

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 523 519**

51 Int. Cl.:

C22C 38/22 (2006.01)

C21D 1/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.07.2009 E 11184809 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.11.2014 EP 2410070**

54 Título: **Acero bainítico y métodos de fabricación del mismo**

30 Prioridad:

31.07.2008 GB 0814003

05.11.2008 GB 0820184

05.11.2008 GB 0820212

18.12.2008 GB 0822991

05.11.2008 GB 0820201

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

26.11.2014

73 Titular/es:

**THE SECRETARY OF STATE FOR DEFENCE
(100.0%)**

**DSTL, Porton Down
Salisbury, Wiltshire SP4 0JQ , GB**

72 Inventor/es:

**BHADESHIA, HARSHAD;
GARCIA-MATEO, CARLOS y
BROWN, PETER**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 523 519 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

Acero bainítico y métodos de fabricación del mismo

5 Esta invención se refiere a un acero bainítico y a los métodos de fabricación del mismo. En particular se refiere, pero no se limita a, los aceros adecuados para blindaje. La invención también se refiere a las microestructuras de transición que se pueden procesar después en acero bainítico.

Un acero principalmente bainítico es un acero convencional con al menos un 50 % de estructura de ferrita bainítica. La bainita se clasifica en dos grupos, bainita superior e inferior.

La bainita superior está libre de precipitado de carburo dentro de los granos de la ferrita bainítica, pero puede tener carburo precipitado en los límites.

10 La bainita inferior tiene carburo precipitado en el interior de los granos de la ferrita bainítica a un ángulo característico en los límites del grano. También puede haber carburos precipitados en los límites.

15 Más recientemente se ha descrito bainita libre de carburo que comprende entre 90 % y 50 % de bainita, siendo el resto austenita, en la que el exceso de carbono se mantiene dentro de la ferrita bainítica a una concentración más allá de la consistente con el equilibrio; también hay partición parcial del carbono en la austenita residual. Tal acero bainítico tiene plaquetas muy finas de bainita (100 nm de espesor o menos). En esta memoria descriptiva la expresión "Acero Súper Bainítico" se utiliza para tal acero.

20 El Documento WO 01/011096 A (LA SECRETARIA DE ESTADO DE DEFENSA) de 1502/2001 describe y reivindica un acero principalmente bainítico. Aunque este material tiene bajos costos de aleación en comparación con otros aceros de blindaje duros conocidos, la fabricación implica calentamientos durante largos períodos, particularmente en la transformación a bainita con el resultado de altos costos de energía y largas escalas de tiempo de producción. Este acero bainítico es también muy difícil de mecanizar, taladrar o conformar. Como resultado de ello, su utilidad industrial es limitada.

25 Brown y Baxter en MS&T 2004 Conference Proceedings páginas 434 a 438 describen un material similar haciendo notar que mientras el uso de aluminio y cobalto era exitoso en la reducción de los tiempos de procesado, el elevado costo del cobalto hacía que el mismo un material no económico industrialmente.

La presente invención proporciona un proceso sustancialmente más económico para la fabricación del Acero Súper Bainítico que los procesos existentes hasta la fecha. Los procesos de fabricación descritos en el presente documento también permiten un mecanizado, taladrado y conformado más fácil de tales materiales que los existentes hasta la fecha.

30 En la presente invención, en las reivindicaciones se da un método de fabricación de un acero bainítico que comprende entre 90 % y 50 % de bainita, siendo el resto austenita, en el que el exceso de carbono permanece dentro de la ferrita bainítica a una concentración más allá de la consistente con el equilibrio con la partición parcial del carbono en la austenita residual caracterizado porque incluye la etapa de transformar en bainita por enfriamiento de un acero que comprende en porcentaje en peso: carbono 0,6 % a 1,1 %, manganeso 0,3 % a 1,8 %, níquel hasta 3 %, cromo 0,5 % a 1,5 %, molibdeno hasta 0,5 %, vanadio hasta 0,2 %, 0,5 % a 2,0 % de silicio, y el resto hierro salvo por impurezas incidentales, suficientemente y rápidamente para evitar la formación de la perlita a partir de una temperatura por encima de su temperatura de transición de la austenita a una temperatura por encima de su temperatura de inicio de la martensita pero por debajo de la temperatura de inicio de la bainita y mantener al acero dentro de ese rango de temperaturas durante 3 días o menos.

40 El acero fabricado según el método de fabricación de acero puede ser muy duro, 550HV a 750HV.

Se prefiere el silicio al aluminio tanto por razones de costo como por facilidad de fabricación, por lo tanto para aceros de blindaje normalmente no se podría usar el aluminio. El contenido mínimo de silicio práctico es 0,5 % en peso y no debe exceder del 2 % en peso. El exceso de silicio hace que el proceso sea difícil de controlar.

Los rangos preferidos de algunos de los otros constituyentes del Acero Súper Bainítico son, en porcentaje en peso:

45 manganeso 0,5 % a 1,5 %;

cromo 1,0 % a 1,5 %;

molibdeno 0,2 % a 0,5 %;

vanadio 0,1 % a 0,2 %.

50 La presencia de molibdeno retrasa la transformación de la perlita. Por lo tanto, esto hace que la transformación final a bainita sea más fácil ya que se reduce el riesgo de transformación a perlita. La presencia de vanadio ayuda a la tenacidad.

