

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 894 929**

51 Int. Cl.:

C21D 9/573 (2006.01)

C21D 11/00 (2006.01)

B21B 37/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.12.2017 PCT/IB2017/058187**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **28.06.2018 WO18116192**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2017 E 17826578 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.09.2021 EP 3559285**

54 Título: **Un procedimiento de ajuste dinámico para la fabricación de una lámina de acero tratada térmicamente**

30 Prioridad:

20.12.2016 WO PCT/IB2016/001788

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.02.2022

73 Titular/es:

**ARCELORMITTAL (100.0%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:

**BONNET, FRÉDÉRIC y
PHAM, VAN THANG**

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 894 929 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

Un procedimiento de ajuste dinámico para la fabricación de una lámina de acero tratada térmicamente

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento de ajuste dinámico para la fabricación de una lámina de acero tratada térmicamente que tiene una composición química de acero y una microestructura m_{objetivo} que comprende del 0 al 100 % de al menos una fase elegida entre: ferrita, martensita, bainita, perlita, cementita y austenita, en una línea de tratamiento térmico.
- 10 **[0002]** Es conocido el uso de láminas de acero recubiertas o desnudas para la fabricación de vehículos automotores. Una multitud de grados de acero se utilizan para fabricar un vehículo. La elección del grado de acero depende de la aplicación final de la pieza de acero. Por ejemplo, se pueden producir aceros IF (libres de intersticio) para una pieza expuesta, se pueden producir aceros TRIP (plasticidad inducida por transformación) para travesaños de asiento y piso o pilares A y se pueden producir aceros DP (fase dual) para rieles traseros o travesaño del techo.
- 15 **[0003]** Durante la producción de estos aceros, se realizan tratamientos cruciales en el acero para obtener la pieza deseada que tiene propiedades mecánicas exceptuadas para una aplicación específica. Dichos tratamientos pueden ser, por ejemplo, un recocido continuo antes de la deposición de un recubrimiento metálico o un tratamiento de templado y partición. En estos tratamientos, la etapa de enfriamiento es importante porque la microestructura y las propiedades mecánicas de los aceros dependen principalmente del tratamiento de enfriamiento realizado. Por lo general, el tratamiento que incluye la etapa de enfriamiento a realizar se selecciona en una lista de tratamientos conocidos, eligiéndose este tratamiento dependiendo del grado de acero.
- 20 **[0004]** Sin embargo, durante estos tratamientos, algunas desviaciones no planificadas pueden aparecer en línea. Por ejemplo, una temperatura en el horno, el espesor de la lámina de acero, la velocidad de la línea puede variar.
- [0005]** La solicitud de patente US4440583 se refiere a un procedimiento de enfriamiento controlado para el fleje de acero implementado mediante el uso de un aparato de enfriamiento que comprende una pluralidad de boquillas dispuestas en la dirección en la que se desplaza el fleje, pulverizando las boquillas refrigerante contra el fleje de funcionamiento en caliente y una válvula de control de caudal unida a la tubería que suministra el refrigerante a las boquillas. Mediante el uso de una ecuación que contiene el espesor del fleje, las temperaturas de inicio y finalización del enfriamiento, y la velocidad de enfriamiento deseada, se calcula la velocidad de transferencia de calor necesaria para obtener la velocidad de enfriamiento deseada, y la velocidad de transferencia de calor obtenida se corrige según el efecto del enfriamiento natural en las zonas de paso inactivo que preceden y siguen a la zona de pulverización de refrigerante. A continuación, el caudal del refrigerante se deriva, y se establece, a partir de su relación preestablecida con la velocidad de transferencia de calor. La longitud de la zona de pulverización de refrigerante a lo largo de la trayectoria de desplazamiento del fleje se calcula utilizando la velocidad de funcionamiento del fleje, las temperaturas de inicio y finalización del enfriamiento y la velocidad de enfriamiento deseada. Las boquillas están configuradas para encenderse y apagarse de modo que el refrigerante se pulverice solo desde un número de boquillas que corresponda al valor calculado. Cuando el espesor del fleje varía mientras se realiza el enfriamiento controlado, la velocidad de transferencia de calor se recalcula, en función de los ajustes anteriores, para corregir el caudal del refrigerante en consecuencia. Cuando la velocidad del fleje varía, la longitud de la región de pulverización de refrigerante se vuelve a calcular para corregir el patrón de encendido y apagado de las boquillas.
- 30 **[0006]** En este procedimiento, cuando aparece una desviación, la velocidad de transferencia de calor o la longitud de la región de pulverización de refrigerante se recalcula para corregir la desviación. Este procedimiento no tiene en cuenta las características de la lámina de acero que comprenden composición química, microestructura, propiedades, textura de la superficie, etc. Por lo tanto, existe el riesgo de que se aplique la misma corrección a cualquier tipo de lámina de acero, incluso si cada lámina de acero tiene sus propias características. El procedimiento permite un tratamiento de enfriamiento no personalizado de una multitud de grados de acero.
- 35 **[0007]** En consecuencia, la corrección no se adapta a un acero específico y, por lo tanto, al final del tratamiento, no se obtienen las propiedades deseadas. Además, después del tratamiento, el acero puede tener una gran dispersión de las propiedades mecánicas. Finalmente, incluso si se puede fabricar una amplia gama de grados de acero, la calidad del acero tratado es pobre.
- 40 **[0008]** El documento US4440583 describe un procedimiento de enfriamiento controlado para un fleje de acero a altas temperaturas.
- 45 **[0009]** El documento EP0453566 describe un procedimiento de control de enfriamiento de material de acero, más particularmente utilizado para controlar con precisión el enfriamiento de un acero laminado en caliente a una temperatura objetivo predeterminada.
- 50 **[0010]** El documento US5891275 describe un modelo físico metálico que realiza un cálculo de configuración
- 55
- 60
- 65

para determinar la cantidad de agua requerida y la distribución de agua en una línea de enfriamiento y la curva de entrada de referencia dinámica que se utilizará para determinar cuánto cambiar los parámetros de enfriamiento cuando se produce una desviación en la temperatura final de laminado o la velocidad de procesamiento.

5 **[0011]** Por lo tanto, el objetivo de la invención es resolver los inconvenientes anteriores proporcionando un procedimiento de ajuste dinámico para fabricar una lámina de acero tratada térmicamente que tiene una composición de acero química específica y una microestructura m_{objetivo} específica a alcanzar en una línea de tratamiento térmico. En particular, el objetivo es ajustar un tratamiento de enfriamiento en línea proporcionando un tratamiento adaptado a cada lámina de acero, calculándose dicho tratamiento con mucha precisión en el menor tiempo de cálculo posible con el fin de proporcionar una lámina de acero que tenga las propiedades exceptuadas, teniendo dichas propiedades la mínima dispersión de propiedades posible.

10 **[0012]** Este objetivo se logra proporcionando un procedimiento según la reivindicación 1. El procedimiento también puede comprender las características de las reivindicaciones 2 a 37.

15 **[0013]** Otras características y ventajas de la invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de la invención.

[0014] Para ilustrar la invención, se describirán diversas realizaciones y ensayos de ejemplos no limitantes, en particular, con referencia a las siguientes Figuras:

20 La Figura 1 ilustra un ejemplo según la presente invención.
 La Figura 2 ilustra un recocido continuo de una lámina de acero que comprende una etapa de calentamiento, una etapa de inmersión, una etapa de enfriamiento y una etapa de sobreenviejamiento.
 La Figura 3 ilustra una realización preferida según la presente invención.
 25 La Figura 4 ilustra un ejemplo según la invención en el que se realiza un recocido continuo en una lámina de acero antes de la deposición de un recubrimiento por inmersión en caliente.

