

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 977 945**

51 Int. Cl.:

C21D 1/19	(2006.01)	C22C 38/34	(2006.01)	C21D 9/573	(2006.01)
C21D 1/25	(2006.01)	C22C 38/42	(2006.01)	C21D 11/00	(2006.01)
C21D 1/26	(2006.01)	C22C 38/44	(2006.01)		
C21D 6/00	(2006.01)	C22C 38/46	(2006.01)		
C21D 9/46	(2006.01)	C22C 38/48	(2006.01)		
C21D 9/00	(2006.01)	C22C 38/50	(2006.01)		
C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/54	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)	C22C 38/58	(2006.01)		
C22C 38/04	(2006.01)	C23C 2/00	(2006.01)		
C22C 38/06	(2006.01)	C23C 2/02	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.07.2015** **PCT/IB2015/055580**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.02.2016** **WO16016779**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2015** **E 15762727 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.03.2024** **EP 3175005**

54 Título: **Un procedimiento para producir una pieza de acero de alta resistencia**

30 Prioridad:

30.07.2014 WO PCT/IB2014/002342

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

03.09.2024

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

ARLAZAROV, ARTEM

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 977 945 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 para producir una pieza de acero de alta resistencia

5 **[0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento para producir una pieza de acero de alta resistencia.

[0002] En particular, con el fin de mejorar la eficiencia energética de los automóviles, se requiere una reducción de peso. Esto es posible mediante el uso de piezas o láminas de acero que tienen un límite elástico y una resistencia a la tracción mejorados para fabricar las partes de la carrocería. Dichos aceros también deben tener una buena
10 ductilidad para permitir una formación que resulte fácil.

[0003] A tal fin, se propone el uso de piezas hechas de aceros C-Mn-Si, tratados térmicamente para tener una estructura que contenga al menos martensita y austenita retenida. El tratamiento térmico comprende al menos una etapa de recocido, una etapa de templado y una etapa de partición de carbono. El recocido se realiza a una
15 temperatura superior al punto de transformación Ac_1 del acero para obtener una estructura inicial al menos parcialmente austenítica. El templado se realiza enfriando rápidamente hasta una temperatura de templado comprendida entre las temperaturas de transformación Ms y Mf de la estructura inicial al menos parcialmente austenítica, con el fin de obtener una estructura que contenga al menos algo de martensita y algo de austenita retenida, siendo el recordatorio ferrita y/o bainita. Preferentemente, la temperatura de templado se elige con el fin de obtener la
20 mayor proporción posible de austenita retenida teniendo en cuenta la temperatura de recocido. Cuando la temperatura de recocido es más alta que el punto de transformación Ac_3 del acero, la estructura inicial es completamente austenítica y la estructura directamente resultante del templado a la temperatura entre Ms y Mf , contiene solo martensita y austenita residual.

[0004] El fraccionamiento de carbono (que también se denominará "sobremaduración" dentro del contexto de esta invención) se realiza calentando desde la temperatura de templado, hasta una temperatura que es más alta que la temperatura de templado, y más baja que la temperatura de transformación Ac_1 del acero. Esto hace posible dividir el carbono entre la martensita y la austenita, es decir, difundir el carbono de la martensita a la austenita, sin formación de carburos. El grado de partición aumenta con la duración de la etapa de sobremaduración. Por consiguiente, la
30 duración de la sobremaduración se selecciona de modo tal que sea suficientemente larga como para proporcionar la partición más completa posible. Sin embargo, una duración demasiado larga puede provocar la descomposición de la austenita y una partición demasiado alta de la martensita y, por tanto, una reducción de las propiedades mecánicas. Por consiguiente, la duración de la sobremaduración se limita a fin de impedir tanto como sea posible la formación de ferrita.

[0005] Además, las piezas pueden estar recubiertas por inmersión en caliente, lo que genera un tratamiento térmico adicional. Por lo tanto, si las piezas tienen que ser recubiertas por inmersión en caliente después del tratamiento térmico inicial, el efecto del recubrimiento por inmersión en caliente se debe tener en cuenta cuando se determinan las condiciones del tratamiento térmico inicial.

[0006] La pieza puede ser una lámina de acero fabricada en una línea de recocido continuo, donde la velocidad de traslación de la lámina depende de su espesor. Como la longitud de la línea de recocido continuo es fija, la duración del tratamiento térmico de una lámina en particular depende de su velocidad de traslación, es decir, de su espesor. Por lo tanto, las condiciones del tratamiento térmico y, más específicamente, la temperatura y la duración de la
45 sobremaduración se deben determinar para cada lámina no solo según su composición química, sino también según su espesor.

[0007] Como el espesor de las láminas puede variar dentro de un cierto intervalo, se debe realizar una gran cantidad de pruebas para determinar las condiciones de tratamiento térmico de las diversas láminas producidas en
50 una línea específica.

[0008] Alternativamente, la pieza también puede ser una pieza en bruto formada en caliente que se trata térmicamente en un horno después de la formación. En este caso, el calentamiento de la pieza desde la temperatura de temple hasta la temperatura de sobremaduración depende del espesor y el tamaño de la pieza. Por lo tanto, también
55 es necesario un gran número de pruebas para determinar las condiciones de tratamiento para las diversas piezas hechas del mismo acero.

[0009] El documento EP2710158 A1 describe un procedimiento para producir un producto de acero plano de alta resistencia.

[0010] Un propósito de la presente invención es proporcionar un medio para reducir el número de pruebas que se deben realizar para producir piezas de acero fabricadas a partir del mismo acero, pero que tengan varios espesores y tamaños, con un equipo específico tal como una línea de recocido particular o un horno particular.

65 **[0011]** En la reivindicación 1, se define un procedimiento para producir una pieza de acero de alta resistencia

que tiene propiedades mecánicas deseadas según la invención. En la reivindicación 2, se define un procedimiento alternativo para producir una pieza de acero de alta resistencia que tenga las propiedades mecánicas deseadas según la invención. Las realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes.

5 **[0012]** Ahora, la invención se describirá con más detalles pero sin limitaciones a la vista de los siguientes dibujos, donde:

- La figura 1 es una curva esquemática de tiempo/temperatura para un programa de tratamiento térmico, realizado en un equipo de laboratorio.

10 - La figura 2 son curvas esquemáticas de tiempo/temperatura para tratamientos térmicos de dos láminas que tienen diferentes espesores, realizadas en una línea de recocido continuo sin recubrimiento por inmersión en caliente.

- La figura 3 es una curva de tiempo/temperatura para un tratamiento térmico de una lámina, realizado en una línea continua que comprende una etapa de galvanización.

15 - La figura 4 es una curva de tiempo/temperatura para un tratamiento térmico de una lámina fabricada en una línea continua que comprende una etapa adicional de recocido galvanizado.

[0013] En la técnica, es bien sabido que, cuando un experto que desea fabricar una pieza hecha de acero que tiene las propiedades deseadas, sabe cómo elegir un acero adecuado y un tratamiento térmico capaz de conferir al acero las propiedades deseadas. Sin embargo, tiene que adaptar el tratamiento térmico a cada pieza en particular y
20 al equipo que se utilizará para fabricar la pieza.

[0014] Si la pieza es una lámina que se va a producir en una línea continua, el equipo es, por ejemplo, una línea de recocido continuo conocida en sí misma, que comprende al menos una sección de sobremaduración. Si la lámina se debe recubrir por inmersión en caliente, el equipo comprende además al menos medios de recubrimiento
25 por inmersión en caliente que pueden estar separados de la línea de recocido continuo o incluidos en la línea de recocido continuo.

[0015] Si la pieza se produce mediante formación en caliente y tratamiento térmico, el equipo comprende al menos hornos de sobremaduración.
30

[0016] En todos los casos, los medios de sobremaduración son hornos para los cuales, como es bien conocido en la técnica, los puntos de ajuste son fijos. Estos puntos de ajuste son, por ejemplo, una o más temperaturas, energía de calentamiento, duración de la permanencia de la pieza en el horno, velocidad de traslación de la lámina para una línea continua, etc. Para cada equipo, los expertos en la materia saben qué puntos de ajuste se deben fijar y cómo
35 determinar el valor que se debe fijar a estos puntos de ajuste para lograr un tratamiento térmico particular definido por un ciclo térmico sufrido por la pieza.