Al variar el contenido de manganeso, se ha encontrado que se puede variar la velocidad de transición a la bainita,

- cuanto más alto sea el contenido de manganeso más lenta será la transición. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, se ha encontrado que un contenido de manganeso de aproximadamente 1 % en peso proporciona un compromiso razonable entre la velocidad de transición (y de ese modo más bajos costos de energía) y la capacidad de controlar el proceso. En realidad, el contenido de manganeso, incluso si está orientado al 1 % en peso, variará entre aproximadamente 0,9 % y 1,1 % en peso, y de ese modo en este contexto de esta invención, la palabra "aproximadamente" implica una posible variación de + o - 10 % de las cifras citadas.
- Se ha encontrado que los Aceros Súper Bainíticos hechos con los componentes dentro de los rangos preferidos tienen plaquetas de bainita extremadamente finas (el espesor promedio de la plaqueta es 40 nm o de menos espesor, y por lo general por encima de 20 nm de espesor) y dureza de 630HV o mayor.
- 10 Los Aceros Súper Bainíticos fabricados según la invención están sustancialmente libres de austenita en bloques.
- En el método de fabricación se pueden incluir etapas adicionales:
- enfriar inicialmente un acero con una composición como la caracterizada en los párrafos anteriores a un estado totalmente de perlita.
 - recocer el acero a un estado totalmente austenítico.
- 15 A continuación se enfría el acero y se transforma como se describió previamente.
- La temperatura de inicio de la martensita varía considerablemente dependiendo de la composición exacta de la aleación. En las Figuras descritas a continuación se muestran ejemplos ilustrativos para varias composiciones. Para efectos prácticos, la temperatura de transformación estaría por encima de 190 °C para asegurar que la transformación tiene lugar de forma razonablemente rápida.
- 20 Las etapas adicionales se pueden incluir:
- recalentar al acero en su forma de perlita para austenitizarlo, y permitir que el acero se enfríe de nuevo lo suficientemente lento a una fase totalmente de perlita.
- Estas etapas se pueden repetir.
- Otra posible etapa es templar el acero en su forma de perlita. Esto se hace mejor como etapa previa a las etapas de austenitización final y a las posteriores etapas de transformación.
- 25 Normalmente, en la práctica, cuando se llevan a cabo las etapas de formación de la perlita, se permite que el acero alcance la temperatura ambiente.
- Es una característica del proceso descrito en los párrafos anteriores que, como la perlita, el acero se puede mecanizar, taladrar y conformar con relativa facilidad. En su forma de perlita, la aleación de acero es un producto comercial útil que se puede vender por sí mismo. Se puede cortar, mecanizar, taladrar o conformar antes de su venta, teniendo el comprador que llevar a cabo las etapas de austenitización final y de transformación, o el productor podría llevar a cabo el mecanizado, taladrado o conformado, dejando a los compradores que lleven a cabo las etapas finales de transformar el acero en Acero Súper Bainítico.
- 30 El acero se puede laminar en caliente, mientras está en una fase de austenita.
- 35 Normalmente el acero laminado hecho de esta manera se corta en longitudes antes de la transformación en Acero Súper Bainítico.
- Se ha encontrado que la transformación en Acero Súper Bainítico tiene lugar mejor entre 8 horas y 3 días, aunque lo más económicamente es en aproximadamente 8 horas. Se obtiene un buen compromiso entre una fabricación económica y la dureza si la etapa de transformación se encuentra dentro del rango de temperaturas de 220 °C a 260 °C e idealmente a 250 °C.
- 40 Si el acero es en placas gruesas, (por encima de 8 mm de espesor), la distribución de la temperatura dentro del acero cuando alcanza la temperatura de transformación de la bainita puede no ser uniforme. La temperatura en el centro de la placa, en particular, puede permanecer por encima de la deseada temperatura de transformación con el resultado de que se obtienen propiedades de transformación desiguales. Para superar esto, el acero en cuestión se enfría desde su temperatura de austenitización a una temperatura justo por encima de la temperatura a la que se inicia la transformación a bainita y se mantiene por encima de esa temperatura hasta que el acero es sustancialmente uniforme en temperatura, antes de reiniciar el enfriamiento en el rango de temperatura de transformación de la bainita.
- 45 Se observará que el Acero Súper Bainítico fabricado según la invención implica escalas de tiempo para las etapas de transformación que son mucho más cortas que las descritas en el Documento WO 01/011096, con reducciones significativas en la energía consumida. Cuando se fabrica Acero Súper Bainítico como se describe anteriormente y la temperatura de transformación no excede de 250 °C, el Acero Súper Bainítico resultante tiene entre 60 % y 80 % en volumen de una ferrita bainítica con exceso de carbono en disolución. El resto es sustancialmente un acero de fase
- 50

ES 2 523 519 T3

de austenita de carbono enriquecido. El Acero Súper Bainítico así fabricado es muy duro, tiene una alta resistencia balística y es particularmente adecuado como acero de blindaje. El Acero Súper Bainítico no tiene ninguna austenita en bloques.

- 5 Se llevaron a cabo pruebas comparativas sobre diferentes aceros bainíticos. Las composiciones de los aceros usados para fines ilustrativos se dan en la Tabla 1 que muestra la composición de los Ejemplos 1, 2 y 3 (% en peso).