[0015] Se definirán los siguientes términos:

- 30 - CC: composición química en porcentaje en porcentaje en peso,
 - m_{objetivo} : valor objetivo de la microestructura,
 - $m_{\text{estándar}}$: la microestructura del producto seleccionado,
 - P_{objetivo} : valor objetivo de una propiedad mecánica,
 - m_i : microestructura inicial de la lámina de acero,
 35 - X: fracción de fase en porcentaje en peso,
 - T: temperatura en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$),
 - t: tiempo (s),
 - s: segundos,
 - UTS: resistencia máxima a la tracción (MPa)
 40 - YS: límite elástico (MPa)
 - recubrimiento metálico a base de zinc significa un recubrimiento metálico que comprende más del 50 % de zinc,
 - recubrimiento metálico a base de aluminio significa un recubrimiento metálico que comprende más del 50 % de aluminio y
 - TT: tratamiento térmico y
 45 - la trayectoria térmica, TT, TP_{objetivo} y TP_x comprende un tiempo, una temperatura del tratamiento térmico y al menos una velocidad elegida de: un enfriamiento, una isoterma o una velocidad de calentamiento,
 - una trayectoria de calentamiento comprende un tiempo, una temperatura y una velocidad de calentamiento,
 - una trayectoria de inmersión comprende un tiempo, una temperatura y una velocidad de inmersión,
 - CP_x y $CP_{x\text{int}}$ comprenden un tiempo, una temperatura y una velocidad de enfriamiento y
 50 - nanofluidos: fluido que comprende nanopartículas.

[0016] La designación «acero» o «lámina de acero» significa una lámina de acero, una bobina, una placa que tiene una composición que permite que la pieza alcance una resistencia a la tracción de hasta 2500 MPa y más preferentemente hasta 2000 MPa. Por ejemplo, la resistencia a la tracción es superior o igual a 500 MPa, preferentemente superior o igual a 1000 MPa, ventajosamente superior o igual a 1500 MPa. Se incluye un amplio intervalo de composición química, ya que el procedimiento según la invención se puede aplicar a cualquier tipo de acero.

[0017] La invención se refiere a un procedimiento de ajuste dinámico para la fabricación de una lámina de acero tratada térmicamente que tiene una composición química de acero y una microestructura m_{objetivo} que comprende del 0 al 100 % de al menos una fase elegida entre: ferrita, martensita, bainita, perlita, cementita y austenita, en una línea de tratamiento térmico que comprende una sección de calentamiento, una sección de inmersión y una sección de enfriamiento que incluye un sistema de enfriamiento, en el que se realiza un tratamiento térmico predefinido TT, que comprende al menos un calentamiento, una inmersión y una etapa de enfriamiento, comprendiendo dicho
 65 procedimiento:

A. una etapa de control en el que al menos un detector detecta cualquier desviación que se produzca durante el TT,

5 B. una etapa de cálculo realizada cuando se detecta una desviación durante el TT de modo que se determine una nueva trayectoria térmica TP_{objetivo} para alcanzar el m_{objetivo} teniendo en cuenta la desviación, comprendiendo dicha etapa de cálculo:

10 1) una subetapa de cálculo en el que, a través de la variación de la potencia de enfriamiento, se calculan nuevas trayectorias de enfriamiento CP_x en función de TT, la microestructura inicial m_i de la lámina de acero para alcanzar el m_{objetivo} , la trayectoria de calentamiento, la trayectoria de inmersión que comprende $T_{\text{inmersión}}$ y $T_{\text{enfriamiento}}$, la etapa de enfriamiento de TT que se recalcula usando dicha CP_x para obtener nuevas trayectorias térmicas TP_x , reemplazándose la etapa de enfriamiento por una CP_x para obtener una trayectoria térmica TP_x , correspondiendo cada TP_x a una microestructura m_x ,

15 2) una etapa de selección en el que se selecciona una TP_{objetivo} para alcanzar el m_{objetivo} , eligiéndose la TP_{objetivo} entre las trayectorias térmicas TP_x calculadas y que se selecciona de modo que m_x sea el más cercano a m_{objetivo} y

C. una nueva etapa de tratamiento térmico en el que la TP_{objetivo} se realiza en línea en la lámina de acero.

20 **[0018]** Sin querer limitarse a ninguna teoría, parece que cuando se aplica el procedimiento según la presente invención, es posible corregir cualquier desviación que se produzca durante un tratamiento térmico proporcionando un tratamiento térmico personalizado que comprende una trayectoria de enfriamiento personalizada que depende de cada lámina de acero. Por lo tanto, una nueva trayectoria térmica precisa TP_{objetivo} se calcula en un corto tiempo de cálculo teniendo en cuenta m_{objetivo} en particular la proporción de todas las fases durante la trayectoria de enfriamiento, m_i (incluida la dispersión de la microestructura a lo largo de la lámina de acero) y la desviación. De hecho, el procedimiento según la presente invención tiene en cuenta para el cálculo las fases termodinámicamente estables, es decir, ferrita, austenita, cementita y perlita, y las fases termodinámicas metaestables, es decir, bainita y martensita. Por lo tanto, se obtiene una lámina de acero que tiene las propiedades esperadas con la mínima dispersión de propiedades posible.

30 **[0019]** Preferentemente, las microestructuras m_x , m_{objetivo} y m_i fases están definidas por al menos un elemento elegido de entre: el tamaño, la forma y la composición química.

[0020] Preferentemente, TT comprende además una etapa de precalentamiento. Más preferentemente, TT comprende además una etapa de recubrimiento por inmersión en caliente, una etapa de sobreenviejecimiento o una etapa de partición.

[0021] Preferentemente, la microestructura m_{objetivo} a alcanzar comprende:

- 100 % de austenita,
- 40 - del 5 al 95 % de martensita, del 4 al 65 % de bainita, siendo el resto ferrita,
- del 8 al 30 % de austenita residual, del 0,6 % al 1,5 % de carbono en solución sólida, siendo el resto ferrita, martensita, bainita, perlita y/o cementita,
- del 1 % al 30 % de ferrita y del 1 % al 30 % de bainita, de entre 5 y 25 % de austenita, siendo el resto martensita, -
- 45 - del 5 al 20 % de austenita residual, siendo el resto martensita,
- ferrita y austenita residual,
- fases residuales de austenita e intermetálicas,
- del 80 al 100 % de martensita y del 0 al 20 % de austenita residual
- 100 % martensita,
- del 5 al 100 % de perlita y del 0 al 95 % de ferrita y
- 50 - al menos el 75 % de ferrita equiaxada, del 5 al 20 % de martensita y bainita en una cantidad inferior o igual al 10 %.

[0022] Ventajosamente, las láminas de acero pueden ser de cualquier tipo de grado de acero que incluye DP de fase dual, plasticidad inducida por transformación (TRIP), acero templado y dividido (Q&P), plasticidad inducida por maclado (TWIP), bainita libre de carburo (CFB), acero endurecido por presión (PHS), TRIPLEX, DÚPLEX y alta ductilidad de fase dual (DP HD).

[0023] La composición química depende de cada lámina de acero. Por ejemplo, la composición química de un acero DP puede comprender:

- 60 $0,05 < C < 0,3 \%$,
- $0,5 \leq Mn < 3,0 \%$,
- $S \leq 0,008 \%$,
- $P \leq 0,080 \%$,
- $N \leq 0,1 \%$,
- 65 $Si \leq 1,0 \%$,

constituyendo el resto de la composición hierro e impurezas inevitables resultantes del desarrollo.

5 **[0024]** La Figura 1 ilustra un ejemplo según la invención en el que se realiza un TT en una lámina de acero en una línea de tratamiento térmico, teniendo dicha lámina de acero una composición química CC y un m_{objetivo} a alcanzar.

10 **[0025]** Según la presente invención en la etapa A), se detecta cualquier desviación que se produzca durante el tratamiento térmico. Preferentemente, la desviación se debe a una variación de un parámetro de procedimiento elegido entre: una temperatura de horno, una temperatura de lámina de acero, una cantidad de gas, una composición de gas, una temperatura de gas, una velocidad de línea, una falla en la línea de tratamiento térmico, una variación del baño por inmersión en caliente, una emisividad de lámina de acero y una variación del espesor del acero.

15 **[0026]** La temperatura del horno puede ser una temperatura de calentamiento, una temperatura de inmersión, una temperatura de enfriamiento, una temperatura de sobreenviejamiento.

[0027] La temperatura de lámina de acero se puede medir en cualquier momento del tratamiento térmico en diferentes posiciones de la línea de tratamiento térmico, por ejemplo:

- 20 - en una sección de calentamiento que es preferentemente un horno de llama directa (DFF), un horno de tubo radiante (RTF), un horno de resistencia eléctrica o un horno de inducción,
- en la sección de enfriamiento, en particular, en chorros de enfriamiento, en un sistema de apagado o en una boquilla, y
- en la sección isotérmica, que es preferentemente un horno de resistencia eléctrica.

25 **[0028]** Para detectar una variación de temperatura, el detector puede ser un pirómetro o un escáner.

