

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 443 067**

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 09785421 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2013 EP 2310545**

54 Título: **Aceros superbainíticos y métodos de fabricación de los mismos**

30 Prioridad:

31.07.2008 GB 0814003

05.11.2008 GB 0820184

05.11.2008 GB 0820201

05.11.2008 GB 0820212

18.12.2008 GB 0822991

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

17.02.2014

73 Titular/es:

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

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

72 Inventor/es:

**BHADESHIA, HARSHAD, KUMAR, DHAMASHI,
HANSRAJ;**

GARCIA-MATEO, CARLOS y

BROWN, PETER

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 443 067 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).

DESCRIPCION

Aceros superbainíticos y métodos de fabricación de los mismos

5 Esta invención se refiere a acero bainítico. En particular, se refiere, pero no se limita a, aceros adecuados para blindaje. La invención también se refiere a microestructuras de transición que se pueden procesar posteriormente en acero bainítico.

10 Un acero principalmente bainítico es convencionalmente aquel que tiene al menos una estructura de ferrita bainítica del 50%. 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 ferrita bainítica, pero puede tener carburo precipitado en los límites.

15 La bainita inferior tiene carburo precipitado en los granos de ferrita bainítica en un ángulo característico con los límites del grano. También puede haber carburos precipitados en los límites.

20 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 carbono en exceso permanece dentro de la ferrita bainítica a una concentración más allá de la consistente con el equilibrio; también existe un reparto parcial de carbono en la austenita residual. Tal acero bainítico tiene plaquetas muy finas de bainita (grosor 100 nm o menos). En esta memoria descriptiva, la expresión "acero superbainítico" se usa para tal acero.

25 El documento WO 01/011096 A (THE SECRETARY OF STATE FOR DEFENCE) 15/02/2001 describe y reivindica un acero principalmente bainítico. Aunque este material tiene bajos costes de aleación en comparación con otros aceros de blindaje duros conocidos, la fabricación implica calentar durante largos periodos de tiempo, particularmente en la transformación en bainita, resultando costes energéticos y escalas de tiempo de producción elevados. Este acero bainítico es también muy difícil de maquinarse, perforar o conformar. Como resultado, su utilidad industrial está limitada.

30 La solicitud de patente japonesa JP 05-320740A describe un acero de bainita inferior que no está libre de carburo. Brown, P.M y Baxter, D.P., "Hyper strength bainitic steels", Materials Science and Technology 2004, 26-29, 45 de septiembre de 2004, Vol. 1, 433-438, tiene una descripción similar al documento WO 01/011096.

35 La presente invención proporciona un acero superbainítico que es comparativamente económico de fabricar. También se describen aquí procedimientos de fabricación que permiten una maquinación, una perforación y una conformación más fáciles durante el procedimiento de fabricación. La invención se da en las reivindicaciones.

40 En la presente invención, un acero superbainítico comprende constituyentes en porcentaje en peso:

45 carbono 0,6% a 1,1%;
 manganeso 0,3% a 1,5%;
 níquel hasta 3%;
 cromo 0,5% a 1,5%;
 molibdeno hasta 0,5%;
 vanadio hasta 0,2%;
 junto con 0,5-2% de silicio para hacer que la bainita esté sustancialmente libre de carburo;
 siendo el resto hierro salvo las impurezas incidentales.

50 Tal acero puede ser muy duro, 550HV a 750HV.

Se prefiere silicio a aluminio, tanto en base al coste como por la facilidad de fabricación; para aceros de blindaje, por lo tanto, el aluminio no se usaría normalmente. El contenido mínimo práctico de silicio es 0,5% en peso, y no debe exceder 2% en peso. El silicio en exceso hace al proceso difícil de controlar.

55 Los intervalos preferidos de algunos de los otros constituyentes del acero superbainítico, en porcentaje en peso, son:

60 manganeso 0,5% a 1,5%;
 cromo 1,0% a 1,5%;
 molibdeno hasta 0,2% a 0,5%;
 vanadio 0,1% a 0,2%.

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

5 Variando el contenido de manganeso, se ha encontrado que se puede variar la velocidad de transición a bainita: cuanto mayor es el contenido de manganeso, más lenta es la transición. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, se ha encontrado que un contenido de manganeso de alrededor de 1% en porcentaje en peso proporciona un compromiso sensible entre la velocidad de transición (y de este modo menores costes de energía) y la capacidad para controlar el proceso. En realidad, el contenido de manganeso, incluso si se opta por un 1% en porcentaje en peso, variará entre alrededor de 0,9% y 1,1% en porcentaje en peso, y de este modo, en el contexto de esta invención, la expresión “alrededor de” implica una posible variación de + o -10% respecto de las cifras dadas.

15 Se ha encontrado que los aceros superbainíticos hechos de constituyentes dentro de los intervalos preferidos tienen plaquetas de bainita extremadamente finas (grosor de plaqueta en promedio 40 nm o menos, y habitualmente alrededor de 20 nm de grosor) y una dureza de 630HV o mayor.