[0017] Como se dijo anteriormente, el propósito de la presente invención es proponer a un experto en la materia quién puede producir una pieza particular que tenga las propiedades deseadas y quién sabe qué acero usar con qué
40 tipo de tratamiento térmico, particularmente un tratamiento de templado y partición, un procedimiento mediante el cual pueda determinar fácilmente cómo lograr un tratamiento térmico adecuado para la pieza utilizando un equipo particular.

[0018] Las piezas de acero formables de alta resistencia fabricadas por recocido, templado parcial y sobremaduración en líneas de recocido continuo a menudo están hechas de aceros que contienen, en % en peso:

45 - $0,1 \% \leq C \leq 0,5 \%$. Se requiere un contenido de carbono no inferior al 0,1 % para garantizar una resistencia satisfactoria y para estabilizar la austenita retenida que es necesaria para obtener una buena formabilidad. Si el contenido de carbono supera el 0,5 %, la soldabilidad es insuficiente.

50 - $0,5 \% \leq Si \leq 2 \%$ para estabilizar la austenita, para proporcionar un refuerzo de la solución sólida y para retardar la formación de carburos durante el sobremaduración. Cuando el contenido de Si supera el 2 %, se pueden producir óxidos de silicio en la superficie de la lámina, lo que es perjudicial para la capacidad de recubrimiento.

- $1 \% \leq Mn \leq 7 \%$ por tener una capacidad de endurecimiento suficiente para obtener una estructura con suficiente proporción de martensita, y así estabilizar la austenita promoviendo, por consiguiente, su estabilización a temperatura ambiente. Para algunas aplicaciones, el contenido de Mn es preferentemente inferior al 4 %.

55 - $Al \leq 2 \%$ - a contenidos bajos (menos del 0,5 %), el aluminio se utiliza para desoxidar el acero. A contenidos más altos, el Al retarda la formación de carburos, lo que es útil para la partición de carbono en austenita y para obtener una alta proporción de austenita retenida en la estructura. Preferentemente, el contenido de Al no debe ser inferior al 0,001 % para impedir la costosa selección de materiales.

60 - $P \leq 0,02 \%$ - El fósforo puede reducir la formación de carburos y, por lo tanto, promover la redistribución del carbono en austenita. Sin embargo, un contenido de fósforo demasiado alto fragiliza la lámina a temperaturas de laminado en caliente y reduce la tenacidad de la martensita. Preferentemente, el contenido de P no debe ser inferior al 0,001 % para impedir tratamientos de desfosforación costosos.

65 - $S \leq 0,01 \%$: El contenido de azufre debe ser limitado, ya que puede fragilizar el producto intermedio o final. Preferentemente, el contenido de S no debe ser inferior al 0,0001 % para impedir tratamientos de desulfuración costosos.

- $N \leq 0,02 \%$: Este elemento resulta de la elaboración. El nitrógeno se puede combinar con el aluminio para formar nitruros que limitan el engrosamiento del tamaño de grano de austenita durante el recocido. La fabricación de aceros con un contenido de N inferior al 0,001 % es más difícil y no proporciona ningún beneficio adicional.

- opcionalmente, el acero puede contener: $Ni \leq 0,5 \%$, $0,1 \% \leq Cr \leq 0,5 \%$; $0,1 \% \leq Mo \leq 0,3 \%$ y $Cu \leq 0,5 \%$. El Ni, el Cr y el Mo pueden aumentar la templabilidad, lo que permite obtener las estructuras deseadas en las líneas de producción. Sin embargo, estos elementos son costosos y, por lo tanto, su contenido es limitado. El Cu, a menudo presente como elemento residual, es capaz de endurecer el acero y puede reducir la ductilidad a temperaturas de laminación en caliente cuando está presente en un contenido demasiado alto.

- opcionalmente $0,02 \% \leq Nb \leq 0,05 \%$, $0,02 \% \leq V \leq 0,05 \%$, $0,001 \% \leq Ti \leq 0,15 \%$, $0,002 \% \leq Zr \leq 0,3 \%$. El Nb se puede usar para refinar el grano austenítico durante el laminado en caliente. El V se puede combinar con C y N para formar una precipitación de fortalecimiento fino. El Ti y el Zr se pueden usar para formar precipitados finos en los componentes ferríticos de la microestructura, aumentando por consiguiente la resistencia. Además, si el acero contiene B, Ti o Zr puede proteger el boro de la unión con N. La suma $Nb + V + Ti + Zr/2$ debe permanecer inferior al 0,2 % para no deteriorar la ductilidad.

15 - opcionalmente $0,0005 \% \leq B \leq 0,005 \%$. El boro se puede usar para mejorar la templabilidad y para impedir la formación de ferrita al enfriarse a partir de la temperatura de remojo completamente austenítica. Su contenido está limitado al 0,005 % porque por encima de este nivel, el agregado adicional no será efectivo.

[0019] El resto de la composición es Fe e impurezas inevitables resultantes de la elaboración. Esta composición se da como un ejemplo de los aceros más utilizados, pero no es limitativa.

[0020] Con dicho acero, se producen piezas como láminas laminadas o piezas estampadas en caliente y se tratan térmicamente para obtener las propiedades deseadas, como el límite elástico, la resistencia a la tracción, el alargamiento uniforme, el alargamiento total, la relación de expansión de orificios, las propiedades de flexión, etc. Estas propiedades dependen de la composición química y de la estructura micrográfica resultante del tratamiento térmico.

[0021] Para las láminas que se consideran en la presente invención, la estructura deseada, es decir, la estructura final después del tratamiento térmico completo, debe contener al menos martensita y austenita residual, el resto siendo ferrita y opcionalmente algo de bainita. Generalmente, el contenido de martensita es de más del 10 % y preferentemente de más del 30 % y la austenita residual es de más del 5 % y preferentemente de más del 10 %.

[0022] Como se explicó anteriormente, esta estructura resulta de un tratamiento térmico que comprende una etapa de recocido para obtener una estructura inicial total o parcialmente austenítica, un enfriamiento parcial (es decir, un enfriamiento a una temperatura entre Ms y Mf) inmediatamente seguido de un sobremaduración, y opcionalmente es seguido de una etapa de recubrimiento por inmersión, es decir, una etapa de recubrimiento por inmersión en caliente. La proporción de ferrita resulta de la temperatura de recocido. La proporción de martensita y austenita residual resulta de la temperatura de enfriamiento, es decir, la temperatura a la que se detiene el enfriamiento. Los expertos en la materia saben cómo determinar, ya sea mediante ensayos de laboratorio o mediante cálculos, la estructura y las propiedades mecánicas resultantes de un tratamiento térmico, cuya curva de tiempo/temperatura se muestra en la figura 1. Este tratamiento térmico consiste en:

- una etapa de calentamiento (1) hasta una temperatura de recocido AT, mayor que el punto de transformación Ac1 del acero, es decir, la temperatura a la que comienza a aparecer la austenita al calentarse, preferentemente la temperatura de recocido se elige de tal manera que la estructura a la temperatura de recocido contenga al menos un 50 % de austenita, y a menudo sea mayor que el punto de transformación Ac3 para obtener una estructura austenítica completa y, preferentemente, esta temperatura de recocido es menor que 1050 °C para no engrosar demasiado el tamaño de grano de la austenita,

- una etapa de retención (2) a esta temperatura,

50 - una etapa de templado (3) hasta una temperatura de templado QT comprendida entre la temperatura de transformación Ms (inicio de martensita) y Mf (final de martensita) de la austenita resultante del recocido para obtener justo después del templado una estructura que comprende martensita y austenita residual; para eso, el templado se debe realizar a una velocidad de enfriamiento suficiente para obtener una transformación martensítica, los expertos en la materia saben cómo determinar dicha velocidad de enfriamiento,

55 - un tratamiento térmico final que en este caso consiste en un calentamiento rápido (4) hasta una temperatura de sobremaduración PTo, una etapa de retención (5) a esta temperatura durante un tiempo Pto y una etapa de enfriamiento (6), hasta la temperatura ambiente. En este caso, el calentamiento rápido puede variar de 10 a 500 °C/s, por ejemplo.

60 **[0023]** Preferentemente, la temperatura de templado se elige de modo que la estructura justo después del templado contenga al menos el 10 % de martensita y al menos el 5 % de austenita. Cuando la temperatura de recocido es más alta que el punto de transformación Ac3 del acero, es decir, la estructura a la temperatura de recocido es completamente austenítica, la temperatura de templado se elige preferentemente de modo que la estructura justo después del templado contenga al menos el 10 % de austenita y al menos el 50 % de martensita.