[0029] Por lo general, los tratamientos térmicos se pueden realizar en una atmósfera oxidante, es decir, una atmósfera que comprende un gas oxidante que es, por ejemplo: O_2 , CO_2 o CO . También se pueden realizar en una atmósfera neutra, es decir, una atmósfera que comprende un gas neutro que es, por ejemplo: N_2 , Ar , He o Xe .
30 Finalmente, también se pueden realizar en una atmósfera reductora, es decir, una atmósfera que comprende un gas reductor que es, por ejemplo: H_2 o HN_x .

[0030] La variación de la cantidad de gas se puede detectar por barómetro.

35 **[0031]** La velocidad de la línea puede detectarse mediante un detector láser.

[0032] Por ejemplo, una falla en la línea de tratamiento térmico puede ser:

- 40 - en un horno de llama directa: un quemador que ya no funciona,
- en un horno de tubo radiante: un tubo radiante que ya no funciona,
- en un horno eléctrico: una resistencia que ya no funciona o
- en una sección de enfriamiento: uno o varios chorros de enfriamiento que ya no funcionan.

En tales casos, el detector puede ser un pirómetro, un barómetro, un consumo eléctrico o una cámara.

45 **[0033]** La variación del espesor del acero se puede detectar mediante un láser o un detector de ultrasonido.

[0034] Cuando se detecta una desviación, a través de la variación de la potencia de enfriamiento, se calculan nuevas trayectorias de enfriamiento CP_x en función de TT, m_i para alcanzar el m_{objetivo} , la trayectoria de calentamiento, la trayectoria de inmersión que comprende $T_{\text{inmersión}}$ y $TT_{\text{enfriamiento}}$, recalculándose la etapa de enfriamiento de TT usando dicha CP_x para obtener nuevas trayectorias térmicas TP_x , correspondiendo cada TP_x a una microestructura m_x . El cálculo de CP_x se basa en el comportamiento térmico y el comportamiento metalúrgico de la lámina de acero en comparación con los procedimientos convencionales en el que solo se considera el comportamiento térmico.

55 **[0035]** La Figura 2 ilustra un recocido continuo de una lámina de acero que comprende una etapa de calentamiento, una etapa de inmersión, una etapa de enfriamiento y una etapa de sobreenviejamiento. Se detecta una desviación D debida a una variación de $T_{\text{inmersión}}$. Por lo tanto, una multitud de CP_x y, por lo tanto, TP_x se calculan de modo que la $TP_{\text{estándar}}$, que se selecciona entre TP_x , alcance el m_{objetivo} como se muestra solo para la primera etapa de enfriamiento en la Figura 2. En este ejemplo, la CP_x calculada también incluye la segunda etapa de enfriamiento
60 (no mostrada).

[0036] Preferentemente, en la etapa B.1), la potencia de enfriamiento del sistema de enfriamiento varía de un valor mínimo a un valor máximo o de un valor máximo a un valor mínimo. Por ejemplo, el sistema de enfriamiento comprende al menos un chorro de enfriamiento, al menos un pulverizador de enfriamiento o al menos ambos.
65 Preferentemente, el sistema de enfriamiento comprende al menos un chorro de enfriamiento por chorro, siendo el

chorro de enfriamiento que pulveriza un fluido un gas, un líquido acuoso o una mezcla de estos. Por ejemplo, el gas se elige de aire, HN_x , H_2 , N_2 , Ar, He, agua de vapor o una mezcla de estos. Por ejemplo, el líquido acuoso se elige entre: agua o nanofluidos.

5 **[0037]** Preferentemente, los chorros de enfriamiento pulverizan gas con un caudal entre 0 y 350 000 Nm^3/h . El número de chorros de enfriamiento presentes en la sección de enfriamiento depende de la línea de tratamiento térmico, puede variar de 1 a 25, preferentemente de 1 a 20, ventajosamente de 1 a 15 y más preferentemente entre 1 y 5. El caudal depende del número de chorros de enfriamiento. Por ejemplo, el caudal de un chorro de enfriamiento está entre 0 y 50 000 Nm^3/h , preferentemente entre 0 y 40 000 Nm^3/h , más preferentemente entre 0 y 20 000 Nm^3/h .

10

[0038] Cuando la sección de enfriamiento comprende chorros de enfriamiento, la variación de la potencia de enfriamiento se basa en el caudal. Por ejemplo, para un chorro de enfriamiento, 0 Nm^3/h corresponde a una potencia de enfriamiento del 0 % y 40 000 Nm^3/h corresponde a una potencia de enfriamiento del 100 %.

15 **[0039]** Por lo tanto, por ejemplo, la potencia de enfriamiento de un chorro de enfriamiento varía de 0 Nm^3/h , es decir, 0 %, a 40 000 Nm^3/h , es decir, 100 %. El valor mínimo y máximo de la potencia de enfriamiento puede ser cualquier valor elegido en el intervalo del 0 al 100 %. Por ejemplo, el valor mínimo es del 0 %, 10 %, 15 % o 25 %. Por ejemplo, el valor máximo es del 80 %, 85 %, 90 % o 100 %.

20 **[0040]** Cuando la sección de enfriamiento comprende al menos 2 chorros de enfriamiento, la potencia de enfriamiento puede ser la misma o diferente en cada chorro de enfriamiento. Esto significa que cada chorro de enfriamiento puede configurarse independientemente entre sí. Por ejemplo, cuando la sección de enfriamiento que comprende 11 chorros de enfriamiento, la potencia de enfriamiento de los tres primeros chorros de enfriamiento puede ser del 100 %, la potencia de enfriamiento de los siguientes cuatro puede ser del 45 % y la potencia de enfriamiento de los últimos cuatro puede ser del 0 %.

25

[0041] Por ejemplo, la variación de la potencia de enfriamiento tiene un incremento entre 5 a 50 %, preferentemente entre 5 a 40 %, más preferentemente entre 5 a 30 % y ventajosamente entre 5 a 20 %. El incremento de la potencia de enfriamiento es, por ejemplo, del 10 %, 15 % o 25 %.

30

[0042] Cuando la sección de enfriamiento comprende al menos 2 chorros de enfriamiento, el incremento de la potencia de enfriamiento puede ser el mismo o diferente en cada chorro de enfriamiento. Por ejemplo, en la etapa B.1), el incremento de la potencia de enfriamiento puede ser del 5 % en todos los chorros de enfriamiento. En otra realización, el incremento de la potencia de enfriamiento puede ser del 5 % para los tres primeros chorros, del 20 % para los cuatro siguientes y del 15 % para los cuatro últimos. Preferentemente, el incremento de la potencia de enfriamiento es diferente para cada chorro de enfriamiento, por ejemplo, 5 % para el primer chorro, 20 % para el segundo chorro, 0 % para el tercer chorro, 10 % para el cuarto chorro, 0 % para el quinto chorro, 35 % del sexto chorro, etc.

35

40 **[0043]** En una realización preferida de la invención, los sistemas de enfriamiento se configuran en función de la transformación de fase independientemente entre sí. Por ejemplo, cuando el sistema de enfriamiento comprende 11 chorros de enfriamiento, la potencia de enfriamiento de los tres primeros chorros de enfriamiento puede configurarse para la transformación, la potencia de enfriamiento de los siguientes cuatro puede configurarse para la transformación de austenita en perlita y la potencia de enfriamiento de los últimos cuatro puede configurarse para la transformación de austenita en bainita. En otra realización, el incremento de la potencia de enfriamiento puede ser diferente para cada chorro de enfriamiento.

45

[0044] Preferentemente, en la etapa B.1), $T_{\text{inmersión}}$ es un número fijo que se selecciona del intervalo entre 600 y 1000 °C. Por ejemplo, $T_{\text{inmersión}}$ puede ser de 700 °C, 800 °C o 900 °C dependiendo de la lámina de acero.

50

[0045] En otra realización preferida de la invención, la $T_{\text{inmersión}}$ varía de 600 a 1000 °C. Por ejemplo, la $T_{\text{inmersión}}$ puede variar de 650 a 750 °C o de 800 a 900 °C dependiendo de la lámina de acero.