Los aceros superbainíticos descritos aquí están sustancialmente libres de austenita bloqueante.

20 En otro aspecto, un método de fabricación de acero superbainítico incluye las etapas de:

enfriar un acero que tiene una composición según se caracteriza en los párrafos previos de forma suficientemente rápida para evitar la formación de perlita a partir de una temperatura por encima de su temperatura de transición austenítica hasta una temperatura por encima de su temperatura de comienzo de martensita, pero por debajo de la temperatura de comienzo de bainita;
25 mantener el acero a una temperatura dentro de ese intervalo durante un tiempo de hasta 1 semana.

Se pueden incluir etapas adicionales:

30 enfriar inicialmente un acero que tiene una composición como se caracteriza en los párrafos previos hasta un estado completamente de perlita;
recalentar al acero hasta un estado completamente austenítico;

35 El acero se enfría entonces y se transforma como se describe en el párrafo previo.

La temperatura de comienzo de martensita varía considerablemente, dependiendo de la composición exacta de la aleación. En las Figuras descritas más abajo se muestran ejemplos ilustrativos para varias composiciones. Para fines prácticos, la temperatura de transformación estaría por encima de 190° C, para asegurarse de que la transformación tuvo lugar de forma razonablemente rápida.

40 Se pueden incluir etapas adicionales:

recalentar al acero en su forma de perlita para austenitarlo, y
45 permitir que el acero se enfríe nuevamente de forma suficientemente lenta hasta una fase completamente de perlita.

Esta etapa se puede repetir.

50 Otra etapa posible es recocer al acero en su forma de perlita. Esto se realiza mejor como la etapa previa a la austenitización final y las etapas de transformación subsiguientes.

Normalmente, en la práctica, cuando se llevan a cabo las etapas de formación de perlita, se dejará que el acero alcance la temperatura ambiente.

55 Es una característica del procedimiento descrito en los párrafos anteriores que, como perlita, el acero se puede maquinar, taladrar y conformar con relativa facilidad. En su forma de perlita, la aleación del acero es un producto comercial útil que se puede vender por sí mismo. Se puede cortar, maquinar, taladrar o conformar antes de la venta, teniendo el comprador que llevar a cabo sólo las etapas finales de austenitización y transformación, o el productor podría llevar a cabo el maquinado, el taladrado o la conformación, dejando a los compradores que lleven a cabo las etapas finales para transformar el acero en acero superbainítico.

60 El acero se puede laminar en caliente mientras está en fase de austenita.

El acero normalmente laminado obtenido de esta manera se cortará en trozos antes de la transformación en acero superbainítico.

5 Se ha encontrado que la transformación en acero superbainítico tiene lugar mejor entre 8 horas y 3 días, aunque más económicamente en alrededor de 8 horas. Se obtiene un buen compromiso entre la fabricación económica y la dureza si la etapa de transformación está en el intervalo de temperatura de 220° C a 260° C, e idealmente en 250° C.

10 Si el acero está en chapas gruesas (por encima de 8 mm de grosor), la distribución de temperatura en el acero cuando alcanza la temperatura de transformación en bainita puede no ser uniforme. La temperatura en el centro de la chapa, en particular, puede seguir estando por encima de la temperatura de transformación deseada, con el resultado de que se obtienen propiedades de transformación no uniformes. Para superar esto, el acero en cuestión se enfría desde su temperatura de austenitización hasta una temperatura justo por encima de la temperatura a la que comenzará la transformación en bainita, y se mantiene por encima de esa temperatura hasta que el acero tiene una temperatura sustancialmente uniforme, antes de recomenzar el enfriamiento en el intervalo de temperatura de transformación en bainita.

15 Se deberá observar que el acero superbainítico según la invención implica escalas de tiempo de la etapa de transformación que son mucho más cortas que las descritas en el documento WO 01/011096, con reducciones significativas en la energía consumida.

20 Cuando el acero superbainítico se fabrica como se describe anteriormente y la temperatura de transformación no excede 250° C, el acero superbainítico resultante tiene entre 60% y 80% en volumen de una ferrita bainítica con carbono en exceso en disolución. El resto es sustancialmente un acero de fase austenítica enriquecido en carbono. El acero superbainítico así obtenido es muy duro, tiene una elevada resistencia balística, y es particularmente adecuado como acero de blindaje. El acero superbainítico no tiene austenita bloqueante.

25 Se llevaron a cabo ensayos comparativos de diferentes aceros bainíticos. Las composiciones de los aceros usados con fines ilustrativos se dan en la Tabla 1 (adjunta).

30 Los Ejemplos 1 y 2 son de un acero preparado según el documento WO 01/011096. El ejemplo 3 es de un acero según esta invención. Las aleaciones se prepararon como lingotes de 50 kg fundidos por inducción en el vacío (150 x 150 x 450 mm), usando materias primas de pureza elevada. Después de la colada, los lingotes se homogeneizaron a 1200° C durante 48 horas, se enfriaron en el horno, se despuntaron y se cortaron en bloques cuadrados de 150 mm de grosor. Estos se redujeron subsiguientemente a un grosor de 60 mm forjando en caliente a 1000° C, e inmediatamente se laminaron en caliente a la misma temperatura para producir chapas de 500 x 200 mm con un grosor de 25 mm. Todas las chapas se enfriaron en el horno desde 1000° C. En esta condición, las chapas mostraron una dureza de 450-550HV.

