Al, 0,5 – 3,0 % en peso de Mg, opcionalmente como máximo 0,2 % de uno o más elementos adicionales seleccionados del grupo de Pb, Sb, Ti, Ca, Mn, Sn, La, Ce, Cr, Ni, Zr y Bi, el resto es zinc e impurezas inevitables.
7. Banda 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. Método para producir una banda de acero recubierta con zinc por inmersión en caliente de alta resistencia de manera continua, que comprende las siguientes etapas:
1) proporcionar una banda de acero con la siguiente composición en % en peso:

C:	0,17 - 0,24
Mn:	1,8 - 2,5
Si:	0,65 - 1,25
Al:	≤ 0,3

opcionalmente:

Nb: $\leq 0,1$ y/o V: $\leq 0,3$ y/o Ti: $\leq 0,15$ y/o Cr: $\leq 0,5$ y/o Mo: $\leq 0,3$

el resto es hierro e impurezas inevitables,

con una relación Si/Mn $\leq 0,5$ y una relación Si/C $\geq 3,0$,

5 con un ME equivalente de Mn de como máximo 3,5, en donde ME = Mn + Cr + 2 Mo (en % en peso);

2) calentar la banda a una temperatura T1 (en °C) en el intervalo de (Ac3+20)-(Ac3-30) para formar una microestructura total o parcialmente austenítica:

3) enfriar lentamente la banda con una velocidad de enfriamiento en el intervalo de 2 a 4 °C/s a una temperatura T2 en el intervalo de 620-680 °C;

10 4) enfriar rápidamente la banda con una velocidad de enfriamiento en el intervalo de 25 a 50 °C/s a una temperatura T3 (en °C) en el intervalo de (Ms-20)-(Ms+100);

5) mantener la banda a una temperatura de enfriamiento sostenida o baja T4 en el intervalo de 420-550 °C durante un periodo de tiempo de 30-200 segundos;

15 6) recubrir por inmersión en caliente la banda de acero en un baño de zinc para proporcionar a la banda un recubrimiento a base de zinc;

7) enfriar la banda de acero recubierta a una velocidad de enfriamiento de al menos 5 °C/s a una temperatura inferior a 300 °C.

20 9. Método de acuerdo con la reivindicación 8, en donde la temperatura de enfriamiento sostenida o baja T4 está en el intervalo de 440 - 480 °C.

10. Método de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, en donde en la etapa 5) la variación de temperatura es ± 20 °C.

25 11. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 - 10 anteriores, en donde en la etapa 5) el periodo de tiempo t está en el intervalo de 30-80 segundos.

12. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 - 11 anteriores, en donde en la etapa 6) la temperatura de la banda de acero a la entrada en el baño de zinc es como máximo de 30 °C por encima de la temperatura del baño.

30 13. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 - 12, en donde el baño de zinc contiene 0,10-0,35 % en peso de Al, el resto es zinc e impurezas inevitables.

35 14. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 - 12, en donde el baño de zinc contiene, en % en peso, 0,5-3,8 de Al, 0,5-3,0 de Mg, el resto es zinc e impurezas inevitables.