65

[0024] Los expertos en la materia saben cómo determinar para cada acero las condiciones de recocido (temperatura de recocido y duración de retención) y las condiciones de templado (temperatura de templado y velocidad de enfriamiento) con las que es posible obtener una estructura deseada. También saben cómo determinar un tratamiento térmico final de referencia y las propiedades mecánicas que se obtienen mediante dicho tratamiento. Por lo tanto, para cada acero particular, los expertos en la materia pueden determinar qué niveles de propiedades mecánicas se pueden obtener mediante dichos tratamientos térmicos. Las propiedades mecánicas son, por ejemplo, propiedades de tracción tales como límite elástico y resistencia a la tracción o propiedades de ductilidad tales como alargamiento total, alargamiento uniforme, relación de expansión de orificios, propiedades de flexión. Pero, como las condiciones reales de tratamiento térmico de un producto particular, como una lámina o una pieza que se produce en un equipo de producción particular, no siempre son idénticas al tratamiento térmico de referencia, las condiciones de fabricación de cada producto particular en cada equipo de producción particular se deben adaptar en consecuencia.

[0025] Con el fin de determinar las condiciones de fabricación, es decir, las condiciones de tratamiento térmico en una línea de recocido continuo particular después del laminado o en un horno particular después del formado en caliente, tal como estampado en caliente, capaz de alcanzar las propiedades mecánicas deseadas, se realizan experimentos, por ejemplo, utilizando un equipo de laboratorio (simulador térmico) para reproducir tratamientos térmicos como se definió anteriormente, con el fin de determinar un tratamiento térmico de referencia capaz de obtener las propiedades deseadas. Este tratamiento térmico de referencia se define por una temperatura de recocido AT, una temperatura de templado QT, una temperatura de sobremaduración PT₀ y una duración de retención Pt₀ a esta temperatura de sobremaduración.

[0026] Los dispositivos de laboratorio capaces de implementar dichos tratamientos térmicos, conocidos como simuladores térmicos, son bien conocidos para los expertos en la materia.

[0027] Como se explicó anteriormente, el efecto del tratamiento térmico final a la temperatura PT₀ es dividir el carbono en la austenita. Esta partición da como resultado la transferencia por difusión del carbono de la martensita a la fase de austenita. Esta transferencia depende de la temperatura y de la duración de la retención. Para un tratamiento térmico correspondiente a una retención durante un tiempo t a una temperatura T, es decir, un ciclo térmico "rectangular" ideal, la eficiencia se puede estimar mediante un primer parámetro de tratamiento final OAP1 igual al producto del coeficiente de difusión del carbono a la temperatura de retención D(T) por la duración de la retención t:

$$OAP1 = D(T) \times t \quad (1)$$

[0028] Cuanto mayor sea el valor del parámetro, más avanzada será la partición y, por lo general, las propiedades de ductilidad, como el alargamiento total o uniforme o la relación de expansión de orificios, se mejoran o no se deterioran.

[0029] Además, durante el tratamiento final, el límite elástico de la martensita disminuye de un valor YS₀ antes del tratamiento final, a un valor YS_{ova} después del tratamiento final que depende del ciclo térmico del tratamiento final. Los inventores determinaron que el límite elástico YS₀ de la martensita fresca, es decir que la martensita que no se sometió a un tratamiento térmico adicional, se puede evaluar a partir de la composición química del acero mediante la siguiente fórmula:

$$YS_0 = 1740 \cdot C \cdot (1 + Mn/3.5) + 622 \quad (2)$$

donde YS₀ se expresa en MPa, y C y Mn son el contenido de carbono y manganeso del acero expresado en % en peso.

[0030] Los inventores también observaron recientemente que, para un ciclo térmico que consiste en una etapa de retención a una temperatura T durante una duración t, el límite de elasticidad, es decir, el límite de elasticidad de la martensita después del tratamiento final, se puede calcular mediante la fórmula:

$$YS_{ova} = YS_0 - 0.016 \cdot T \cdot (1 + \sqrt{t}) \quad (3)$$

con T: temperatura de retención en °C
t: duración de retención a la temperatura T, en segundos

[0031] Con esta fórmula, es posible determinar un segundo parámetro de tratamiento final OAP2, que es, para un ciclo térmico rectangular:

$$OAP2 = YS_0 - YS_{min} = 0.016 \cdot T \cdot (1 + \sqrt{r}) \quad (4)$$

[0032] Como el límite elástico de la estructura que consiste en varios constituyentes tales como martensita y austenita, resulta de los límites elásticos de estos constituyentes, cuanto mayor sea el parámetro OAP2, mayor será la reducción del límite elástico de la estructura final.

[0033] Como es esencialmente el límite elástico de la martensita el que se ve afectado por la partición, el efecto de la partición del carbono sobre el límite elástico de una estructura que contiene otro constituyente significativo distinto de la martensita, por ejemplo, austenita y ferrita, depende de la proporción de martensita en la estructura. En este caso, si M% es la proporción de martensita en la estructura en % y si se puede considerar que solo se debe considerar el efecto proporcional de la martensita, la reducción del límite elástico de la estructura es OAP2 x (M%/100).

[0034] En general, se desea que la partición que resulta del tratamiento térmico sea al menos suficiente para obtener buenas propiedades de ductilidad y, preferentemente, lo más avanzada posible, y que el límite elástico permanezca lo suficientemente alto.

[0035] Por lo tanto, en lugar de determinar un tratamiento de referencia, es posible determinar un primer parámetro de tratamiento final mínimo OAP1min y un segundo parámetro de tratamiento final máximo OAP2max, de modo que un tratamiento térmico correspondiente a estos parámetros proporcione las propiedades deseadas a la lámina. Y se considera que los tratamientos térmicos reales utilizados para fabricar láminas pueden corresponder a un primer parámetro de sobremaduración OAP1 mayor que el primer parámetro de tratamiento final mínimo OAP1min y a un segundo parámetro de sobremaduración OAP2 menor que el segundo parámetro de tratamiento final máximo OAP2max.

[0036] Cabe señalar que los dos parámetros OAP1 y OAP2 dependen solo del programa de tiempo/temperatura del tratamiento térmico y no representan propiedades del acero.

[0037] Para determinar el primero y el segundo parámetro de tratamiento final, es posible proceder de la siguiente manera. Los tratamientos térmicos que consisten en un recocido, un templeado a una temperatura de templeado y una sobremaduración se realizan usando un simulador térmico bien conocido en la técnica. El recocido y el templeado corresponden al tratamiento de referencia y son tales que se obtiene la estructura deseada. La sobremaduración es un ciclo térmico rectangular (o aproximadamente rectangular) que consiste en un calentamiento desde la temperatura de templeado hasta una temperatura de retención Toa rápidamente a una velocidad de calentamiento de al menos 10 °C/s, una retención a esta temperatura durante una duración t_{hol} y un enfriamiento a la temperatura ambiente a una velocidad de enfriamiento de al menos 10 °C/s pero no demasiado alta para no formar martensita fresca. Los expertos en la materia saben cómo determinar dicha velocidad de enfriamiento. Se realiza una pluralidad de tratamientos con diferentes duraciones de retención t_{hol1} , t_{hol2} , t_{hol3} , por ejemplo, y se miden las propiedades mecánicas. Con estos resultados, la duración mínima de retención necesaria para obtener las propiedades de ductilidad deseadas se determina t_{holmin} y se determina la duración máxima de retención t_{holmax} para la cual el límite elástico permanece más alto que el valor mínimo deseado YS_{mini} . Los expertos en la materia saben cómo determinar estas duraciones máximas y mínimas de retención. A continuación, el primer parámetro de tratamiento térmico final mínimo y el segundo parámetro de tratamiento térmico final máximo se determinan de la siguiente manera:

$$OAP1min = D(Toa) \times t_{holmin}$$

$$OAP2max = YS_0 - YS_{mini} = 0.016 \cdot Toa \cdot (1 + t_{holmax}^{1/2})$$

o, si se debe considerar el contenido de martensita M%:

$$OAP2max = YS_0 - YS_{mini} = 0.016 \cdot Toa \cdot (1 + t_{holmax}^{1/2}) / (M\%/100)$$

[0038] Por lo tanto, después de haber determinado la temperatura de recocido, la temperatura de templeado, el primer parámetro de tratamiento final mínimo OAP1min y el segundo parámetro de tratamiento final máximo OAP2max, se pueden determinar las condiciones del tratamiento final para el tratamiento térmico real de una pieza de acero dada que se realiza en condiciones industriales en un equipo particular (tal como una línea de recocido continuo particular u horno particular), siendo la temperatura de recocido y la temperatura de templeado iguales a las que se determinaron anteriormente.