Tabla 1

Aleación	C	Si	Mn	Cr	Mo	Al	Co	V	P	S	Fe
Ejemplo 1	0,80	1,60	1,99	1,29	0,25	-	-	0,1	<0,005	<0,1	-94
Ejemplo 2	0,82	1,65	2,01	1,01	0,25	1,03	1,51	0,1	<0,005	<0,1	-92
Ejemplo 3	0,79	1,55	1,00	1,01	0,25	-	-	0,1	<0,005	<0,1	-94,5

- 10 Las aleaciones se prepararon como lingotes de 50 kg fundidos por inducción a vacío (150 × 150 × 450 mm), usando materias primas de alta pureza. Después los lingotes moldeados se homogeneizaron a 1.200 °C durante 48 horas, se enfriaron en el horno, se recortaron y cortaron en bloques cuadrados de 150 mm de espesor. Estos posteriormente se redujeron a un espesor de 60 mm por forja en caliente a 1.000 °C e inmediatamente se laminaron en caliente a la misma temperatura para producir placas de 500 × 200 mm con un espesor de 25 mm. Todas las placas se enfriaron en el horno desde 1.000 °C. En esta condición, las placas mostraron una dureza de 450-550 HV.

- 15 Las placas se ablandaron a 650 °C durante 24 horas y se enfriaron en el horno para reducir su dureza por debajo de 300HV. Esto permitió que los materiales de ensayo se prepararan usando operaciones de mecanizado convencionales evitando así la necesidad de emplear las técnicas especializadas requeridas para los aceros de alta dureza.

- 20 Se retiraron varios cubos de 10 mm de material de la región central de cada placa. Estas muestras se austenitizaron a 1.000 °C durante 1 hora y luego se trataron térmicamente para la transformación de la bainita a 200-250 °C en un horno de circulación de aire durante hasta 400 horas antes de enfriarlas por aire. Las muestras se cortaron por la mitad, se apelmazaron, se lijaron, se pulieron a un acabado de 1 micrómetro y se ensayó la dureza. La dureza se determinó con un medidor de dureza de Vickers usando un indentador piramidal y una carga de 30 kg. Se hicieron diez indentaciones en la región central de cada muestra tomando como valor indicativo el valor medio de la dureza.

- 25 Se extrajeron muestras en blanco de cada placa ablandada, austenitizada a 1.000 °C y endurecida a 200-250 °C para varios tiempos en los que, en base a los ensayos de dureza anteriores, se consideró que se había terminado la transformación de la austenita en bainita. La prueba de tensión se llevó a cabo según la pertinente Norma Británica usando muestras de 5 mm de diámetro. El prueba de compresión se llevó a cabo usando muestras de 6 mm de diámetro con una altura de 6 mm a una velocidad de deformación de 10^{-3} s^{-1} . La prueba de impacto Charpy estándar con muestras de entalla en V se realizó en una máquina de ensayo de Charpy 300J. Todas las pruebas se llevaron a cabo a temperatura ambiente con los resultados de impacto y de tracción presentados como la media de tres ensayos.

- 35 Se midió la variación de la dureza con la temperatura de transformación. El Ejemplo 1 exhibió un endurecimiento pronunciado. Se observó una dureza mínima de 600 HV después de 110 horas a 200 °C, que es consistente con el inicio de la transformación de la bainita determinado por experimentos de rayos X. Los valores de dureza posteriormente se elevaron a 640HV después de otras 100 horas, marcando el final de la formación de la bainita, y poco a poco aumentaron a 660HV después de un total de 400 horas.

- Aunque un aumento en la temperatura de transformación ya sea a 225 °C o 250 °C reducía los tiempos de transformación de la bainita en el Ejemplo 1 a 100 horas y 50 horas respectivamente, esto se acompañaba por una disminución en la dureza observada.

- 40 El Ejemplo 2 fue similar al Ejemplo 1, pero tenía adiciones de cobalto y aluminio; también exhibió un endurecimiento pronunciado. El tiempo requerido para lograr una dureza de 650HV a 200 °C se redujo de 400 horas a 200 horas. Temperaturas más altas se asociaron de nuevo con tiempos de transformación más cortos con una dureza de 575HV que se lograba después de 24 horas a 250 °C, en contraposición a las 48 horas en el Ejemplo 1. Aunque el uso de cobalto y aluminio fue un éxito en la reducción de los tiempos de tratamiento térmico, el alto precio del cobalto y del aluminio, junto con la dificultad del procesamiento de las aleaciones de acero que incluyen aluminio hacen que el Ejemplo 2 sea comercialmente poco atractivo.

- 45 En el Ejemplo 3, el Acero Súper Bainítico que es el objeto de esta invención, exhibió una dureza mayor que el de los Ejemplos 1 ó 2. Se logró una dureza de 690HV después de 24 horas a 200 °C en comparación con 650-660HV en

ES 2 523 519 T3

los Ejemplos 1 y 2 después de 200-400 horas. A una temperatura de transformación de 250 °C se registró una dureza de 630HV después de sólo 8 horas, mientras que los Ejemplos 1 y 2 no pudieron llegar a 600HV incluso después de varios cientos de horas.

- 5 En la Tabla 2 (adjunta) se muestran las propiedades de tracción del Ejemplo 1, 2 y 3 después del endurecimiento a 200-250 °C para diversos tiempos asociados con el final de la transformación de la bainita. Esto muestra que la resistencia de prueba de cada aleación se reducía ligeramente con el aumento de temperatura de transformación. También se observó una disminución similar en la resistencia a la tracción, con la excepción del Ejemplo 3 transformado durante 8 horas a 250 °C. Sin embargo, la ductilidad a la tracción de las aleaciones transformadas a 250 °C fue de 2 a 3 veces mayor que la del material tratado con calor a 200 °C.
- 10 La Tabla 2 muestra las propiedades mecánicas de los Ejemplos 1, 2 y 3. Los Ejemplos 1B, 1C, 2B, 2C, 3A y 3C se prepararon según esta invención.