35 Las chapas se reblandecieron a 650° C durante 24 horas y se enfriaron en el horno para reducir su dureza hasta por debajo de 300HV. Esto permitió que se prepararan materiales de ensayo usando operaciones de maquinado convencionales, evitando así la necesidad de emplear técnicas especializadas, requeridas para aceros de dureza elevada.

40 Se retiraron varios cubos de material de 10 mm de la región central de cada chapa. Estas muestras se austenitizaron a 1000° C durante 1 hora, y después se termotrataron para la transformación en bainita a 200-250° C en un horno de recirculación de aire durante un tiempo de hasta 400 horas antes de enfriarlas con aire. Las muestras se cortaron a la mitad, se montaron, se pulieron, y se lijaron hasta un acabado de 1 micrómetro, y se ensayó su dureza. La dureza se determinó con un aparato de ensayo la dureza Vickers usando un indentador piramidal y una carga de 30 kg. Se realizaron diez indentaciones en la región central de cada muestra, tomándose el valor de dureza medio como indicativo.

45 Se retiraron probetas en bruto de cada chapa reblandecida, se austenitizaron a 1000° C y se endurecieron a 200-250° C durante varios tiempos, por lo cual, basándose en los ensayos de dureza anteriores, se consideró que había terminado la transformación de austenita en bainita. Los ensayos de tracción se llevaron a cabo según el Estándar Británico pertinente, usando probetas de 5 mm de diámetro. El ensayo de compresión se llevó a cabo usando probetas de 6 mm de diámetro con una altura de 6 mm a una velocidad de deformación de 10^{-3} s^{-1} . El ensayo de impacto con probetas Charpy con entalla V estándar se realizó en una máquina de ensayo Charpy de 300 J. Todos los ensayos se realizaron a temperatura ambiente, presentándose los resultados del impacto y de la tracción como la media de tres ensayos.

50 Se midió la variación de la dureza con la temperatura de transformación. El Ejemplo 1 mostró un endurecimiento pronunciado. Se observó una dureza mínima de 600HV tras 110 horas a 200° C, lo que es consistente con el comienzo de la transformación bainítica determinada por experimentos de rayos X. Los valores de dureza

aumentaron subsiguientemente hasta 640HV después de otras 100 horas, marcando el final de la formación de bainita, y aumentaron lentamente hasta 660HV después de un total de 400 horas.

5 Aunque un incremento en la temperatura de transformación hasta 225° C o 250° C redujo los tiempos de la transformación bainítica en el Ejemplo 1 hasta 100 horas y 50 horas respectivamente, esto estuvo acompañado por una disminución en la dureza observada.

10 El Ejemplo 2 fue similar al Ejemplo 1, pero tuvo adiciones de cobalto y aluminio; también mostró un endurecimiento pronunciado. El tiempo requerido para lograr una dureza de 650HV a 200° C se redujo desde 400 horas hasta 200 horas. Las mayores temperaturas se asociaron nuevamente con tiempos más cortos de transformación, lográndose una dureza de 575HV después de 24 horas a 250° C, en oposición a las 48 horas en el Ejemplo 1. Aunque el uso de cobalto y aluminio tuvo éxito a la hora de reducir tiempos del tratamiento térmico, el precio elevado tanto del cobalto como del aluminio, junto con la dificultad de procesar aleaciones de acero que incluyen aluminio, hacen al Ejemplo 2 comercialmente poco atractivo.

15 El Ejemplo 3, el acero superbainítico que es el objeto de esta invención, mostró una dureza mayor que en los Ejemplos 1 ó 2. Se logró una dureza de 690HV después de 24 horas a 200° C, en comparación con 650-660HV en 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 alcanzaron 600HV incluso después de varios cientos de horas.

20 Las propiedades de tracción de los Ejemplos 1, 2 y 3 tras el endurecimiento a 200-250° C durante varios tiempos asociadas con el final de la transformación bainítica se muestran en la Tabla 2 (adjunta). Ésta muestra que la resistencia de prueba de cada aleación disminuyó suavemente al incrementar la 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 aleaciones transformadas a 250° C fue 2 a 3 veces mayor que la del material termotratado a 200° C.

30 El ensayo ilustró que los materiales transformados a 200° C mostraron los niveles más elevados de dureza. La transformación en acero superbainítico a 250° C puede ser apropiada en la práctica, ya que esto facilita una formación más rápida de material más dúctil sin incurrir en reducciones significativas de la resistencia. Los beneficios de este enfoque son muy visibles en el Ejemplo 3C, el objeto de esta invención, tratado a 250° C, el cual, debido a su mayor ductilidad, se pudo endurecer por un proceso de trabajo mecánico hasta una resistencia a la tracción de 2098 MPa, es decir, la resistencia a la tracción más elevada de todas las aleaciones estudiadas.