[0039] Para el tratamiento final en condiciones industriales, se debe tener en cuenta que el ciclo térmico no es rectangular, sino que comprende un aumento progresivo de la temperatura hasta un valor máximo y, a continuación,

se mantiene en este valor, esta etapa generalmente va seguida de un enfriamiento a temperatura ambiente. La forma del ciclo térmico depende de los puntos de funcionamiento de los equipos que se utilizan para implementar el tratamiento final y de las características geométricas del producto que se trata. Para una lámina, las características geométricas son el espesor y el ancho. Los expertos en la materia saben qué parámetros se deben considerar, según las características del producto.

[0040] Por ejemplo, si la lámina se produce en una línea de recocido continuo sin recubrimiento por inmersión en caliente, el tratamiento final es un sobremaduración, cuya duración total depende de la velocidad de traslación de la lámina, que depende del espesor de la lámina como es sabido para los expertos en la materia. Cuanto más gruesa sea la lámina, menor será la velocidad, es decir, mayor será la duración de la retención de la etapa de sobremaduración. Dichos ciclos térmicos se muestran en la figura 2. En esta figura, una primera curva (10) muestra el ciclo térmico para una primera lámina que tiene un espesor e_0 . El aumento de temperatura después del enfriamiento a la temperatura QT, comienza en el tiempo t_0 y la etapa de retención termina en el tiempo $t_1(e_0)$. La duración de la etapa de sobremaduración ($t_1(e_0) - t_0$) es igual a la longitud L de la sección de sobremaduración de la línea de recocido continuo, dividida por la velocidad de traslación $v(e_0)$ de la lámina: $(t_1(e_0) - t_0) = L/v(e_0)$.

[0041] En la misma figura, una segunda curva (11) muestra el ciclo térmico para una segunda lámina que tiene un espesor e que es mayor que e_0 . En aras de la comparación, el momento en que comienza la partición, a partir de la temperatura QT, coincidió para la primera y la segunda curva. Por consiguiente, el ciclo térmico comienza en el tiempo t_0 y termina en el tiempo $t_1(e)$ que ocurre después del tiempo $t_1(e_0)$ porque, como el espesor e de la lámina es mayor que e_0 , la velocidad de traslación $v(e)$ es menor que la velocidad de traslación $v(e_0)$ de la primera lámina.

[0042] La porción de las curvas correspondiente a la etapa de calentamiento depende de la energía de calentamiento de la sección de sobremaduración de la línea de recocido continuo, del espesor y el ancho de la lámina y de su velocidad de traslación. La temperatura máxima que alcanza la lámina y a la que se mantiene la lámina al final de la sobremaduración se define por el punto de ajuste para la temperatura del horno de la sección de sobremaduración.

[0043] Los expertos en la materia saben cómo calcular la curva (temperatura/tiempo), a partir del tiempo t_0 , correspondiente a una lámina que tiene un espesor y ancho dados, para una velocidad de traslación, energía de calentamiento y temperatura de punto de ajuste dadas de la sección de sobremaduración.

[0044] Esto también es lo mismo para un corte en blanco de la hoja. Los expertos en la materia saben cómo calcular la curva teórica (temperatura/tiempo) para una pieza en bruto que tiene un espesor y tamaño dados, para una duración de retención dada en un horno y puntos operativos como la energía de calentamiento y la temperatura del punto de ajuste.

[0045] Con el fin de determinar el primero y el segundo parámetro de tratamiento final OAP1 y OAP2 que son característicos de un tratamiento final real, se puede observar que los primeros parámetros de tratamiento final OAP1 correspondientes a dos ciclos térmicos rectangulares son aditivos, es decir, que el primer parámetro de tratamiento final de un tratamiento final correspondiente a la aplicación de dos ciclos rectangulares es igual a la suma de los dos primeros parámetros de tratamiento finales correspondientes. Por lo tanto, es posible calcular el primer parámetro de tratamiento final OAP1 integrando el parámetro a lo largo del ciclo térmico. Por consiguiente, si t representa el tiempo, t_0 es el tiempo de inicio del ciclo de tratamiento final, t_1 es el tiempo de finalización del mismo y $T(t)$ la temperatura de la lámina en el tiempo t , el primer parámetro de tratamiento final OAP1 del ciclo es:

$$OAP1 = \int_{t_0}^{t_1} \exp(-Q/R(T(t) + 273)) dt \quad (5)$$

con:

- $R = 8.314 \text{ J/(mol.k)}$
- Q = energía de activación de la difusión del carbono. Para un acero que tiene la composición preferible según la invención, $Q = 148000 \text{ J/mol}$.
- T = temperatura en $^{\circ}\text{C}$.

[0046] En esta fórmula, t_0 y t_1 se pueden elegir según las condiciones particulares, es decir, t_0 puede ser, por ejemplo, el comienzo del calentamiento o el comienzo de la retención, y t_1 puede ser, por ejemplo, el final de la retención o el final del enfriamiento a temperatura ambiente. Los expertos en la materia saben cómo elegir t_0 y t_1 según las circunstancias.

[0047] De manera más simple, la fórmula se puede escribir de la siguiente manera:

$$OAP1 = \int_{t_0}^{t_f} \exp(-Q/R(T(t)+273)) dt$$

[0048] Donde, t_f es el tiempo final del ciclo de tratamiento que se considera.

- 5 **[0049]** Como es posible calcular el ciclo térmico $T(t)$ a partir de la velocidad de la lámina, la energía de calentamiento y el punto de ajuste para la temperatura de sobremaduración, es posible determinar la energía de calentamiento y el punto de ajuste para la temperatura de tratamiento final de modo que:

$$OAP1 > OAP1 \text{ min.}$$

- 10 **[0050]** De la misma manera, es necesario calcular el parámetro OAP2 de cualquier ciclo térmico. Para este propósito, se debe considerar que para un ciclo rectangular, siendo T_0 la temperatura inicial, es decir, la temperatura a la que la pieza se calienta rápidamente al comienzo del ciclo, OAP2 se puede calcular de la siguiente manera:

$$(OAP2 - a \cdot T_0)^2 = (YS_0 - YS_{\text{obj}} - a \cdot T_0)^2 = b^2 \cdot T^2 \cdot t \quad (6)$$

- 15 donde $a = b = 0,016$ si YS está en MPa, T en °C y t en segundos.

[0051] En cuanto a un ciclo rectangular, $T = T_0$, esta fórmula es completamente equivalente a la fórmula (3). Pero, contrariamente a la fórmula (3) que no es integrable, es posible usarla para calcular OAP2 para cualquier ciclo.

- 20 **[0052]** Los efectos de dos períodos de duración de retención sucesivos t_1 y t_2 a dos temperaturas T_1 y T_2 son acumulativos y las cantidades $(OAP2 - a \cdot T_0)^2$ correspondientes a la suma de los dos períodos de retención es igual a la suma de las cantidades $(OAP2 - a \cdot T_0)^2$ de cada período de retención:

$$[OAP2((t_1 \text{ a } T_1) + (t_2 \text{ a } T_2)) - a \cdot T_0]^2 = [OAP2(t_1 \text{ a } T_1) - a \cdot T_0]^2 + [OAP2(t_2 \text{ a } T_2) - a \cdot T_0]^2$$

- 25 **[0053]** Por consiguiente, es posible calcular el segundo parámetro de tratamiento final de un tratamiento final correspondiente a cualquier ciclo térmico particular, ya que se conoce el ciclo térmico.

- 30 **[0054]** Si $T(t)$ es la temperatura T en el tiempo t, y si t_0 y t_f son respectivamente el tiempo inicial y final del ciclo, es posible calcular:

$$(OAP2 - a \cdot T_0)^2 = b^2 \cdot \int_{t_0}^{t_f} T(t)^2 dt \quad (7)$$

- 35 **[0055]** Y el parámetro OAP2 es:

$$OAP2 = a \cdot T_0 + b \cdot \left(\int_{t_0}^{t_f} T(t)^2 dt \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

- 40 **[0056]** En esta fórmula, T_0 es la temperatura en $t = t_0$.