[0046] Ventajosamente, cuando la $T_{\text{inmersión}}$ varía, después de la etapa B.1), se realiza una subetapa de cálculo adicional en la que:

55

a. La $T_{\text{inmersión}}$ varía en un valor de intervalo predefinido que está entre 600 y 1000 °C y b. Para cada variación de $T_{\text{inmersión}}$, se calculan nuevas trayectorias de enfriamiento CP_x , en función de TT, m_i para alcanzar el $m_{\text{estándar}}$ y la $T_{\text{enfriamiento}}$, recalculándose la etapa de enfriamiento de TT usando dicha CP_x para obtener nuevas trayectorias térmicas TP_x , correspondiendo cada TP_x a una microestructura m_x .

60

De hecho, con el procedimiento según la presente invención, la variación de $T_{\text{inmersión}}$ se tiene en cuenta para el cálculo de CP_x . Por lo tanto, para cada temperatura de inmersión, se calculan una multitud de nuevas trayectorias de enfriamiento CP_x y, por lo tanto, nuevas TP_x .

65

[0047] Preferentemente, se calculan al menos 10 CP_x, más preferentemente al menos 50, ventajosamente al menos 100 y más preferentemente al menos 1000. Por ejemplo, el número de CP_x calculada es entre 2 y 10000, preferentemente entre 100 y 10 000, más preferentemente entre 1000 y 10 000.

5 **[0048]** En la etapa B.2), se selecciona una TP_{objetivo} para alcanzar el m_{objetivo}, eligiéndose la TP_{objetivo} de TP_x y que se selecciona de modo que m_x sea el más cercano a m_{objetivo}. Preferentemente, las diferencias entre las proporciones de fases presentes en m_{objetivo} y m_x es del ±3 %.

[0049] Preferentemente, en la etapa B.2), cuando al menos dos CP_x tienen sus m_x iguales, la TP_{objetivo} seleccionada es la que tiene la potencia de enfriamiento mínima necesaria.

[0050] Ventajosamente, cuando varía la T_{inmersión}, la TP_{objetivo} seleccionada incluye además el valor de T_{inmersión} para alcanzar el m_{objetivo}, eligiéndose TP_{objetivo} de TP_x.

15 **[0051]** Ventajosamente, en la etapa B.2), la entalpía térmica H liberada entre m_i y m_{objetivo} se calcula de manera que:

$$H_{\text{liberada}} = (X_{\text{ferrita}} * H_{\text{ferrita}}) + (X_{\text{martensita}} * H_{\text{martensita}}) + (X_{\text{bainita}} * H_{\text{bainita}}) + (X_{\text{perlita}} * H_{\text{perlita}}) + (H_{\text{cementita}} + X_{\text{cementita}}) + (H_{\text{austenita}} + X_{\text{austenita}})$$

20 siendo X una fracción de fase.

[0052] Sin querer limitarse a ninguna teoría, H representa la energía liberada a lo largo de toda la trayectoria térmica cuando se realiza una transformación de fase. Se cree que algunas transformaciones de fase son exotérmicas y algunas de ellas son endotérmicas. Por ejemplo, la transformación de ferrita en austenita durante una trayectoria de calentamiento es endotérmica mientras que la transformación de austenita en perlita durante una trayectoria de enfriamiento es exotérmica.

[0053] En una realización preferida de la invención, en la etapa B.2), se calcula todo el ciclo térmico CP_x de manera que:

30

$$T(t + \Delta t) = T(t) + \frac{(\varphi_{\text{Convección}} + \varphi_{\text{radiación}})}{\rho \cdot Ep \cdot C_{pe}} \Delta t \pm \frac{H_{\text{liberada}}}{C_{pe}}$$

con C_{pe}: el calor específico de la fase (J·kg⁻¹·K⁻¹), p: la densidad del acero (g·m⁻³), Ep: el espesor del acero (m), φ: el flujo de calor (convectivo y radiativo en W), H_{liberada} (J·kg⁻¹), T: temperatura (°C) y t: tiempo (s).

35

[0054] Preferentemente, en la etapa B.2), se calculan al menos una microestructura de acero intermedia m_{xint} correspondiente a una trayectoria térmica intermedia CP_{xint} y la entalpía térmica H_{xint}. En este caso, el cálculo de CP_x se obtiene mediante el cálculo de una multitud de CP_{xint}. Por lo tanto, preferentemente, CP_x es la suma de todas las CP_{xint} y H_{liberada} es la suma de todas las H_x. En esta realización preferida de la invención, CP_{xint} se calcula periódicamente. Por ejemplo, se calcula cada 0,5 segundos, preferentemente 0,1 segundos o menos.

[0055] La Figura 3 ilustra una realización preferida de la invención en el que en la etapa B.1), se calculan m_{int1} y m_{int2} correspondientes respectivamente a CP_{xint1} y CP_{xint2}, así como H_{xint1} y H_{xint2}. La H_{liberada} durante toda la trayectoria térmica se determina para calcular CP_x. En esta realización, se calculan una multitud, es decir, más de 2, de CP_{xint} m_{xint} y H_{xint} para obtener CP_x (no se muestra).

[0056] En una realización preferida de la invención, antes de la etapa A.1), se selecciona al menos una propiedad mecánica dirigida P_{objetivo} entre el límite elástico YS, la resistencia máxima a la tracción UTS, el alargamiento, la expansión del orificio y la conformabilidad. En esta realización, preferentemente, m_{objetivo} se calcula en función del P_{objetivo}.

Sin querer limitarse a ninguna teoría, se cree que las características de la lámina de acero están definidas por los parámetros del procedimiento aplicados durante la producción de acero. Por lo tanto, ventajosamente, en la etapa B.1), los parámetros del procedimiento a los que se somete la lámina de acero antes de entrar a la línea de tratamiento térmico se tienen en cuenta para calcular CP_x. Por ejemplo, los parámetros del procedimiento comprenden al menos un elemento elegido de entre: una velocidad de reducción de laminación en frío, una temperatura de bobinado, una trayectoria de enfriamiento de la mesa de agotamiento, una temperatura de enfriamiento y una velocidad de enfriamiento de la bobina.

[0057] En otra realización, para el cálculo de CP_x se tienen en cuenta los parámetros de procedimiento de la línea de tratamiento a los que se someterá la lámina de acero en la línea de tratamiento térmico. Por ejemplo, los

parámetros del procedimiento comprenden al menos un elemento elegido de entre: la velocidad de la línea, una temperatura específica de la lámina de acero térmica a alcanzar, la potencia de calentamiento de las secciones de calentamiento, una temperatura de calentamiento y una temperatura de inmersión, la potencia de enfriamiento de las secciones de enfriamiento, una temperatura de enfriamiento y una temperatura de sobreenviejimiento.

5

[0058] Preferentemente, $T_{\text{enfriamiento}}$ es la temperatura del baño cuando la sección de enfriamiento es seguida por una sección de recubrimiento por inmersión en caliente que comprende un baño por inmersión en caliente. Preferentemente, el baño es a base de aluminio o a base de zinc. En una realización preferida de la invención, el baño a base de aluminio comprende menos del 15 % de Si, menos del 5,0 % de Fe, opcionalmente del 0,1 al 8,0 % de Mg

10

y opcionalmente del 0,1 al 30,0 % de Zn, siendo el resto Al.

[0059] En otra realización preferida de la invención, el baño a base de zinc comprende 0,01-8,0 % de Al, opcionalmente 0,2-8,0 % de Mg, siendo el resto Zn.

15

[0060] El baño fundido también puede comprender impurezas y elementos residuales inevitables de los lingotes de alimentación o del paso de la lámina de acero en el baño fundido. Por ejemplo, las impurezas opcionales se eligen entre Sr, Sb, Pb, Ti, Ca, Mn, Sn, La, Ce, Cr, Zr o Bi, siendo el contenido en peso de cada elemento adicional inferior al 0,3 % en peso. Los elementos residuales de los lingotes de alimentación o del paso de la lámina de acero en el baño fundido pueden ser de hierro con un contenido de hasta el 5,0 %, preferentemente hasta el 3,0 % en peso.

20

[0061] En otra realización preferida de la invención, $T_{\text{enfriamiento}}$ es la temperatura de templado T_q . De hecho, para la lámina de acero Q&P, un punto importante de un tratamiento de templado y partición es T_q .

[0062] Preferentemente, $T_{\text{enfriamiento}}$ está entre 150 y 800 °C.

25

[0063] Ventajosamente, cada vez que una nueva lámina de acero entra en la línea de tratamiento térmico, se realiza automáticamente una nueva etapa de cálculo B.2). De hecho, el procedimiento según la presente invención adapta la trayectoria de enfriamiento a cada lámina de acero incluso si el mismo grado de acero entra en la línea de tratamiento térmico ya que las características reales de cada acero a menudo difieren. La nueva lámina de acero se puede detectar y las nuevas características de la lámina de acero se miden y se preseleccionan de antemano. Por ejemplo, un detector detecta la soldadura entre dos bobinas.