35 Las propiedades de impacto de los Ejemplos 1, 2 y 3 mostraron que todos presentaron valores bajos de energía de impacto Charpy a baja temperatura ambiente, que variaron entre 4-7 Julios.

40 Es la capacidad de los materiales obtenidos usando el método de la invención para formar una fracción en volumen elevada de acero bainítico ultrafino, endurecido intersticialmente, lo que les permite presentar niveles de resistencia comparables a los de los aceros obtenidos por envejecimiento de martensita, más fuertes, con consumos de energía relativamente bajos. Además, a diferencia de los aceros obtenidos por envejecimiento de martensita (<75% de Fe), los materiales de la invención son capaces de hacer esto sin usar niveles elevados de elementos caros formadores de aleaciones.

45 La invención se ilustrará adicionalmente con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:

50 la figura 1A muestra el procedimiento de fabricación descrito en la solicitud de patente PTC WO 2001/11096;

la figura 1B muestra un procedimiento de fabricación usado conjuntamente con la presente invención.

La figura 1C muestra un procedimiento de fabricación alternativo usado conjuntamente con la presente invención;

55 la figura 2 muestra un diagrama de temperatura/tiempo/transformación para un acero preferido según la invención que muestra el impacto de variar el contenido de manganeso; se deberá observar que los diagramas precisos variarán según la composición del acero;

la figura 3 muestra un diagrama de temperatura/tiempo/transformación para un acero preferido según la invención que tiene 1% de manganeso, mostrando el impacto de variar el contenido de carbono; se deberá observar que los diagramas precisos variarán según la composición exacta del acero;

60 la figura 4 muestra un diagrama de temperatura/tiempo/transformación para un acero preferido según la invención que tiene 1% de manganeso, mostrando el impacto de variar el contenido de cromo. Se deberá observar que los diagramas precisos variarán según la composición exacta del acero.

En la figura 1A, el material se homogeneiza a más de 1150° C, y se enfría en aire hasta una temperatura de entre 190 y 250° C. La muestra ilustrada debe ser una pequeña que tenga una elevada superficie específica. La muestra

se recalienta después para austenitizarla a una temperatura de 900 a 1000° C. Esto se puede lograr en alrededor de 30 minutos. Se la enfría luego en horno hasta una temperatura de 190 a 260° C, y se la mantiene a esa temperatura durante un período de una a tres semanas, aunque, si se la mantiene a una temperatura de 300° C, el tiempo máximo se reduce hasta dos semanas.

5 La figura 1B ilustra un procedimiento de fabricación para un material de la presente invención que se transformará en perlita con un proceso de enfriamiento relativamente lento de alrededor de 2° C/minuto. Sin embargo, esto no se considera que sea un proceso lento ni uno fácilmente logrado de forma económica en una acería. Típicamente, en el proceso de producción, se deja que el acero se enfríe desde una temperatura elevada (por encima de su temperatura de transición austenítica) como chapas gruesas grandes, a menudo en apilamientos. La velocidad de enfriamiento es naturalmente alrededor de 2° C/minuto, que es suficientemente lenta para permitir que se forme una fase completamente perlítica. Las chapas se calientan entonces nuevamente hasta una temperatura por encima de 850° C para austenitizarlas. El material caliente se hace pasar a través de trenes de laminación para formar acero en bandas, en este ejemplo de 6 a 8 mm de grosor, y se le bobina. Obviamente, el grosor puede ser mayor o menor que el intervalo dado, para adecuarse a las necesidades del cliente. La capacidad térmica de la bobina restringe suficientemente la velocidad de enfriamiento para asegurar que se forme nuevamente perlita a medida que el material se enfría hasta la temperatura ambiente (en este caso la de la sala) (RT). Esto se logra convenientemente permitiendo que el acero en bobinas se enfríe en aire de forma natural durante 48 horas, por ejemplo. En esta etapa, las bobinas se pueden desbobinar y se pueden cortar en chapas, o se pueden recalientarse para recocerlas y antes de permitirles enfriarse hasta la temperatura ambiente. Una vez de nuevo a la temperatura ambiente, en este caso la temperatura de la sala, (RT en la Figura 1B), se las puede cortar y maquinarse, taladrar y conformar, antes de sufrir la austenización final y la etapa de transformación en bainita. En esta etapa la chapa está en piezas individuales y se enfría tras esta austenitización mucho más rápidamente, evitando así pasar a través de la fase de perlita. Una vez que ha alcanzado una temperatura de 190° C a 260° C, se la mantiene a esa temperatura para permitir que se complete la etapa de transformación en bainita. El período exacto de la transformación en 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 alrededor de 1% de manganeso se puede transformar en 8 horas.