- [0057]** Estos parámetros dependen solo del programa de temperatura/tiempo real del tratamiento térmico. En cuanto a una lámina o pieza en particular que se trata térmicamente en un equipo en particular, este programa de temperatura/tiempo depende directamente de los puntos de funcionamiento de ese equipo y de la geometría de la lámina o pieza. Los expertos en la materia saben cómo calcular los puntos de funcionamiento, como la energía de calentamiento y la temperatura del punto de ajuste, de modo que:
- 45

$$OAP1 \geq OAP1 \text{ min y } OAP2 \leq OAP2 \text{ max.}$$

- [0058]** Cabe destacar que, cuando el tratamiento se realiza utilizando una línea continua donde una lámina está en traslación, los expertos en la materia saben que se debe considerar la velocidad de traslación de la lámina y el espesor y, finalmente, el ancho de la lámina.
- 50

[0059] Para una lámina fabricada en una línea de recocido continuo, cuando se determinan los parámetros para el tratamiento térmico, es decir, la velocidad de traslación de la lámina, la temperatura de recocido, la temperatura de templado, la energía de calentamiento y la temperatura de sobremaduración del punto de ajuste, la lámina se fabrica en consecuencia.

[0060] Cuando la lámina se recubre por inmersión en caliente después de la sobremaduración, el tratamiento final comprende el recubrimiento y se deben tener en cuenta los ciclos térmicos correspondientes al recubrimiento.

10 **[0061]** Por ejemplo, cuando la lámina se galvaniza después de la sobremaduración, la lámina se mantiene a una temperatura de galvanización T_G , generalmente, esta temperatura es de aproximadamente 470 °C, durante un tiempo t_G generalmente entre 5 s y 15 s (véase la figura 3).

[0062] En este caso, es posible calcular el primero y el segundo parámetro de tratamiento final OAP1 y OAP2 correspondientes a todo el ciclo térmico después del tiempo t_0 , es decir, incluyendo el recubrimiento y opcionalmente el enfriamiento a la temperatura ambiente, y son estos parámetros los que se deben considerar. La energía de calentamiento y la temperatura de sobremaduración del punto de ajuste deben ser tales que:

$$\text{OAP1 (etapa de sobremaduración y etapa de recubrimiento)} \geq \text{OAP1min}$$

$$\text{OAP2 (etapa de sobremaduración y etapa de recubrimiento)} \leq \text{OAP2 máx}$$

20

[0063] Opcionalmente, la lámina de acero se puede galvanizar y recocer, es decir que se puede someter a un ciclo térmico después de la galvanización que provoca la difusión de hierro en el recubrimiento de zinc. El ciclo correspondiente (véase la figura 4) que comprende una etapa de retención a la temperatura T_g con una duración t_g , y una etapa de retención posterior a la temperatura T_{ga} con una duración t_{ga} . Estas etapas de retención a la temperatura T_g y T_{ga} se deben considerar para los cálculos de OAP1 y OAP2 según las expresiones (5) y (8) anteriores.

25

[0064] En la realización anterior de la invención, las características del tratamiento térmico se determinan en función de las pruebas de laboratorio. Sin embargo, según otra realización de la invención, también es posible determinar un tratamiento térmico de referencia a partir de la prueba con una lámina que tiene un espesor e_0 , en una línea de recocido continua real. Mediante estas pruebas, opcionalmente completadas por pruebas de laboratorio, es posible determinar la temperatura de recocido, la temperatura de templado y el primer parámetro de sobremaduración mínimo y el segundo parámetro de sobremaduración máximo. Por consiguiente, es posible determinar los ajustes de la línea de recocido continuo para láminas de cualquier espesor.

30

35 **[0065]** El procedimiento que se acaba de describir se refiere al tratamiento térmico realizado en una línea de recocido continuo. Pero los expertos en la materia son capaces de adaptar el procedimiento a cualquier otro procedimiento de fabricación de dicha lámina o pieza.

[0066] Por ejemplo, a través de experimentos de laboratorio se determinó que fue posible obtener un límite elástico de más de 1100 MPa, una resistencia a la tracción de más de 1300 MPa, un alargamiento total de al menos 12 % en una lámina de acero que contiene 0,21 % de C, 2,2 % de Mn, 1,5 % de Si, con un tratamiento térmico que consiste en un recocido a 850 °C ($>A_{c3}$), una temperatura de templado de 250 °C y un calentamiento rápido hasta una etapa de sobremaduración a una temperatura de 460 °C durante un tiempo de duración de al menos 10 s. La estructura del acero consiste en martensita y alrededor del 10 % de austenita retenida. Los ejemplos experimentales se determinaron para tres tiempos de partición diferentes: 10 s, 100 s y 300 s. Las condiciones, las estructuras y las propiedades mecánicas resultantes de los tratamientos se informan en la Tabla I.

45

[0067] Sobre la base de experimentos de laboratorio, los parámetros de tratamiento final OAP1 y OAP2 se pueden determinar para cada tiempo de partición utilizando las siguientes ecuaciones:

50

$$\text{OAP1 exp.} = [\exp(-148000/(8.314 \cdot (460 + 273)))] \cdot t$$

$$\text{OAP2 exp.} = (0.016 \cdot 460) + (0.016 \cdot 460 \cdot t^{0.5})$$

[0068] Los valores obtenidos de OAP1 exp. y OAP2 exp. también se informan en la Tabla I.

55

[0069] Los resultados muestran que, con un tratamiento térmico correspondiente a la prueba 1, se obtienen las propiedades deseadas. Como esta prueba tiene el parámetro más bajo OAP1, significa que el valor correspondiente del parámetro se puede elegir como OAP1min.

[0070] El valor de OAP1min, determinado en base a experimentos de laboratorio, es:

$$\text{OAP1 min.} = [\exp(-148000/(8.314 \cdot (460+273)))] \cdot 10 = 2.84 \cdot 10^{-10}$$

5 **[0071]** Según la fórmula (2), el límite elástico de la martensita fresca YS_0 es:

$$YS_0 = 1740 \cdot 0.21 \cdot (1 + 2.2/3.5) + 622 = 1217 \text{ MPa.}$$

[0072] En este caso, como la estructura contiene aproximadamente el 90 % de martensita, se puede considerar y el segundo parámetro de tratamiento final máximo OAP2max es:

$$\text{OAP2 max} = 1217 - 1100 = 117.$$

[0073] Este valor es mayor que el parámetro OAP2 exp. de los ejemplos 1 y 2, pero menor que el del ejemplo 3. El límite elástico obtenido con los tratamientos experimentales 1 y 2 es superior a 1100 MPa, los Ejemplos 1 y 2 respetan la condición $\text{OAP2} < 117$, sin embargo, por el contrario, el Ejemplo 3 muestra un valor de OAP2 superior a 117 y, por tanto, el límite elástico no alcanza el valor de 1100 MPa.

[0074] Finalmente, implementar ciclos de sobremaduración que cumplan con: $\text{OAP1} \geq 2.84 \cdot 10^{-10}$, y $\text{OAP2} < 117$, permite alcanzar las propiedades mecánicas deseadas para la composición investigada.

Tabla 1

Prueba	AT (°C)	QT (°C)	Temperatura sobremaduración (°C)	Tiempo de temperatura(s) sobremaduración	duración de	aEstructura	YS (MPa)	TS (MPa)	TE %	OAP1 exp.	OAP2 exp.
1	850	270	460	10		M+12 % A	1186	1304	12,9	$2,84 \cdot 10^{-10}$	30,6
2	850	270	460	100		M+11 % A	1141	1284	13,1	$2,84 \cdot 10^{-9}$	81
3	850	270	460	300		M+9% A	1054	1283	10,5	$8,51 \cdot 10^{-9}$	134,8

[0075] Por ejemplo, consideramos dos láminas, una que tiene un espesor de 0,8 mm, la otra de 1,2 mm que se fabricará en una línea continua que tiene una sección de sobremaduración que comprende una primera porción para un primer calentamiento y una segunda porción para un segundo calentamiento. Para cada porción de la sección de sobremaduración, se deben determinar los puntos de ajuste correspondientes a la temperatura a la que se calienta la lámina en dicha sección. Además, la velocidad de desplazamiento de la lámina se define de tal manera que, cuando el espesor es de 0,8 mm, el tiempo durante el cual una porción de la lámina se mantiene en la primera porción es de 50 s y en la segunda porción es de 100 s, cuando el espesor es de 1,2 mm, el tiempo en la primera porción es de 70 s y en la segunda porción es de 140 s.