30

[0064] Preferentemente, la adaptación de la trayectoria térmica se realiza a medida que la lámina de acero entra en la línea de tratamiento térmico en los primeros metros de la lámina para evitar una fuerte variación del procedimiento.

35

[0065] Preferentemente, se realiza un cálculo automático durante el tratamiento térmico para comprobar si había aparecido alguna desviación. En esta realización, periódicamente, se realiza un cálculo para verificar si se había producido una ligera desviación. De hecho, el umbral de detección del detector es a veces demasiado alto, lo que significa que no siempre se detecta una ligera desviación. El cálculo automático, realizado por ejemplo cada pocos segundos, no se basa en un umbral de detección. Por lo tanto, si el cálculo conduce al mismo tratamiento térmico, es decir, el tratamiento térmico se realiza en línea, el TT no cambiará. Si el cálculo conduce a un tratamiento diferente debido a una ligera desviación, el tratamiento cambiará.

40

[0066] La Figura 4 ilustra un ejemplo según la invención en el que se realiza un recocido continuo en una lámina de acero antes de la deposición de un recubrimiento por inmersión en caliente. Con el procedimiento según la presente invención, cuando aparece una desviación D , TP_x se calcula en función de m_i , el producto seleccionado, TT y m_{objetivo} . En este ejemplo, se calculan las trayectorias térmicas intermedias $CP_{x_{\text{int}1}}$ a $CP_{x_{\text{int}4}}$, correspondientes respectivamente a $m_{x_{\text{int}1}}$ a $m_{x_{\text{int}4}}$, y de $H_{x_{\text{int}1}}$ a $H_{x_{\text{int}4}}$. H_{liberada} se determina para obtener CP_x y, por lo tanto, TP_x . En esta Figura, se ilustra la TP_{objetivo} .

50

[0067] Con el procedimiento según la presente invención, cuando aparece una desviación, se realiza una nueva etapa de tratamiento térmico TP_{objetivo} en la lámina de acero.

[0068] Por lo tanto, se obtiene una bobina hecha de una lámina de acero que incluye dichos tipos de productos predefinidos que incluyen DP, TRIP, Q&P, TWIP, CFB, PHS, TRIPLEX, DÚPLEX, DP HD, teniendo dicha bobina una variación estándar de propiedades mecánicas inferior o igual a 25 MPa, preferentemente inferior o igual a 15 MPa, más preferentemente inferior o igual a 9 MPa, entre dos puntos cualesquiera a lo largo de la bobina. De hecho, sin querer limitarse a ninguna teoría, se cree que el procedimiento que incluye la etapa de cálculo B.1) tiene en cuenta la dispersión de la microestructura de la lámina de acero a lo largo de la bobina. Por lo tanto, la TP_{objetivo} aplicada en la lámina de acero permite una homogeneización de la microestructura y también de las propiedades mecánicas.

60

[0069] Preferentemente, las propiedades mecánicas se eligen de YS, UTS o alargamiento. El bajo valor de la variación estándar se debe a la precisión de la TP_{objetivo} .

65

[0070] Preferentemente, la bobina está cubierta por un recubrimiento metálico a base de zinc o a base de

aluminio.

[0071] Preferentemente, en una producción industrial, entre dos bobinas hechas de una lámina de acero que incluye dichos tipos de producto predefinidos incluyen DP, TRIP, Q&P, TWIP, CFB, PHS, TRIPLEX, DÚPLEX, DP HD, la variación estándar de propiedades mecánicas por debajo o igual a 25 MPa, preferentemente por debajo o igual a 15 MPa, más preferentemente por debajo o igual a 9 MPa.

[0072] Preferentemente, en una producción industrial, la variación estándar de las propiedades mecánicas entre 2 bobinas hechas de una lámina de acero que incluye dichos tipos de producto predefinidos incluyen DP, TRIP, Q&P, TWIP, CFB, PHS, TRIPLEX, DÚPLEX, DP HD medida sucesivamente producida en la misma línea es inferior o igual a 25 MPa, preferentemente inferior o igual a 15 MPa, más preferentemente inferior o igual a 9 MPa.

[0073] Se utiliza una línea de tratamiento térmico para la implementación de un procedimiento según la presente invención para realizar la TP_{objetivo}. Por ejemplo, la línea de tratamiento térmico es un horno de recocido continuo, un horno de endurecimiento por presión, un recocido por lotes o una línea de templado.

[0074] Finalmente, un producto de programa informático que comprende al menos un módulo metalúrgico, un módulo de optimización y un módulo térmico que cooperan juntos para determinar la TP_{objetivo}, comprendiendo dichos módulos instrucciones de software que cuando se implementan mediante un ordenador se emplean para implementar el procedimiento según la presente invención.

[0075] El módulo metalúrgico predice la microestructura (m_x , $m_{objetivo}$ incluyendo fases metaestables: bainita y martensita y fases estables: ferrita, austenita, cementita y perlita) y más precisamente la proporción de fases a lo largo del tratamiento y predice la cinética de la transformación de fases.

[0076] El módulo térmico predice la temperatura de la lámina de acero dependiendo de la instalación utilizada para el tratamiento térmico, siendo la instalación, por ejemplo, un horno de recocido continuo, las características geométricas de la banda, los parámetros del procedimiento que incluyen la potencia de enfriamiento, calentamiento o energía isotérmica, la entalpía térmica H liberada o consumida a lo largo de la trayectoria térmica cuando se realiza una transformación de fase.

[0077] El módulo de optimización determina la mejor trayectoria térmica para alcanzar $m_{objetivo}$, es decir, TP_{objetivo} siguiendo el procedimiento según la presente invención utilizando los módulos metalúrgicos y térmicos. La invención se explicará ahora en ensayos realizados solo con fines informativos. No son limitantes.

Ejemplos

[0078] En los siguientes ejemplos, se eligió DP780GI que tiene la siguiente composición química:

C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Mo (%)	P (%)	Cu (%)	Ti (%)	N (%)
0,145	1,8	0,2	0,2	0,0025	0,015	0,02	0,025	0,06

[0079] El laminado en frío tuvo una tasa de reducción del 55 % para obtener un espesor de 1,2 mm. El $m_{objetivo}$ a alcanzar comprende 12 % de martensita, 58 % de ferrita y 30 % de bainita, correspondiente al siguiente P_{objetivo}: YS de 460 MPa y UTS de 790 MPa. También se debe alcanzar una T_{enfriamiento} de 460 °C para realizar un recubrimiento por inmersión en caliente con un baño de zinc. Esta temperatura debe alcanzarse con una precisión de +/- 2 °C para garantizar una buena capacidad de recubrimiento en el baño de Zn.

[0080] El tratamiento térmico TT a realizar en la lámina de acero, es el siguiente:

- una etapa de precalentamiento en el que la lámina de acero se calienta desde la temperatura ambiente hasta 680 °C durante 37,5 segundos,
- una etapa de calentamiento en el que la lámina de acero se calienta de 680 °C a 780 °C durante 40 segundos,
- etapa de inmersión en el que la lámina de acero se calienta a una temperatura de inmersión T_{inmersión} de 780 °C durante 24,4 segundos,
- una etapa de enfriamiento en el que la lámina de acero se enfría con 11 chorros de enfriamiento por pulverización de HN_x de la siguiente manera:

Chorros	Chorro 1	Chorro 2	Chorro 3	Chorro 4	Chorro 5	Chorro 6	Chorro 7	Chorro 8	Chorro 9	Chorro 10	Chorro 11
Velocidad de enfriamiento (°C/s)	10	10	9	5	9	22	50	18	18	21	11
Tiempo (s)	1,89	1,89	1,89	1,89	1,68	1,8	1,8	1,63	1,63	1,63	1,63
T (°C)	754	734	718	708	693	653	563	533	504	481	463
Potencia de enfriamiento (%)	0	0	0	0	0	0	28	100	100	100	100

- un recubrimiento por inmersión en caliente en un baño de zinc a 460 °C,
- el enfriamiento de la lámina de acero hasta el rodillo superior durante 27,8 s a 300 °C y
- el enfriamiento de la lámina de acero a temperatura ambiente.