Tabla 2

Ejemplo	Temperatura transformación bainita (°C) / Tiempo (horas)	0,2 PS MPa (Rp02)	UTS MPa (Rm)	EI % (A)	RA % (Z)	Dureza Hv30 (Hv30)	Charpy J (medido a temperatura ambiente)
1 A	200 / 400	1.684	2.003	3,1	4	650	4
1B	225 / 100	1.689	2.048	4,3	4	620	4
1C	250 / 60	1.525	1.926	8,8	6	590	6
2 A	200 / 200	1.588	2.096	3,3	4	650	4
2B	225 / 70	1.625	2.072	6,5	5	620	5
2C	250 / 24	1.531	1.933	4,3	5	590	5
3 A	200 / 24	1.678	1.981	4,3	5	690	5
3B	250 / 6	1.673	2.096	8,0	5	640	5

- 15 Las pruebas ilustraron que los materiales transformados a 200 °C exhibían los más altos niveles de dureza. La transformación a Acero Súper Bainítico a 250 °C puede ser apropiada en la práctica ya que esto facilita la formación más rápida de más material dúctil sin incurrir a reducciones significativas en la resistencia. Los beneficios de este enfoque son más visibles en el Ejemplo 3C, el objeto de la presente invención, tratada a 250 °C que, debido a su mayor ductilidad, fue capaz de trabajar duro a una resistencia a la tracción de 2.098 MPa, es decir, la fuerza a la tracción más alta de todas las aleaciones estudiadas.

- 20 Las propiedades de impacto de los Ejemplos 1, 2 y 3 mostraron que todos exhibían valores bajos de energía de impacto Charpy a temperatura ambiente, y que variaban entre 4-7 Julios.

- 25 Es capacidad de los materiales realizados usando el método de la invención formar una fracción de alto volumen de acero bainítico endurecido intersticialmente y ultra fino que les permite exhibir niveles de resistencia comparables a la de los aceros martensíticos envejecidos más fuertes, con relativamente bajos consumos de energía. Por otra parte, a diferencia de los aceros martensíticos envejecidos (<75 % Fe), los materiales de la invención son capaces de hacer esto sin necesidad de usar altos niveles de caros elementos de aleación.

La invención se ilustrará adicionalmente con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La Figura 1A muestra el proceso de fabricación descrito en la solicitud de patente PCT WO 2001/11096;

La Figura 1B muestra un proceso de fabricación usado en conjunción con la presente invención.

- 30 La Figura 1C muestra un proceso de fabricación alternativo que se usa en conjunción con la presente invención;

La Figura 2 muestra un diagrama de temperatura/tiempo/transformación para un acero preferido según la invención que muestra el impacto de la variación del contenido de manganeso; debe tenerse en cuenta que los diagramas precisos variarán según la composición del acero;

- 35 La Figura 3 muestra un diagrama de temperatura/tiempo/transformación para un acero preferido según la invención con 1 % de manganeso que muestra el impacto de la variación del contenido de carbono; debe tenerse en cuenta que los diagramas precisos variarán según la composición exacta del acero;

La Figura 4 muestra un diagrama de temperatura/tiempo/transformación para un acero preferido según la invención con 1 % de manganeso que muestra el impacto de la variación del contenido de cromo; debe tenerse en cuenta que los diagramas precisos variarán según la composición exacta del acero.

5 En la Figura 1A, el material se homogeneiza a más de 1.150 °C y se enfría en aire a una temperatura de entre 190 y 250 °C. La muestra ilustrada debe ser una pequeña con un área de superficie alta. La muestra luego se vuelve a calentar para que se austenitice a una temperatura de 900 a 1.000 °C. Esto se puede lograr en unos 30 minutos. Está luego se enfría en el horno a una temperatura de 190 a 260 °C y se mantiene a esa temperatura durante un período de una a tres semanas, aunque si se mantiene a una temperatura de 300 °C, el tiempo máximo se reduce a dos semanas.