[0076] Con estas condiciones se puede calcular fácilmente que, para la lámina que tiene un espesor de 1,2 mm, los puntos de ajuste pueden ser para la primera porción 290 °C y para la segunda sección 390 °C, y para la lámina que tiene un espesor de 0,8 mm, los puntos de ajuste pueden ser para la primera porción 350 °C y para la segunda porción 450 °C. Con dichos puntos de ajuste, los parámetros son tales que $OAP1 > OAP1min = 2,84 \cdot 10^{-10}$ y $OAP2 \leq OAP2max = 117$. Más precisamente, para la lámina que tiene un espesor de 1,2 mm, $OAP1 = 3,07 \cdot 10^{-10}$ y $OAP2 = 117$, y para la lámina que tiene un espesor de 0,8 mm, $OAP1 = 2,04 \cdot 10^{-9}$ y $OAP2 = 117$.

[0077] Cuando se determinan estos puntos de ajuste, las láminas se pueden producir en la línea que se ejecuta en consecuencia.

[0078] Según otro ejemplo, consideramos dos láminas, una que tiene un espesor de 0,8 mm, la otra de 1,2 mm que se fabricará en una línea continua que tiene una sección de sobremaduración que comprende una porción para un calentamiento y una sección de recocido galvanizado que comprende una sección de galvanización a una temperatura de galvanización $T_G = 470$ °C, y una sección de aleación a una temperatura $T_{ga} = 520$ °C. Para el tratamiento de referencia, la temperatura de sobremaduración es de 460 °C y el tiempo a la temperatura de sobremaduración es de 220 s. Para la sección de sobremaduración, la sección de galvanización y la sección de aleación, se deben determinar los puntos de ajuste correspondientes a la temperatura a la que se calienta la lámina en dicha sección. Además, la velocidad de funcionamiento de la lámina se define de tal manera que, cuando el espesor es de 0,8 mm, el tiempo durante el cual una porción de la lámina se mantiene en la sección de sobremaduración es de 270 s, el tiempo durante el cual una porción de la lámina se mantiene en la sección de galvanización es de 8 s y el tiempo durante el cual una porción de la lámina se mantiene en la sección de aleación, la segunda porción es de 25 s. Cuando el espesor es de 1,2 mm, el tiempo en la sección de sobremaduración es de 180 s, el tiempo en la sección de galvanización es de 5 s y el tiempo en la sección de aleación es de 15 s.

[0079] Con estas condiciones se puede calcular fácilmente que, para la lámina que tiene un espesor de 1,2 mm, el punto de ajuste puede ser para la sección de sobremaduración 480 °C, de modo que $OAP1 = 1,26 \cdot 10^{-8}$ y $OAP2 = 117$, y para la lámina que tiene un espesor de 0,8 mm, el punto de ajuste puede ser para la porción de sobremaduración 410 °C, de modo que $OAP1 = 6,06 \cdot 10^{-9}$ y $OAP2 = 117$.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para producir una pieza de acero de alta resistencia que tiene propiedades mecánicas deseadas, que comprende:

- determinar un tratamiento térmico de referencia capaz de obtener las propiedades deseadas, el tratamiento térmico de referencia consiste en un primer tratamiento de referencia que confiere a la pieza de acero una estructura definida y un tratamiento de referencia final que consiste en una sobremaduración,

el primer tratamiento térmico de referencia se define por una temperatura de recocido AT mayor que el punto de transformación Ac1 del acero y menor que 1050 °C, una retención a la temperatura de recocido AT, una temperatura de templado QT comprendida entre Ms, es decir, inicio de martensita, y Ms, es decir, acabado de martensita, temperatura de transformación de la austenita resultante del recocido, y una velocidad de enfriamiento durante el templado suficiente para obtener una transformación martensítica para obtener justo después del templado una estructura que comprende martensita y austenita residual, el tratamiento de referencia final siendo definido por una temperatura de sobremaduración PT₀, una velocidad de calentamiento rápida a la temperatura de sobremaduración PT₀ de 10 °C/s a 500 °C/s, una duración de retención PT₀ a esta temperatura de sobremaduración y un enfriamiento a temperatura ambiente, el tratamiento térmico de referencia da como resultado una estructura final que contiene al menos martensita y austenita residual, el resto siendo ferrita y opcionalmente algo de bainita;

- tratar térmicamente la pieza en un equipo que comprende al menos medios de sobremaduración para obtener las propiedades mecánicas deseadas para la pieza, la etapa de tratamiento térmico comprende al menos un tratamiento final realizado en la pieza de acero que tiene la misma estructura que la estructura definida resultante de dicho primer tratamiento de referencia, el tratamiento final consiste en una etapa de sobremaduración o de una etapa de sobremaduración seguida de una etapa de recubrimiento por inmersión en caliente, la etapa de sobremaduración se realiza en dichos medios de sobremaduración para los cuales es posible establecer al menos un punto de operación, para el que se pueden calcular dos parámetros de tratamiento final OAP1 y OAP2 dependiendo de dicho al menos un punto de operación de los medios de sobremaduración, donde la pieza de acero es una lámina de acero producida en una línea continua y el medio de sobremaduración es una sección de sobremaduración de una línea de recocido continuo, y antes de entrar en la sección de sobremaduración, la lámina se recuece y se temple según el primer tratamiento de referencia, la lámina se mueve a una velocidad V,

caracterizado porque el procedimiento comprende las etapas de:

- determinar un primer parámetro de tratamiento final mínimo OAP1min y un segundo parámetro de tratamiento final máximo OAP2max respectivamente, con el fin de obtener las propiedades mecánicas deseadas, realizando una pluralidad de experimentos con sobremaduración que consisten en un calentamiento desde la temperatura QT hasta una temperatura de retención Th a una velocidad de calentamiento de más de 10 °C/s, una etapa de retención a la temperatura de retención Th durante una pluralidad de duraciones tm y un enfriamiento hasta la temperatura ambiente a una velocidad de enfriamiento superior a 10 °C/s, pero no demasiado alta para no formar martensita fresca en la estructura,

- determinar el al menos un punto de funcionamiento del medio de la sección de sobremaduración de modo que el primer parámetro de tratamiento final OAP1 y el segundo parámetro de tratamiento final OAP2 resultantes de los puntos de funcionamiento cumplan con lo siguiente:

$$OAP1 \geq OAP1 \text{ min}$$

y

$$OAP2 \leq OAP2 \text{ max,}$$

los puntos de funcionamiento que se determinan comprenden al menos uno de los siguientes puntos de funcionamiento: la velocidad de la lámina, la energía térmica y la temperatura de sobremaduración, - donde, si T(t) es la temperatura en °C de la pieza de acero en el tiempo t, t₀ el tiempo del comienzo del tratamiento final y t_f el tiempo del final del tratamiento final:

el primer parámetro de sobremaduración OAP1 correspondiente es:

$$OAP1 = \int_{t_0}^{\infty} \exp(-Q/R(T(t)+273)) dt$$

donde Q = energía de activación de la difusión de carbono y R = constante de gas ideal, R = 8,314 J/(mol.K), y el segundo parámetro de sobremaduración OAP2 es:

$$OAP2 = a * T_0 + b * \left(\int_{t_0}^{\infty} T(t)^2 dt \right)^{\frac{1}{2}}$$

T₀ es la temperatura en el tiempo t₀, con, a = b = 0.016, t es en segundos y **caracterizado porque** la etapa de tratamiento térmico de la pieza en el equipo se realiza según los puntos de funcionamiento determinados del medio de sobremaduración.