30 En la Figura 1C, el acero se lamina en caliente mientras se encuentra en una fase austenítica, ya sea inmediatamente después de la colada a partir de una masa fundida caliente o posiblemente tras calentarlo en la fase de austenita para homogeneización o deformación. El acero se puede cortar entonces en chapas. Las chapas se pueden enfriar con aire. La velocidad de enfriamiento es tal que las chapas alcanzarán la temperatura de transformación en un punto apropiado para permitir que se produzca la transformación en acero superbainítico. Esto puede tener lugar en un horno de recirculación de aire con temperatura controlada de otro entorno adecuado.

En la Figura 2 se muestra el diagrama de temperatura/tiempo/transformación para aceros superbainíticos según la invención, que muestra el efecto de la variación del contenido de manganeso.

40 La transformación final de austenita a bainita se muestra para una chapa delgada (típicamente 6 a 8 mm) de grosor mediante la curva 2. Aquí, las chapas individuales se enfrían con aire, mediante separación de las chapas; por ejemplo, la velocidad de enfriamiento es típicamente 80° C/min. Esto evita la transformación en perlita. Si es necesario, la velocidad de enfriamiento se deberá de controlar como corresponda. La transición bainítica para 0,5% en peso de manganeso se muestra mediante la línea 10, para 1,0% en peso de manganeso por la línea 2, y para 1,5% en peso de manganeso por la línea 14. El enfriamiento brusco convertirá el material en martensita; las temperaturas de comienzo de martensita se muestran por las líneas 20, 22 y 24 para 0,5%, 1,0% y 1,5% en peso de manganeso, respectivamente. El fracaso a la hora de mantener la temperatura de transformación en el intervalo indicado por las curvas 10, 12 ó 14 según sea apropiado para períodos adecuados puede poner en riesgo la transformación parcial en martensita. Las curvas 30 (para 0,5% en peso de manganeso), 32 (para 1% en peso de manganeso) y 34 (para 1,5% en peso de manganeso) indican la transformación en perlita, lo que se debe de evitar en la etapa final de transformación del proceso. La temperatura de comienzo de bainita es la temperatura por encima de la cual no se formará bainita. En la Figura 2, para las curvas de bainita 10, 12 y 14, la temperatura de comienzo de bainita está representada por las porciones más altas planas de cada curva.

55 A medida que aumenta el grosor de la chapa, mayor es la posibilidad del enfriamiento más lento en el centro de la chapa, permitiendo que se forme una fase parcial de perlita 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 con 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 12 de comienzo de la transición bainítica y se mantiene justo por encima de esa temperatura de transición hasta que la temperatura en la chapa es uniforme. En ese punto (4B), la temperatura se reduce hasta un punto 5 en el intervalo de transformación y se mantiene en ese intervalo para permitir que tenga lugar la transformación en bainita.

5 En la Figura 3, las curvas de temperatura/tiempo/transición de bainita para 0,6% en peso de carbono se muestran mediante la línea 60, para 0,7% en peso de carbono mediante la línea 62, y para 0,8% en peso de carbono mediante la línea 64. El enfriamiento brusco convertirá el material en martensita. Las temperaturas de transición se muestran mediante las líneas 50, 52 y 54 para 0,6%, 0,7% y 0,8% en peso de carbono, respectivamente. De forma similar, el fracaso a la hora de mantener la temperatura de transformación en el intervalo indicado por las curvas 60, 62 ó 64 según sea apropiado para períodos adecuados pondrá en riesgo la transformación parcial en martensita. Las curvas 70, 72 y 74 muestran las transiciones perlíticas para contenidos de carbono de 0,6%, 0,7% y 0,8% en peso, respectivamente. La temperatura de comienzo de 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 comienzo de bainita está representada por las porciones más elevadas planas de cada curva.

10 La Figura 4 muestra de forma similar las curvas de temperatura/tiempo/transición de bainita para 0,5% en peso de cromo (línea 90), para 1,0% en peso de cromo (línea 92), y 1,5% en peso de cromo (línea 94). El enfriamiento brusco convertirá el material en martensita, mostrándose las temperaturas de transición por las líneas 80, 82 y 94 para 0,5%, 1,0% y 1,5% en peso de cromo, respectivamente. El fracaso a la hora de mantener la temperatura de transformación en el intervalo indicado por las curvas 90, 92 ó 94 según sea apropiado para períodos adecuados pondrá en riesgo la transformación parcial en martensita. Las curvas 100, 102 y 104 muestran las transiciones de perlita para contenidos de cromo de 0,5%, 1,0% y 1,5% en peso, respectivamente. La temperatura de comienzo de bainita es la temperatura por encima de la cual no se formará bainita. En la Figura 4, para las curvas de bainita 90, 92 y 94, la temperatura de comienzo de bainita está representada por las porciones más elevadas planas de cada curva.