5

Ejemplo 1: desviación de la $T_{inmersión}$

[0081] Cuando la temperatura de inmersión $T_{inmersión}$ disminuyó de 780 °C a 765 °C, se determina que una nueva trayectoria térmica $TP_{objetivo1}$ para alcanzar el $m_{objetivo}$ teniendo en cuenta la desviación. Con este fin, se calcula una multitud de trayectorias térmicas CP_x en función de TT, m_i de DP780GI para alcanzar el $m_{objetivo}$, la trayectoria de calentamiento, la trayectoria de inmersión que comprende $T_{inmersión}$ y $T_{enfriamiento}$.

10

[0082] La etapa de enfriamiento de TT se recalculó usando dicha CP_x para obtener nuevas trayectorias térmicas TP_x . Después del cálculo de TP_x , se seleccionó una $TP_{objetivo}$ para alcanzar el $m_{objetivo}$, eligiéndose la $TP_{objetivo}$ de la TP_x recalculada y que se seleccionó de modo que m_x sea el más cercano a $m_{objetivo}$. $TP_{objetivo1}$ es como sigue:

15

- una etapa de inmersión en el que la lámina de acero se calienta a una temperatura de inmersión $T_{inmersión}$ de 765 °C durante 24,4 segundos debido a una desviación en la sección de inmersión de la línea de tratamiento térmico,
- una etapa de enfriamiento CP_1 que incluye:

20

- una etapa de enfriamiento en el que la lámina de acero se enfría con 11 chorros de enfriamiento por pulverización de HN_x de la siguiente manera:

Chorros	Chorro 1	Chorro 2	Chorro 3	Chorro 4	Chorro 5	Chorro 6	Chorro 7	Chorro 8	Chorro 9	Chorro 10	Chorro 11
Velocidad de enfriamiento (°C/s)	9	9	10	15	32	28	31	11	10	7	8
Tiempo (s)	1,89	1,89	1,89	1,89	1,68	1,8	1,8	1,63	1,63	1,63	1,63
T (°C)	742	725	706	679	625	574	518	500	483	472	459
Potencia de enfriamiento (%)	0	0	0	25	50	50	45	45	45	45	45

- un recubrimiento por inmersión en caliente en un baño de zinc a 460 °C,
- el enfriamiento de la lámina de acero hasta el rodillo superior durante 27,8 s a 300 °C y
- el enfriamiento de la lámina de acero a temperatura ambiente.

Ejemplo 2: lámina de acero de diferente composición

[0083] Una nueva lámina de acero DP780 entró en la línea de tratamiento térmico por lo que se realizó automáticamente una etapa de cálculo en función de la siguiente nueva CC:

C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Mo (%)	P (%)	Cu (%)	Ti (%)	N (%)
0,153	1,830	0,225	0,190	0,0025	0,015	0,020	0,025	0,006

[0084] La nueva trayectoria térmica $TP_{objetivo2}$ se determinó para alcanzar el $m_{objetivo}$ teniendo en cuenta la nueva CC. $TP_{objetivo2}$ es como sigue:

35

- una etapa de precalentamiento en el que la lámina de acero se calienta desde la temperatura ambiente hasta 680 °C durante 37,5 segundos,
- una etapa de calentamiento en el que la lámina de acero se calienta de 680 °C a 780 °C durante 40 segundos,
- una etapa de inmersión en la que la lámina de acero se calienta a una temperatura de inmersión $T_{inmersión}$ de 780 °C durante 24,4 segundos,
- una etapa de enfriamiento CP_3 que incluye:

Chorros	Chorro 1	Chorro 2	Chorro 3	Chorro 4	Chorro 5	Chorro 6	Chorro 7	Chorro 8	Chorro 9	Chorro 10	Chorro 11
Velocidad de enfriamiento (°C/s)	17	17	9	6	6	6	38	30	18	17	10
Tiempo (s)	2,2	2,2	2,2	2,2	1,96	2,1	2,1	1,9	1,9	1,9	1,9
T (°C)	737	705	688	677	667	655	586	537	508	481	464
Potencia de enfriamiento (%)	100	100	30	0	0	0	100	100	100	100	100

- un recubrimiento por inmersión en caliente en un baño de zinc a 460 °C,
- el enfriamiento de la lámina de acero hasta el rodillo superior durante 26,8 s a 300 °C y
- 5 - el enfriamiento de la lámina de acero a temperatura ambiente.

La Tabla 1 muestra las propiedades del acero obtenidas con TT, TP y TP_{objetivo2}.

	TT	TP _{objetivo1}	TP _{objetivo2}	Propiedades esperadas
T _{enfriamiento} obtenida (°C)	461	458	462	460
Microestructura obtenida al final de la trayectoria térmica	X _{martensita} : 12 % X _{ferrita} : 55 % X _{bainita} : 33 %	X _{martensita} : 12 % X _{ferrita} : 61 % X _{bainita} : 27 %	X _{martensita} : 14 % X _{ferrita} : 55 % X _{bainita} : 32 %	X _{martensita} : 12 % X _{ferrita} : 58 % X _{bainita} : 30 %
Desviación (ecart) con respecto a m _{objetivo}	X _{martensita} : 0 % X _{ferrita} : 3 % X _{bainita} : 3 %	X _{martensita} : 0 % X _{ferrita} : 3 % X _{bainita} : 3 %	X _{martensita} : 2 % X _{ferrita} : 3 % X _{bainita} : 2 %	-
YS (MPa)	453,5	465	462	460
Desviación YS con respecto a P _{objetivo} (MPa)	6,5	5	2	-
RTM (MPa)	786,8	790	804	790
Desviación UTS con respecto a P _{objetivo} (MPa)	3,2	0	14	-

- 10 **[0085]** Con el procedimiento según la presente invención, es posible ajustar un TT térmico cuando aparece una desviación o cuando una nueva lámina de acero que tiene una CC diferente entra en la línea de tratamiento térmico. Mediante la aplicación de las nuevas trayectorias térmicas TP_{objetivo1} y TP_{objetivo2}, es posible obtener una lámina de acero que tenga las propiedades esperadas deseadas, adaptándose con precisión cada TP_{objetivo} en función de cada desviación.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de ajuste dinámico para la fabricación de una lámina de acero tratada térmicamente que tiene una composición química de acero y una microestructura m_{objetivo} que comprende del 0 al 100 % de al menos una fase elegida entre: ferrita, martensita, bainita, perlita, cementita y austenita, en una línea de tratamiento térmico que comprende una sección de calentamiento, una sección de inmersión y una sección de enfriamiento que incluye un sistema de enfriamiento, en el que se realiza un tratamiento térmico predefinido TT, que comprende al menos un calentamiento, una inmersión y una etapa de enfriamiento, comprendiendo dicho procedimiento:
- 5
- 10 A. una etapa de control en el que al menos un detector detecta cualquier desviación que se produzca durante el TT,
B. una etapa de cálculo realizada cuando se detecta una desviación durante el TT de modo que se determina una nueva trayectoria térmica TP_{objetivo} para alcanzar el m_{objetivo} teniendo en cuenta la desviación, comprendiendo dicha etapa de cálculo:
- 15 1) una subetapa de cálculo en el que, a través de la variación de la potencia de enfriamiento, se calculan nuevas trayectorias de enfriamiento CP_x en función de TT, la microestructura inicial m_i de la lámina de acero para alcanzar el m_{objetivo} , la trayectoria de calentamiento, la trayectoria de inmersión que comprende $T_{\text{inmersión}}$ y $T_{\text{enfriamiento}}$, recalculándose la etapa de enfriamiento de TT usando dicha CP_x para obtener nuevas trayectorias térmicas TP_x , reemplazándose la etapa de enfriamiento por una CP_x para obtener una trayectoria térmica TP_x , correspondiendo cada TP_x a una microestructura m_x ,
- 20 2) una etapa de selección en el que se selecciona una TP_{objetivo} para alcanzar el m_{objetivo} , eligiéndose la TP_{objetivo} entre las trayectorias térmicas TP_x calculadas y que se selecciona de modo que m_x sea el más cercano a m_{objetivo} y
- 25 C. una nueva etapa de tratamiento térmico en el que la TP_{objetivo} se realiza en línea en la lámina de acero.
2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que en la etapa A), la desviación se debe a una variación de un parámetro de procedimiento elegido de entre: una temperatura de horno, una temperatura de lámina de acero, una cantidad de gas, una composición de gas, una temperatura de gas, una velocidad de línea, una falla en la línea de tratamiento térmico, una variación del baño por inmersión en caliente, una emisividad de lámina de acero y una variación del espesor del acero.
- 30
3. El procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, en el que las fases están definidas por al menos un elemento elegido entre: el tamaño, la forma y la composición química.
- 35
4. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la microestructura m_{objetivo} comprende:
- 40 - 100 % de austenita,
- del 5 al 95 % de martensita, del 4 al 65 % de bainita, siendo el resto ferrita,
- del 8 al 30 % de austenita residual, del 0,6 % al 1,5 % de carbono en solución sólida, siendo el resto ferrita, martensita, bainita, perlita y/o cementita,
- del 1 al 30 % de ferrita y del 1 % al 30 % de bainita, del 5 al 25 % de austenita, siendo el resto martensita,
45 - del 5 al 20 % de austenita residual, siendo el resto martensita,
- ferrita y austenita residual,
- fases residuales de austenita e intermetálicas,
- del 80 al 100 % de martensita y del 0 al 20 % de austenita residual
- 100 % martensita,
50 - del 5 al 100 % de perlita y del 0 al 95 % de ferrita y
- al menos el 75 % de ferrita equiaxada, del 5 al 20 % de martensita y bainita en una cantidad inferior o igual al 10 %.
5. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la lámina de acero puede ser de fase dual, de plasticidad inducida por transformación, de acero templado y dividido, de plasticidad inducida por maclado, de bainita libre de carburo, de acero endurecido por presión, de TRIPLEX, DÚPLEX y de alta ductilidad de fase dual.
- 55
6. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que TT comprende además una etapa de precalentamiento.
- 60
7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que TT comprende además una etapa de recubrimiento por inmersión en caliente, una etapa de sobrevejecimiento o una etapa de partición.
7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que en la etapa B.1), la potencia
- 65 8.