2. Un procedimiento para producir una pieza de acero de alta resistencia que tiene propiedades mecánicas deseadas, que comprende:

- determinar un tratamiento térmico de referencia capaz de obtener las propiedades deseadas, el tratamiento térmico de referencia consiste en un primer tratamiento de referencia que confiere a la pieza de acero una estructura definida y un tratamiento de referencia final que consiste en una sobremaduración,

el primer tratamiento térmico de referencia se define por una temperatura de recocido AT mayor que el punto de transformación Ac1 del acero y menor que 1050 °C, una retención a la temperatura de recocido AT, una temperatura de templado QT comprendida entre Ms, es decir, inicio de martensita, y Ms, es decir, acabado de martensita, temperatura de transformación de la austenita resultante del recocido, y una velocidad de enfriamiento durante el templado suficiente para obtener una transformación martensítica para obtener justo después del templado una estructura que comprende martensita y austenita residual,

el tratamiento de referencia final siendo definido por una temperatura de sobremaduración PT₀, una velocidad de calentamiento rápida a la temperatura de sobremaduración PT₀ de 10 °C/s a 500 °C/s, una duración de retención Pt₀ a esta temperatura de sobremaduración,

y un enfriamiento a temperatura ambiente,

el tratamiento térmico de referencia da como resultado una estructura final que contiene al menos martensita y austenita residual, el resto siendo ferrita y opcionalmente algo de bainita,

- tratar térmicamente la pieza en un equipo que comprende al menos medios de sobremaduración para obtener las propiedades mecánicas deseadas para la pieza, la etapa de tratamiento térmico comprende al menos un tratamiento final realizado en la pieza de acero que tiene la misma estructura que la estructura definida resultante de dicho primer tratamiento de referencia, el tratamiento final consiste al menos en una etapa de sobremaduración o de una etapa de sobremaduración seguida de una etapa de recubrimiento por inmersión en caliente, la etapa de sobremaduración se realiza en dichos medios de sobremaduración para el cual es posible establecer al menos un punto de operación, para los que se pueden calcular dos parámetros de tratamiento final OAP1 y OAP2 dependiendo de dicho al menos un punto de operación de los medios de sobremaduración,

donde la pieza de acero es una pieza formada en caliente y el medio de sobremaduración es un horno donde se mantiene la pieza, y justo antes de entrar en el horno, la estructura de la pieza formada en caliente es la misma que la estructura de la pieza después del primer tratamiento de referencia,

caracterizado porque el procedimiento comprende las etapas de:

- determinar un primer parámetro de tratamiento final mínimo OAP1min y un segundo parámetro de tratamiento final máximo OAP2max respectivamente, con el fin de obtener las propiedades mecánicas deseadas, realizando una pluralidad de experimentos con sobremaduración que consisten en un calentamiento desde la temperatura QT hasta una temperatura de retención Th a una velocidad de calentamiento de más de 10 °C/s, una etapa de retención a la temperatura de retención Th durante una pluralidad de duraciones tm y un enfriamiento hasta la temperatura ambiente a una velocidad de enfriamiento superior a 10 °C/s, pero no demasiado alta para no formar martensita fresca en la estructura,

- determinar el al menos un punto de funcionamiento del medio de la sección de sobremaduración de modo que el primer parámetro de tratamiento final OAP1 y el segundo parámetro de tratamiento final OAP2 resultantes de los puntos de funcionamiento cumplan con lo siguiente:

$$OAP1 \geq OAP1 \text{ min}$$

y

$$OAP2 \leq OAP2 \max,$$

- 5 los puntos de funcionamiento que se determinan comprenden al menos uno de los siguientes puntos de funcionamiento: una duración de retención de la pieza en el horno, la energía térmica y la temperatura de sobremaduración
donde, si $T(t)$ es la temperatura en °C de la pieza de acero en el tiempo t , t_0 el tiempo del comienzo del tratamiento final y t_f el tiempo del final del tratamiento final:

- 10 el primer parámetro de sobremaduración OAP1 correspondiente es:

$$OAP1 = \int_{t_0}^{t_f} \exp(-Q/R(T(t)+273)) dt$$

- 15 donde Q = energía de activación de la difusión de carbono y R = constante de gas ideal, $R = 8,314 \text{ J}/(\text{mol.K})$, y el segundo parámetro de sobremaduración OAP2 es:

$$OAP2 = a * T_0 + b * \left(\int_{t_0}^{t_f} T(t)^2 dt \right)^{\frac{1}{2}}$$

- 20 T_0 es la temperatura en el tiempo t_0 ,
con $a = b = 0,016$, estando t en segundo lugar,

y **caracterizado porque** la etapa de tratamiento térmico de la pieza en el equipo se realiza según los puntos de funcionamiento determinados del medio de sobremaduración.

- 25 3. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, donde las propiedades mecánicas deseadas son valores mínimos para al menos una propiedad de tracción tal como el límite elástico y/o la resistencia a la tracción y para al menos una propiedad de ductilidad tal como el alargamiento total y/o el alargamiento uniforme y/o la relación de expansión de orificios y/o las propiedades de flexión.

- 30 4. El procedimiento según la reivindicación 1 a 3, donde la temperatura de recocido AT del primer tratamiento de referencia se selecciona de modo tal que permita obtener antes del templado una estructura que contiene al menos un 50 % de austenita, y la temperatura de templado QT del primer tratamiento de referencia es menor que el punto de transformación M_s del acero para obtener una estructura que comprende justo después del templado al menos martensita y austenita, y la sobremaduración del tratamiento de referencia final se realiza a una
35 temperatura no menor que la temperatura de templado QT y menor que el punto de transformación Ac_1 del acero.

5. El procedimiento según la reivindicación 4, donde el recocido se realiza a una temperatura superior a Ac_3 para obtener antes del templado una estructura completamente austenítica.

- 40 6. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde la etapa de recubrimiento por inmersión en caliente es una etapa de galvanizado o recocido galvanizado.

7. El procedimiento según la reivindicación 1, donde, para determinar el primer parámetro de tratamiento final mínimo y el segundo parámetro de tratamiento final máximo, se realizan experimentos en una línea de recocido
45 continua.

8. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde la composición química del acero comprende en % en peso:

$$0.1\% \leq C \leq 0.5\%$$

$$0.5\% \leq Si \leq 2\%$$

$$1\% \leq Mn \leq 7\%$$

$$Al \leq 2\%$$

$$P \leq 0.02\%$$

$$S \leq 0.01\%$$

$$N \leq 0.02\%$$

opcionalmente uno o más elementos seleccionados de entre Ni, Cr, Mo, Cu, Nb, V, Ti, Zr y B, cuyo contenido es tal que:

5

$$Ni \leq 0.5\%,$$

$$0.1\% \leq Cr \leq 0.5\%,$$

$$0.1\% \leq Mo \leq 0.03\%$$

$$Cu \leq 0.5\%$$

$$0.02\% \leq Nb \leq 0.05\%$$

$$0.02\% \leq V \leq 0.05\%$$

$$0.001\% \leq Ti \leq 0.15\%$$

$$0.2\% \leq Zr \leq 0.3\%$$

$$0.0005\% \leq B \leq 0.005\%$$

con:

10

$$Nb + V + Ti + Zr/2 \leq 0.2\%.$$

el resto siendo Fe e impurezas inevitables.

15 9.

El procedimiento según la reivindicación 8, donde $Q = 148\,000\text{ J/mol}$.