Tabla 1. Composición de los Ejemplos 1, 2 y 3 (% en peso)

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	< 0,01	~94
Ejemplo 2	0,82	1,55	2,01	1,01	0,25	1,03	1,51	0,1	< 0,005	< 0,01	~92
Ejemplo 3	0,79	1,55	1,00	1,01	0,25			0,1	< 0,005	< 0,01	~94,5

25

Tabla 2: Propiedades mecánicas de los Ejemplos 1, 2 y 3

Ejemplo	Temperatura de Transformación Bainítica ° C/Tiempo (horas)	0,2 PS MPa (Rp02)	UTS MPa (Rm)	EI % (A)	RA % (Z)	Dureza HV30 (Hv30)	Charpy J (medido a temp. ambiente)
1A	200/400	1684	2003	3,1	4	650	4
1B	225/100	1689	2048	4,3	4	620	4
1C	250/50	1625	1928	8,8	6	590	8
2A	200/200	1688	2096	3,3	4	650	4
2B	225/70	1625	2072	6,5	5	620	5
2C	250/24	1691	1933	11,3	7	690	7
3A	200/24	1678	1981	4,3	5	680	5
3C	250/8	1673	2098	8,0	5	640	6

30 En la tabla:
 PS es carga de prueba;
 UTS es esfuerzo máximo de tracción
 EI es alargamiento
 RA es reducción de área
 35 HV es dureza Vickers
 El número Charpy se basa en una probeta de 10 mm x 10 mm (se ha de tener cuidado en la comparación del número Charpy como habitualmente se usa para 10 mm x 10 mm, y en algunos documentos se dan cifras que usan una probeta de 6 mm x 6 mm).
 En los ejemplos de la Tabla 2, las letras sufijas se refieren a diferentes probetas de los Ejemplos 1, 2 y 3 sometidas a las diferentes temperaturas de transformación indicadas.
 40

REIVINDICACIONES

- 5 1. Acero bainítico que está libre de carburos y que comprende entre 90% y 50% de bainita, siendo el resto austenita, en el que el carbono en exceso permanece dentro de la ferrita bainítica a una concentración más allá de la consistente con el equilibrio, con un reparto parcial de carbono en la austenita residual, que tiene plaquetas de bainita con un grosor de 100 nm o menos, comprendiendo en porcentaje en peso: carbono 0,6% a 1,1%, manganeso de 0,3 a 1,5%, níquel hasta 3%, cromo 0,5% a 1,5%, molibdeno 0% a 0,5%, vanadio hasta 0% a 0,2%, contenido de silicio en el intervalo de 0,5% a 2% en peso, y el resto hierro salvo las impurezas incidentales.
- 10 2. Acero bainítico según la reivindicación 1, caracterizado porque el contenido de manganeso está en el intervalo de 0,5% en peso a 1,5% en peso.
- 15 3. Acero bainítico según cualquier reivindicación anterior, caracterizado porque el contenido de manganeso es alrededor de 1% en peso.
4. Acero bainítico según cualquier reivindicación anterior, caracterizado porque el grosor medio de las plaquetas de bainita está por debajo de 40 nm.

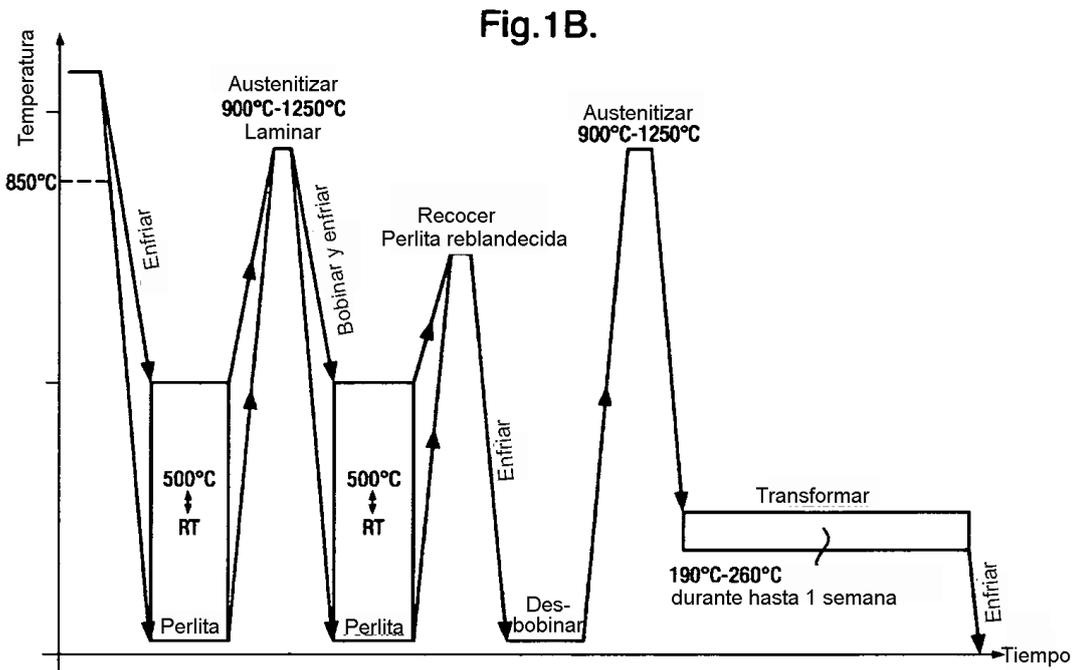
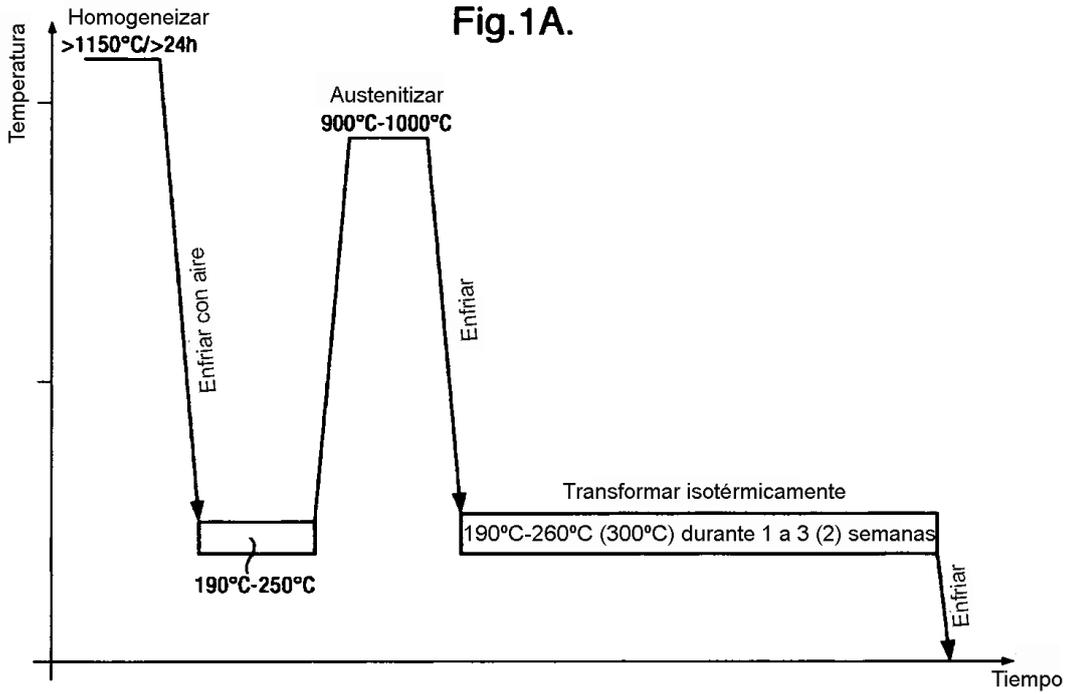