10 La Figura 1B ilustra un proceso de fabricación para un material de la presente invención que se transformará a perlita con un proceso de enfriamiento relativamente lento de aproximadamente 2 °C/minuto. Sin embargo, esto no se considera que sea un proceso lento, y uno se consigue fácilmente y económicamente en una fábrica de acero. Típicamente, en el proceso de producción se permite que el acero se enfríe desde una temperatura alta (por encima de su temperatura de transición de la austenita) como placas de gran espesor, a menudo en pilas. La velocidad de enfriamiento es, naturalmente, aproximadamente 2 °C/minuto, que es lo suficientemente lenta para permitir que se forme una fase completamente de perlita. Las placas luego se calientan de nuevo a por encima de 850 °C para austenitizarlas. El material caliente se pasa a través de los trenes de laminación para formar una tira de acero, en este ejemplo, de 6 a 8 mm de espesor y se bobina. Obviamente, el espesor puede ser mayor o menor que el rango dado para adaptarse a las necesidades del cliente. La capacidad térmica de la bobina restringe la velocidad de enfriamiento suficientemente para asegurar que de nuevo se forme la perlita a medida que el material se enfría hasta la temperatura ambiente (RT, del inglés room temperatura) (temperatura del recinto en este caso). Esto se consigue convenientemente permitiendo que el acero en bobina se enfríe en el aire de forma natural más de 48 horas, por ejemplo. En esta etapa, las bobinas se pueden desenrollar y cortar en placas o se recalientan para templarlas y después se permite que se enfríen a temperatura ambiente. Una vez de nuevo a temperatura ambiente, la temperatura del recinto en este ejemplo, (RT en la Figura 1B), se puede cortar y mecanizar, taladrar y conformar, antes de someterlo a la etapa de austenitización final y de transformación de la bainita. En esta etapa, el acero está en piezas individuales y se enfría después de esta austenitización mucho más rápidamente evitando así que pase a través de la fase de perlita. Una vez que ha alcanzado una temperatura de 190 °C a 260 °C, el acero se mantiene a esa temperatura para permitir que se complete la etapa de transformación de la bainita. El período exacto de transformación de la bainita requerido depende del contenido de manganeso del acero, cuanto menor es el contenido de manganeso más corto es el tiempo de transformación requerido. Un material preferido que contiene aproximadamente 1 % de manganeso se puede transformar en 8 horas.

15
20
25
30

En La Figura 1C, el acero se lamina en caliente mientras está en una fase austenítica, ya sea inmediatamente después de la fundición de una masa fundida caliente o posiblemente después de calentar en la fase de austenita para la homogeneización o la deformación. El acero luego se puede cortar en placas. Las placas se pueden enfriar por aire. La velocidad de enfriamiento es tal que las placas alcanzarán la temperatura de transformación en un punto apropiado para permitir que ocurra la transformación en Acero Súper Bainítico. Esto se puede llevar a cabo en un horno de circulación de aire de temperatura controlada o en otro entorno adecuado.

35

En la Figura 2 se muestra el diagrama de temperatura/tiempo/transformación para los Aceros Súper Bainíticos según la invención que muestra el efecto de variar el contenido de manganeso.

40

La transformación final de la austenita en bainita se muestra para una placa delgada (típicamente de 6 a 8 mm de espesor) por la curva 2. Aquí placas individuales se enfrían por aire, por separación de las placas; la velocidad de enfriamiento es típicamente 80 °C/min por ejemplo. Esto evita la transformación a perlita. Si es necesario la velocidad de enfriamiento se debe controlar como corresponda. La transición de la bainita para 0,5 % en peso de manganeso se muestra por la línea 10, para 1,0 % en peso de manganeso por la línea 12, y para 1,5 % en peso de manganeso por la línea 14. El enfriamiento brusco convertirá el material a martensita, las temperaturas de inicio de la martensita se muestran mediante líneas 20, 22 y 24 para 0,5 %, 1,0 % y 1,5 % en peso de manganeso, respectivamente. Si no se mantiene la temperatura de transformación dentro del rango indicado por las curvas 10, 12 o 14 como la apropiada para los períodos adecuados se puede correr el riesgo de transformación parcial en martensita. Las curvas 30 (para el 0,5 % en peso de manganeso), 32 (para el 1 % en peso de manganeso) y 34 (para el 1,5 % en peso de manganeso) indican transformación a perlita que se ha de evitar en la etapa de transformación final del proceso. La temperatura de inicio de la bainita es la temperatura por encima de la cual no se formará la bainita. En la Figura 2, para las curvas de la bainita, 10, 12 y 14 la temperatura de inicio de la bainita está representada por las partes planas más altas de cada curva.

45
50

A medida que se aumenta el espesor de la placa, mayor será la posibilidad de un enfriamiento más lento en el centro de la placa lo que permitirá que se forme una fase de perlita parcial en el centro y se obtenga una estructura menos homogénea. Esto se puede evitar siguiendo una curva de enfriamiento tal como la marcada como 3, que es para un acero del 1 % en peso de manganeso según la invención. En este caso la temperatura se reduce a una marcada como 4A justo por encima de la temperatura de inicio de transición de la bainita 12 y se mantiene justo por encima de esa temperatura de transición hasta que la temperatura dentro de la placa es uniforme. En ese punto (4B) la temperatura se reduce a un punto 5 dentro del rango de transformación y se mantiene dentro de ese rango para permitir que tenga lugar la transformación a bainita.

55
60

ES 2 523 519 T3

5 En la Figura 3 las curvas de temperatura/tiempo/transición de la bainita para el 0,6 % en peso de carbono se muestran por la línea 60, para el 0,7% en peso de carbono por la línea 62, y para el 0,8 % en peso de carbono por la línea 64. El enfriamiento brusco convertirá el material en martensita. Las temperaturas de transición se muestran por las líneas 50, 52 y 54 para 0,6 %, 0,7% y 0,8 % en peso de carbono, respectivamente. Del mismo si no se mantiene la temperatura de transformación dentro del rango indicado por las curvas 60, 62, o 64 según sea apropiada para los períodos adecuados se correrá el riesgo de una transformación parcial en martensita. Las curvas 70, 72 y 74 muestran las transiciones de perlita para contenidos de carbono de 0,6 %, 0,7 % y 0,8 % en peso, respectivamente. La temperatura de inicio de la bainita es la temperatura por encima de la cual no se formará bainita. En la Figura 3, para las curvas de bainita, 60, 62 y 64 la temperatura de inicio de la bainita está representada por las partes planas más altas de cada curva,