de enfriamiento del sistema de enfriamiento varía de un valor mínimo a un valor máximo.

9. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que en la etapa B.1), la potencia de enfriamiento del sistema de enfriamiento varía de un valor máximo a un valor mínimo.
- 5 10. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que en la etapa B.1), $T_{inmersión}$ es un número fijo que se selecciona del intervalo de entre 600 a 1000 °C.
11. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que en la etapa B.1), la $T_{inmersión}$ varía de 600 a 1000 °C.
- 10 12. El procedimiento según la reivindicación 11, en el que después de la etapa B.1), se realiza una subetapa de cálculo adicional en el que:
- 15 a. $T_{inmersión}$ varía en un valor de intervalo predefinido que está entre 600 y 1000 °C y
 b. Para cada variación de $T_{inmersión}$, se calculan nuevas trayectorias de enfriamiento CP_x , en función de TT , m_i para alcanzar el $m_{estándar}$ y la $T_{enfriamiento}$, recalculándose la etapa de enfriamiento de TT utilizando dicha CP_x para obtener nuevas trayectorias térmicas TP_x , correspondiendo cada TP_x a una microestructura m_x .
- 20 13. El procedimiento según la reivindicación 12, en el que en la etapa de selección B.2), la $TP_{objetivo}$ seleccionada incluye además el valor de $T_{inmersión}$.
- 25 14. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que en la etapa B.2), cuando al menos dos CP_x tienen su m_x igual, la $TP_{objetivo}$ seleccionada es la que tiene la potencia de enfriamiento mínima necesaria.
15. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, cuando en la etapa B.1), las 30 diferencias entre las proporciones de fases presentes en $m_{objetivo}$ y m_x es del $\pm 3\%$.
16. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, en el que en la etapa B.1), la entalpía térmica H liberada entre m_i y $m_{objetivo}$ se calcula de manera que:
- $$H_{liberada} = (X_{ferrita} * H_{ferrita}) + (X_{martensita} * H_{martensita}) + (X_{bainita} * H_{bainita}) + (X_{perlita} * H_{perlita}) + (H_{cementita} + X_{cementita}) + (H_{austenita} + X_{austenita})$$
- 35 siendo X una fracción de fase.
17. El procedimiento según la reivindicación 16, en el que en la etapa B.1), toda la trayectoria de 40 enfriamiento CP_x se calcula de manera que:
- $$T(t + \Delta t) = T(t) + \frac{(\varphi_{Convección} + \varphi_{radiación})}{\rho \cdot Ep \cdot C_{pe}} \Delta t \pm \frac{H_{liberada}}{C_{pe}}$$
- 45 con C_{pe} : el calor específico de la fase ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$), p : la densidad del acero ($g \cdot m^{-3}$), Ep : el espesor del acero (m), tp : el flujo de calor (convectivo y radiativo en W), $H_{liberada}$ ($J \cdot kg^{-1}$), T : temperatura (°C) y t : tiempo (s).
18. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 16 o 17, en el que en la etapa B.1), se calculan al menos una microestructura de acero intermedia m_{xint} correspondiente a una trayectoria de enfriamiento intermedia CP_{xint} y la entalpía térmica H_{xint} .
- 50 19. El procedimiento según la reivindicación 18, en el que en la etapa B.1), CP_x es la suma de todas las CP_{xint} y $H_{liberada}$ es la suma de todas las H_{xint} .
20. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 19, en el que antes de la etapa A.1.a), se 55 selecciona al menos una propiedad mecánica dirigida $P_{objetivo}$ elegida entre el límite elástico YS , la resistencia máxima a la tracción UTS , la expansión del orificio de alargamiento y la conformabilidad.
21. El procedimiento según la reivindicación 20, en el que $m_{objetivo}$ se calcula en función de $P_{objetivo}$.
- 60 22. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 21, en el que en la etapa B.1), los

parámetros de procedimiento a los que se somete la lámina de acero antes de entrar en la línea de tratamiento térmico se tienen en cuenta para calcular CP_x .

23. El procedimiento según la reivindicación 22, en el que los parámetros del procedimiento comprenden al menos un elemento elegido de entre: una velocidad de reducción de laminación en frío, una temperatura de bobinado, una trayectoria de enfriamiento de la mesa de agotamiento, una temperatura de enfriamiento y una velocidad de enfriamiento de la bobina.
24. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 23, en el que en la etapa B.1) se tienen en cuenta los parámetros de procedimiento de la línea de tratamiento a los que se someterá la lámina de acero en la línea de tratamiento térmico para calcular CP_x .
25. El procedimiento según la reivindicación 24, en el que los parámetros del procedimiento comprenden al menos un elemento elegido de entre: una temperatura específica de la lámina de acero térmica a alcanzar, la velocidad de la línea, la potencia de enfriamiento de las secciones de enfriamiento, la potencia de calentamiento de las secciones de calentamiento, una temperatura de sobrevejecimiento, una temperatura de enfriamiento, una temperatura de calentamiento y una temperatura de inmersión.
26. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 25, en el que el sistema de enfriamiento comprende al menos un chorro de enfriamiento, al menos un pulverizador de enfriamiento o al menos ambos.
27. El procedimiento según la reivindicación 26, en el que cuando el sistema de enfriamiento comprende al menos un chorro de enfriamiento, el chorro de enfriamiento que pulveriza un gas, un líquido acuoso o una mezcla de estos.
28. El procedimiento según la reivindicación 27, en el que el gas se elige entre aire, HN_x , H_2 , N_2 , Ar, He, agua de vapor o una mezcla de estos.
29. El procedimiento según la reivindicación 28, en el que el líquido acuoso se elige entre agua o nanofluido.
30. El procedimiento según la reivindicación 28, en el que el chorro de enfriamiento pulveriza aire con un caudal entre 0 y 350 000 Nm^3/h .
31. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 30, en el que $T_{\text{enfriamiento}}$ es la temperatura de baño cuando la sección de enfriamiento es seguida por una sección de recubrimiento por inmersión en caliente que comprende un baño por inmersión en caliente.
32. El procedimiento según la reivindicación 31, en el que el baño se basa en aluminio o un baño a base de zinc.
33. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 30, en el que $T_{\text{enfriamiento}}$ es la temperatura de templado T_q .
34. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 33, en el que la $T_{\text{enfriamiento}}$ está entre 150 y 800 °C.
35. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 34, en el que cada vez que una nueva lámina de acero entra en la línea de tratamiento térmico, se realiza automáticamente una nueva etapa de cálculo B.1).
36. Un procedimiento según la reivindicación 35, en el que se realiza una adaptación de la trayectoria de enfriamiento a medida que la lámina de acero entra en la sección de enfriamiento de la línea de tratamiento térmico en los primeros metros de la lámina.
37. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 19, en el que se realiza un cálculo automático durante el tratamiento térmico si hubiera aparecido alguna desviación.