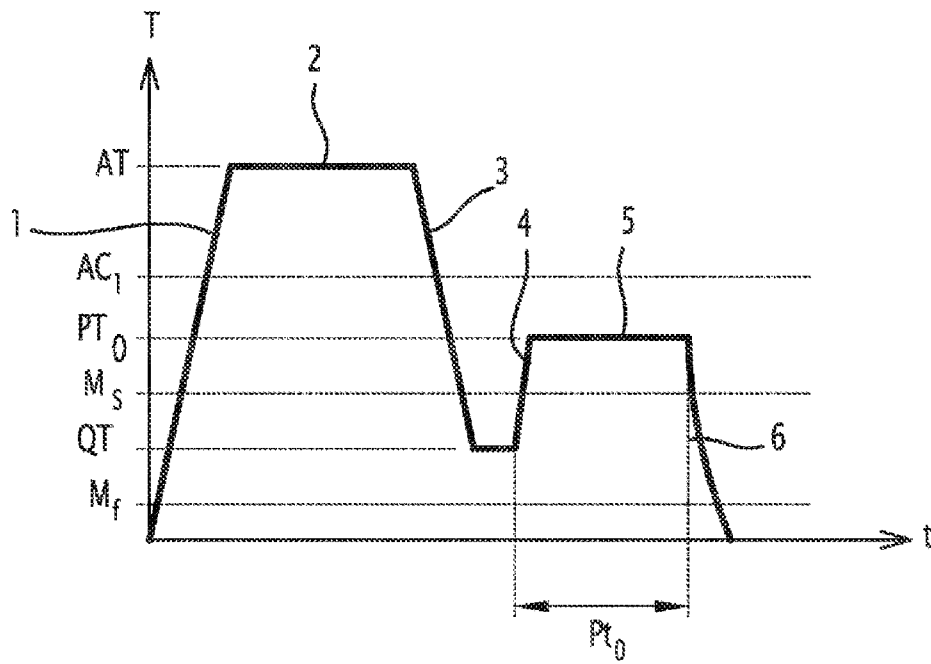


FIG.1

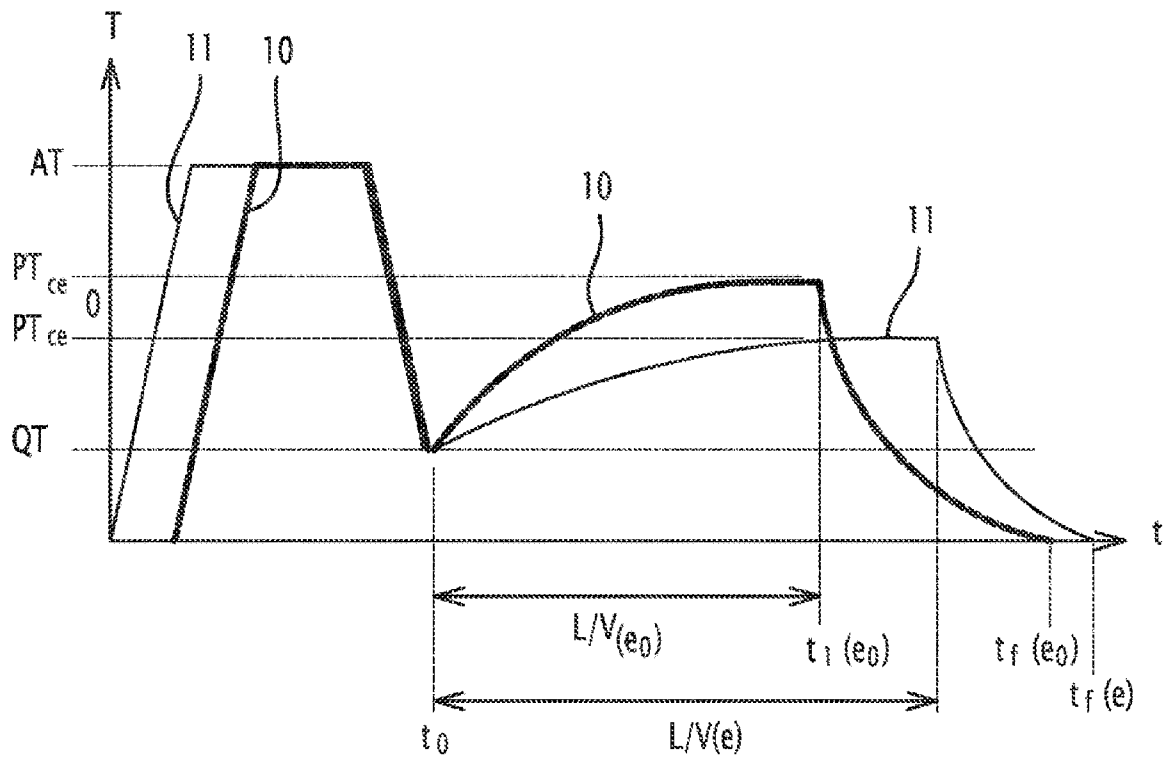


FIG.2

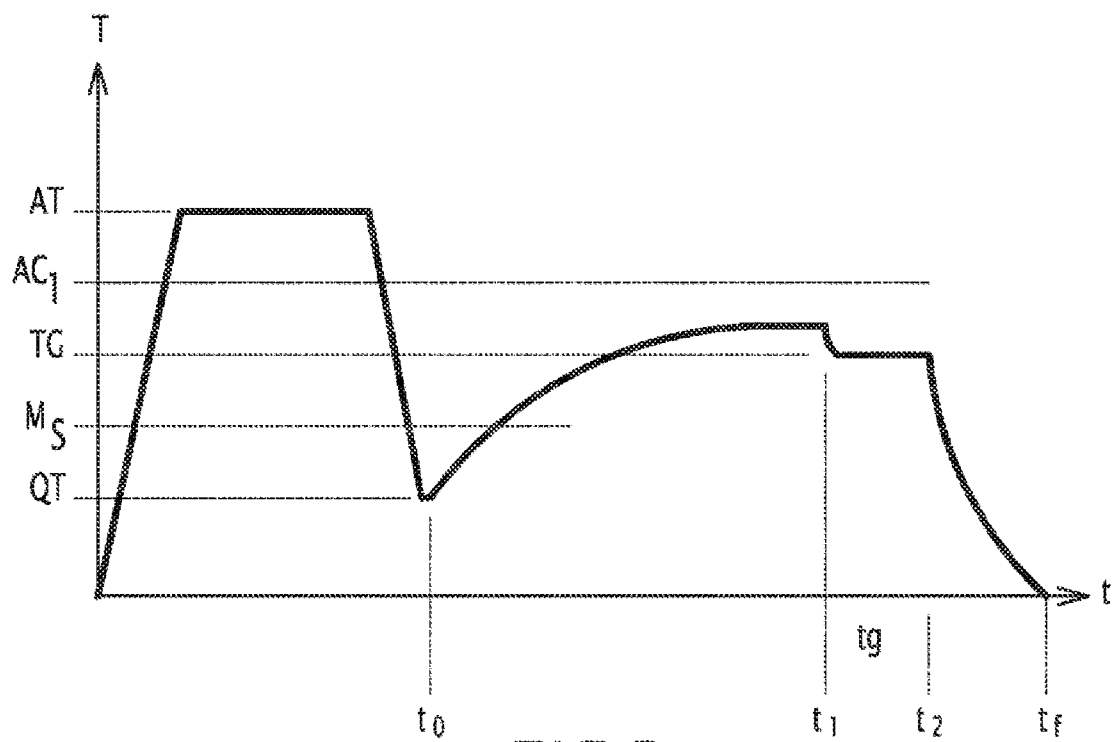


FIG.3

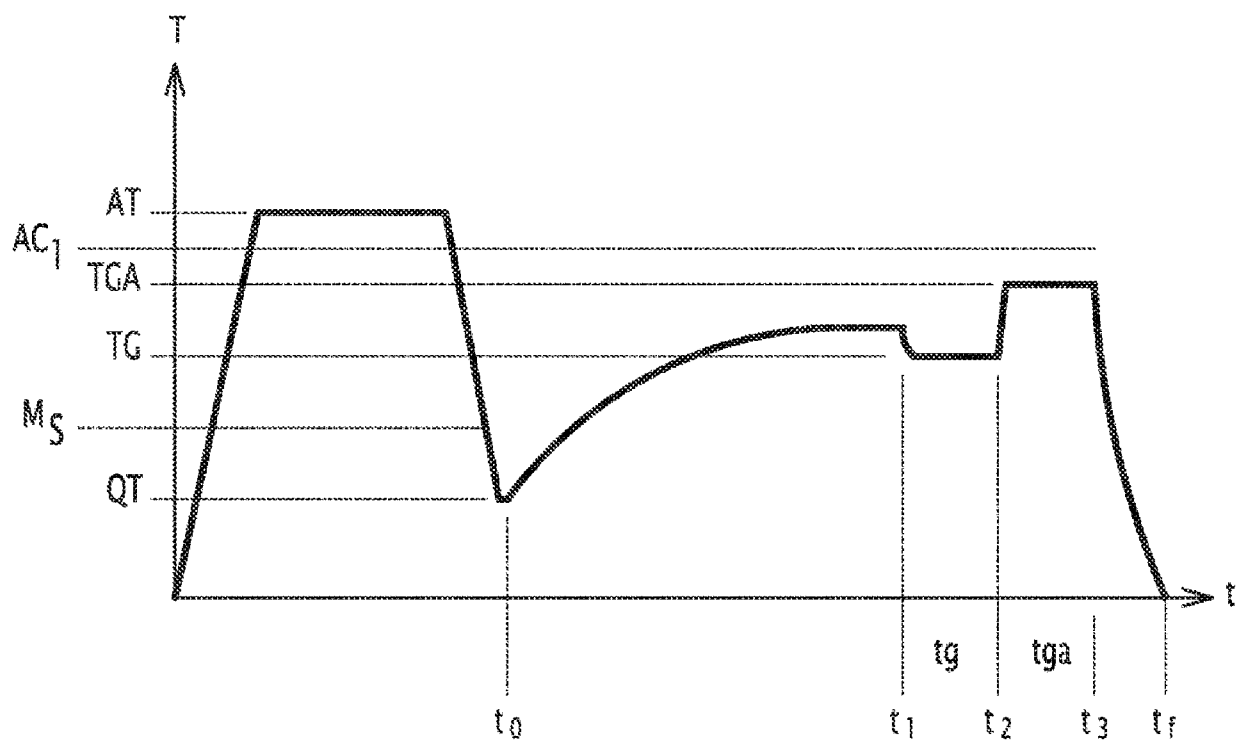


FIG.4