10 La Figura 4 muestra de manera similar las curvas de temperatura/tiempo/transición de la bainita para el 0,5 % en peso de cromo (línea 90), para el 1,0 % en peso de cromo (línea 92), y para el 1,5 % en peso de cromo (línea 94). El enfriamiento brusco convertirá el material en martensita, las temperaturas de transición se muestran por las líneas 80, 82 y 94 para 0,5 %, 1,0 % y 1,5 en peso de cromo, respectivamente. Si no se mantiene la temperatura de transformación dentro del rango indicado por las curvas 90, 92 o 94 según corresponda a los períodos adecuados se correrá el riesgo de una transformación parcial en martensita. Las curvas 100 ,102 y 104 muestran las transiciones de la perlita para contenidos de cromo de 0,5 %, 1,0 % y 1,5 % en peso, respectivamente. La temperatura de inicio de la bainita es la temperatura por encima de la cual no se formará la bainita. En la Figura 4, para las curvas de bainita, 90, 92 y 94, la temperatura de inicio de la bainita está representada por las partes planas más altas de cada curva.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un método de fabricación de un Acero Bainítico que comprende entre 90 % y 50 % de bainita, siendo el resto austenita, en el que el exceso de carbono permanece dentro de la ferrita bainítica a una concentración más allá de la consistente con el equilibrio con la partición parcial del carbono dentro de la austenita residual que incluye la etapa de transformar a bainita mediante enfriamiento de un acero que comprende en porcentaje en peso: carbono 0,6 % a 1,1 %, manganeso 0,3 % a 1,8 %, níquel hasta 3 %, cromo 0,5 % a 1,5 %, molibdeno hasta 0,5 %, vanadio hasta 0,2 %, 0,5 % a 2,0 % de silicio, y el resto hierro salvo por impurezas incidentales, suficientemente y rápidamente para evitar la formación de perlita desde una temperatura por encima de la temperatura de transición austenítica a una temperatura por encima de su temperatura de inicio de la martensita pero por debajo de la temperatura de inicio de la bainita y mantener al acero dentro de ese rango de temperaturas durante 3 días o menos.
- 2.- Un método de fabricación según la reivindicación 1, que incluye, previa a la transformación a bainita, las etapas de enfriar el acero en un estado completo de perlita y recocer al acero a un estado austenítico.
- 3.- Un método de fabricación en el que las etapas de la reivindicación 2 se repiten una o más veces antes de la transformación del acero a bainita.
- 4.- Un método según la reivindicación 2 o 3, en el que el acero se temple antes de la transformación a bainita.
- 5.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que se permite que el acero se enfríe a temperatura ambiente en su forma de perlita.
- 6.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, que incluye la etapa cortar, perforar, conformar o de manera similar configurar al acero mientras el acero es perlita.
- 7.- Un método de fabricación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la temperatura de transformación de la bainita es 190 °C o más.
- 8.- Un método de fabricación según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la aleación de acero se lamina en caliente, mientras está en una fase de austenita.
- 9.- Un método según la reivindicación 8, en el que el acero laminado se corta en longitudes antes de la transformación en bainita.
- 10.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que la transformación a bainita tiene lugar entre aproximadamente 8 horas y 3 días.
- 11.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que la transformación se lleva a cabo dentro del rango de temperatura de 220 °C a 260 °C inclusive.
- 12.- Un método según la reivindicación 11, en el que la transformación se lleva a cabo a 250 °C.
- 13.- Un método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el acero se enfría desde una fase de austenita a una temperatura justo por encima de la temperatura a la que se iniciará la transformación a bainita y se mantiene por encima de esa temperatura hasta que el acero es sustancialmente uniforme en temperatura, antes de reiniciar el enfriamiento en el rango de temperatura de transformación.