Figura 1

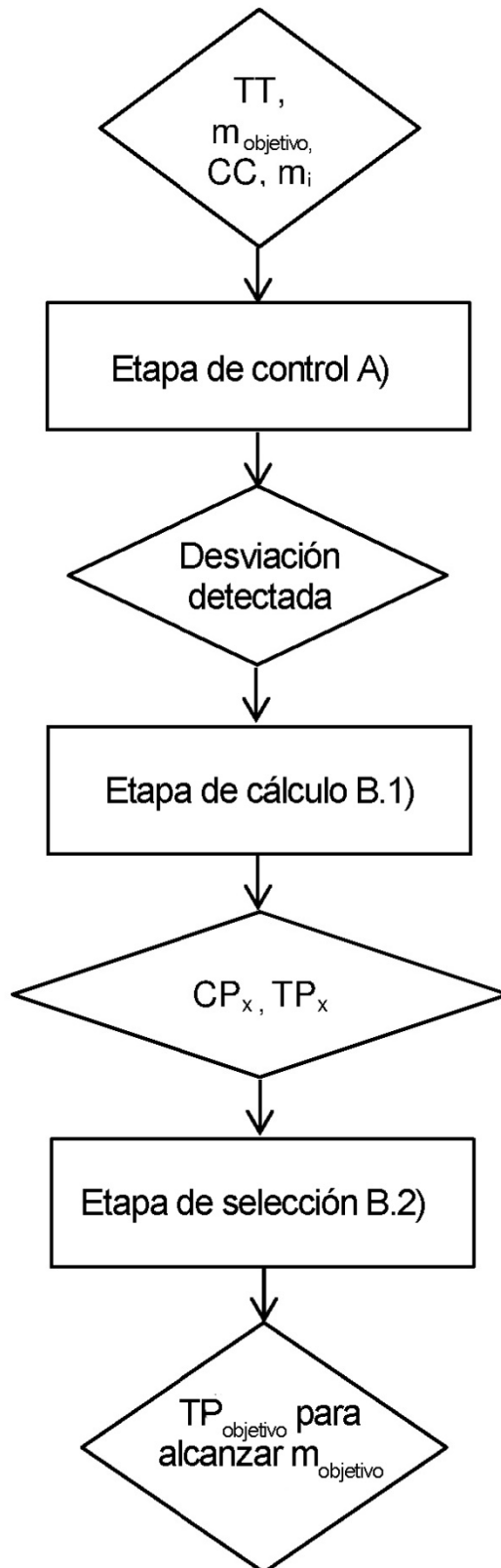


Figura 2

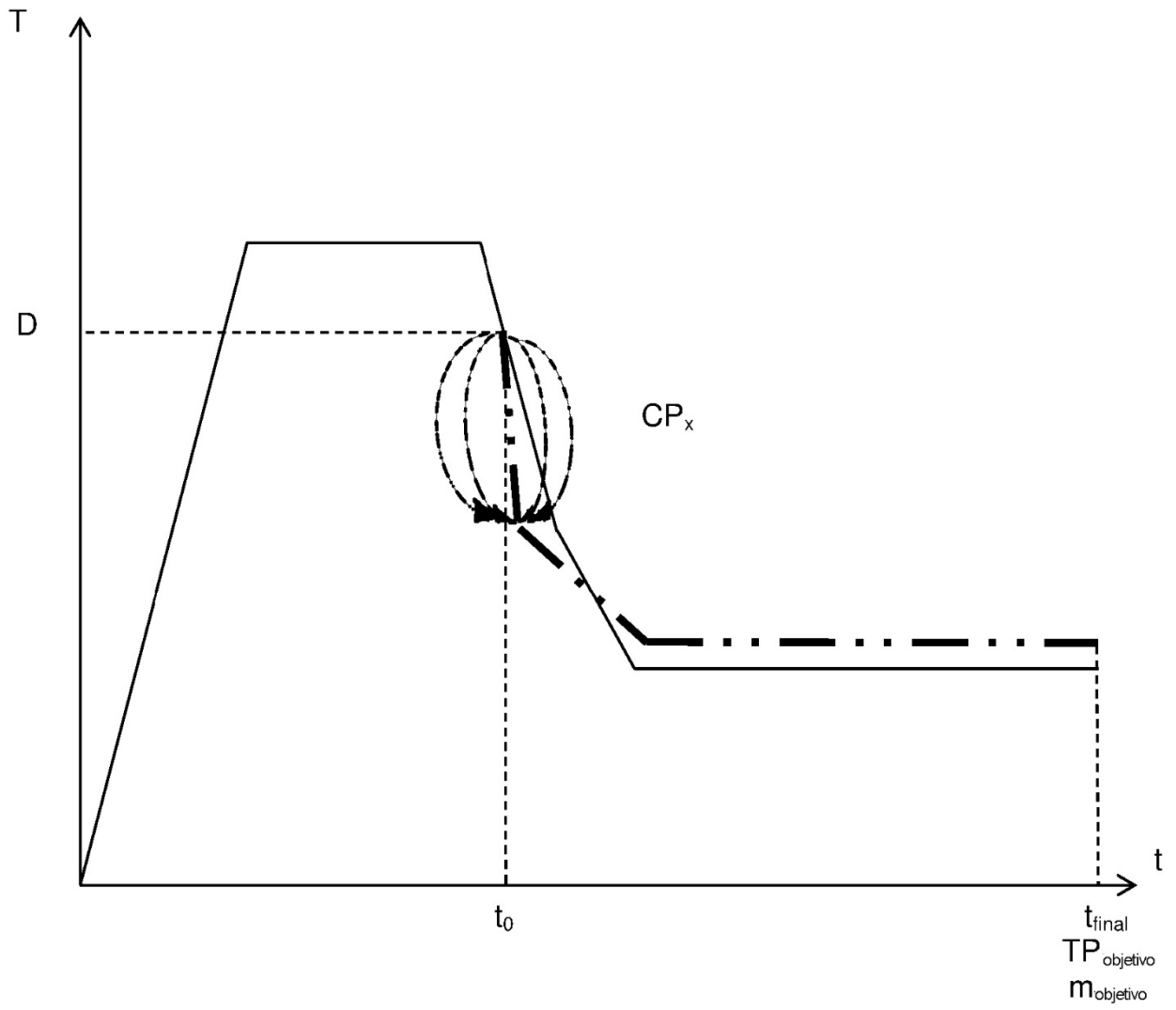


Figura 3

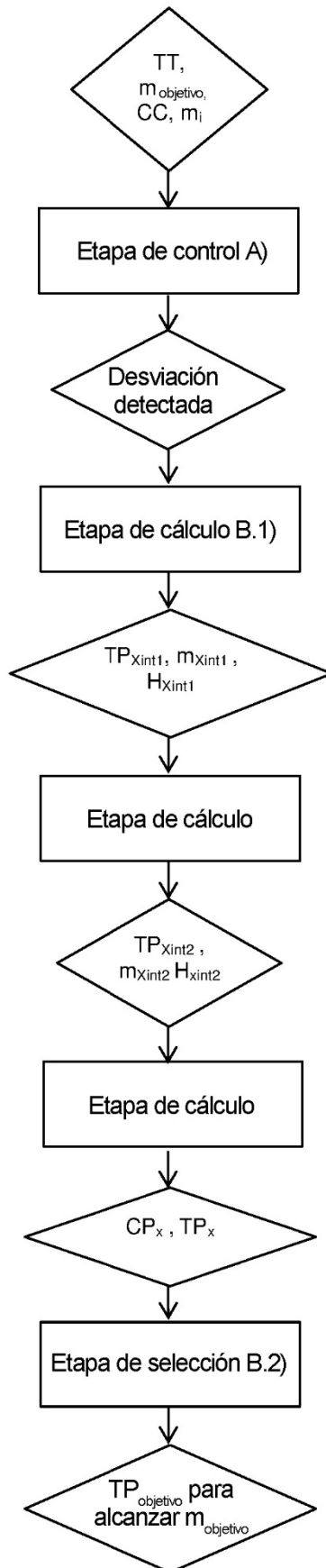


Figura 4