Fig.1C.

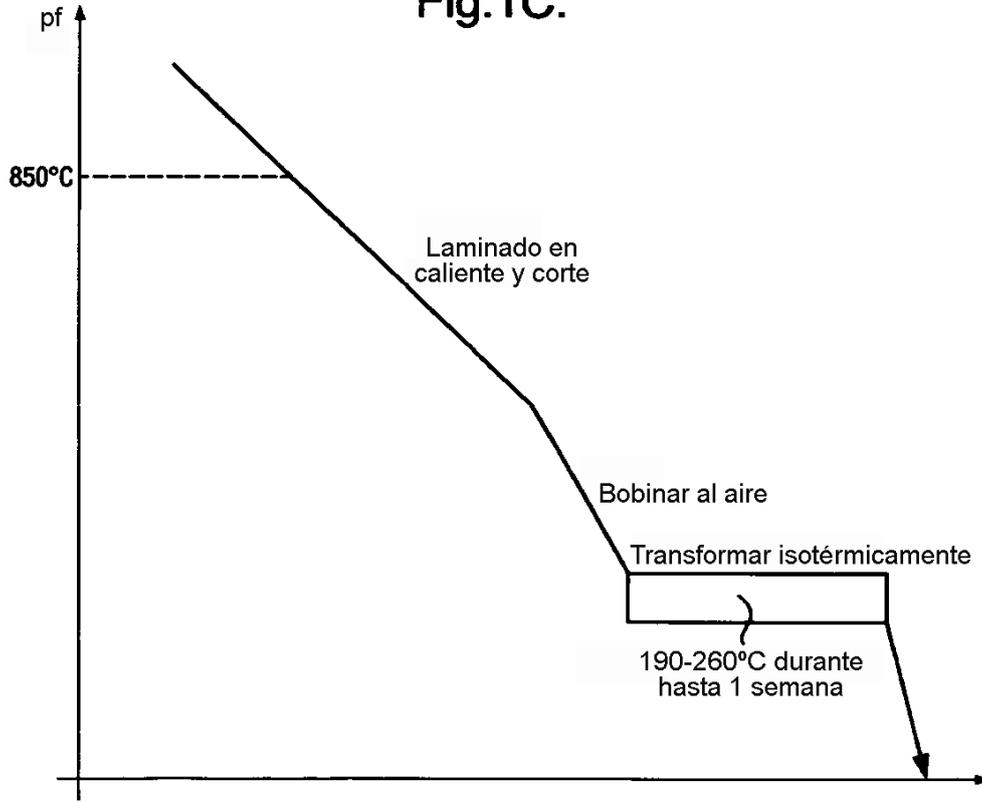


Fig.2.