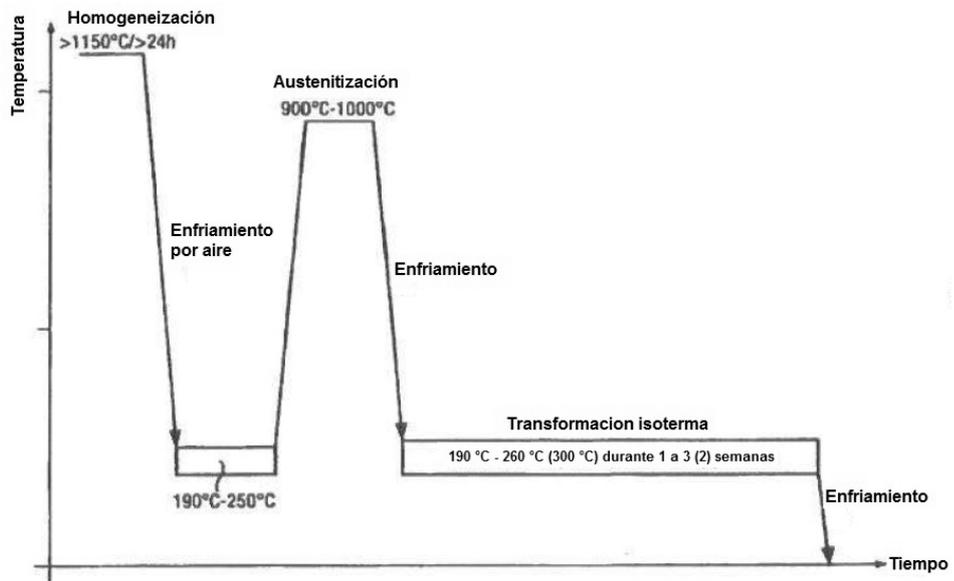


Figura 1 A

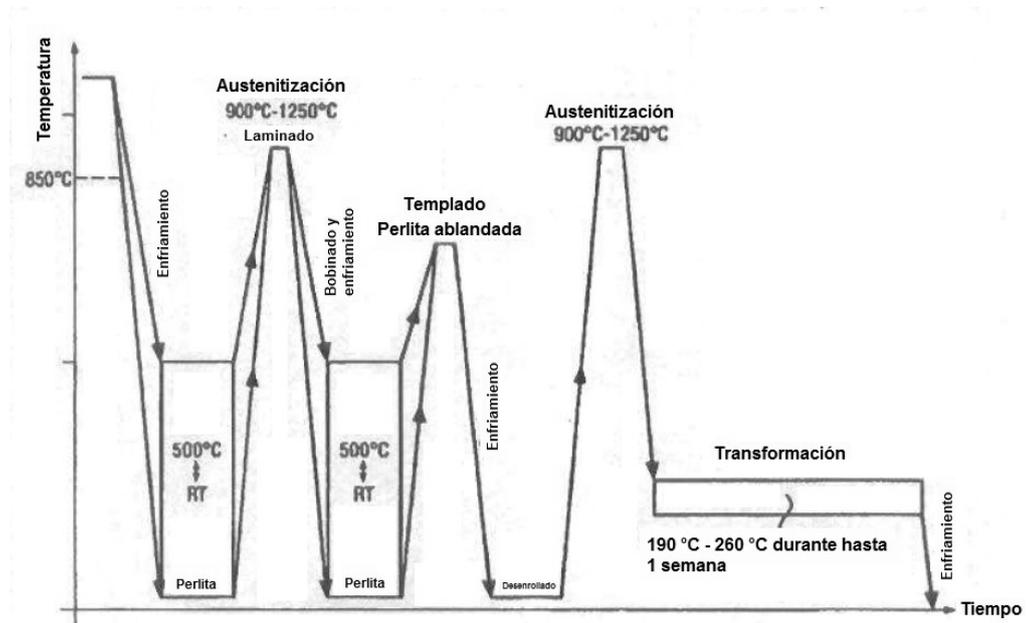


Figura 1 B

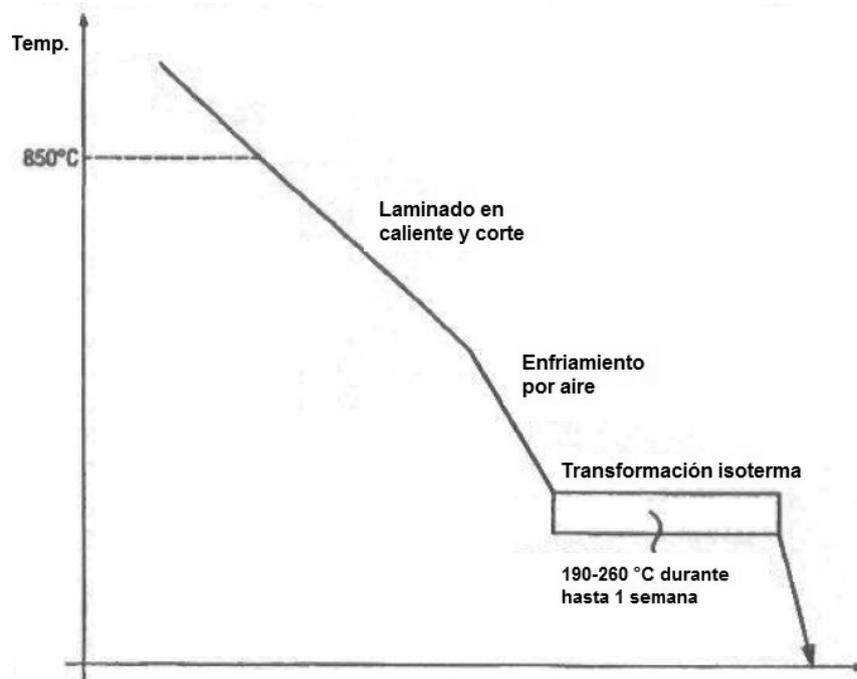


Figura 1 C