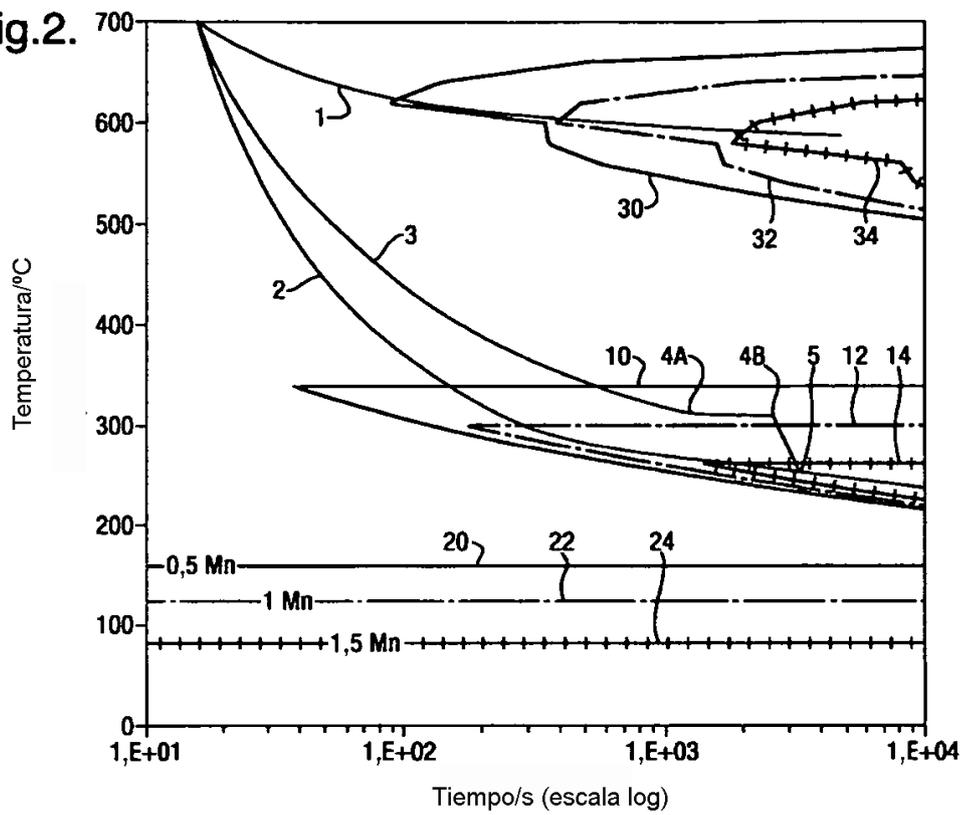


Fig.3.

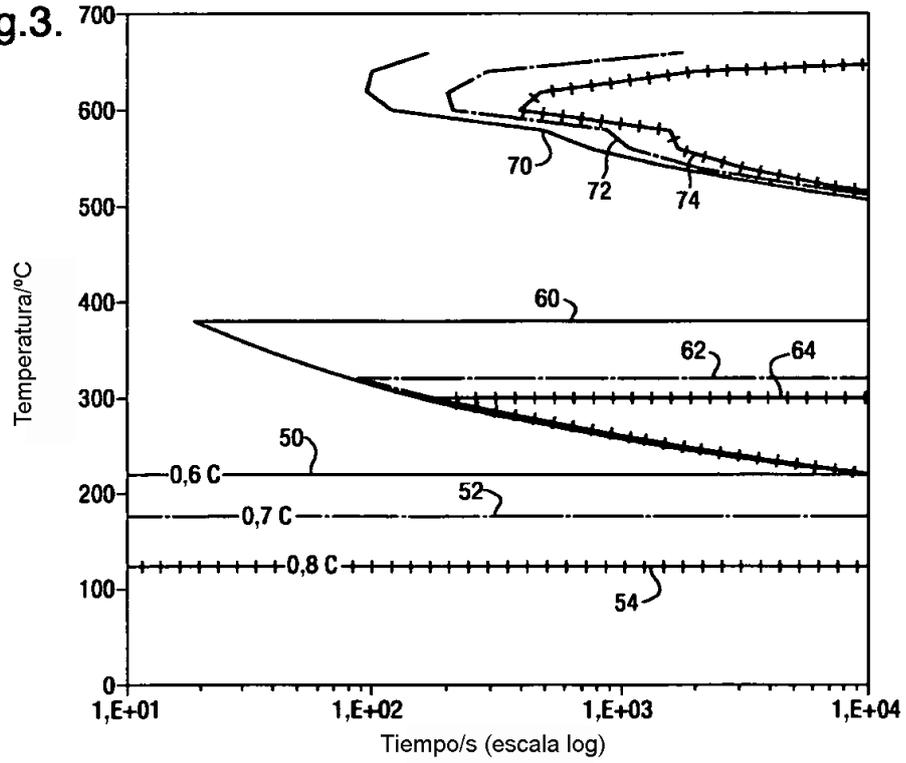


Fig.4.