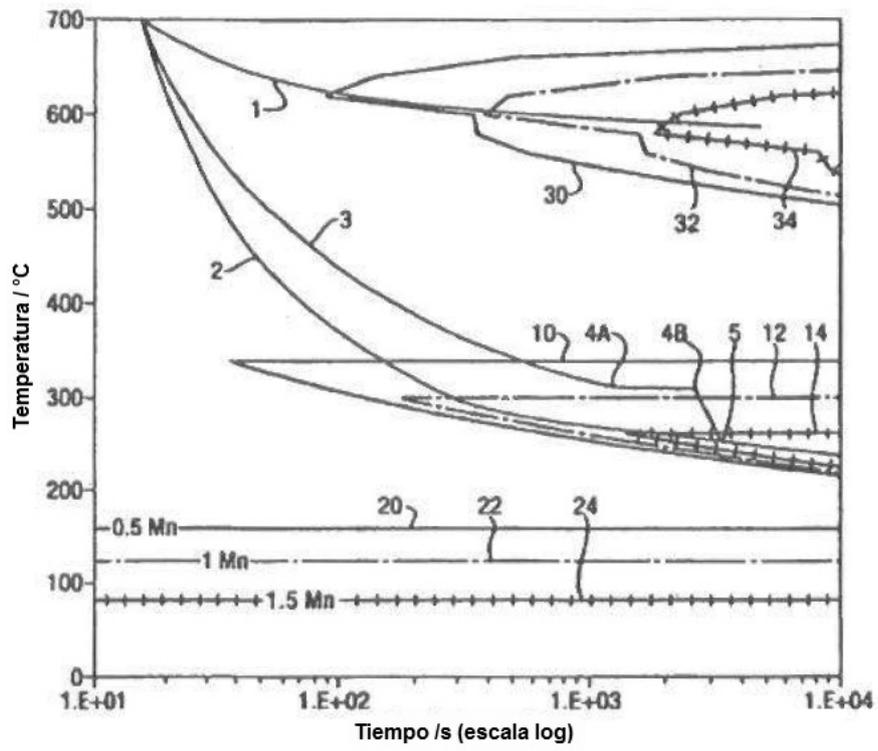


Figura 2

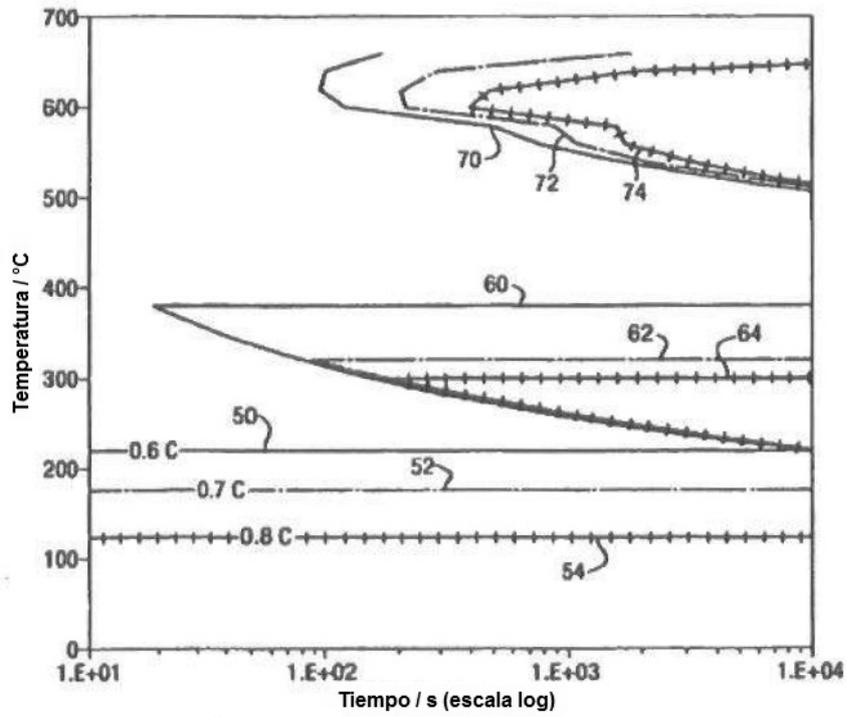


Figura 3

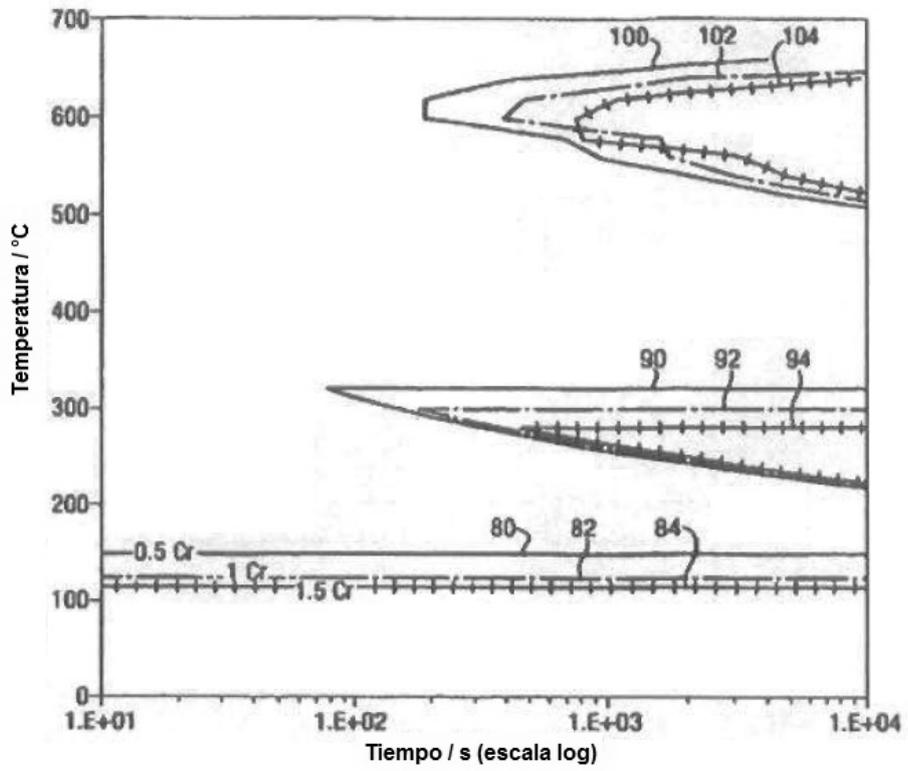


Figura 4